



Répercussions des chimiothérapies neurotoxiques pour les patientes atteintes de cancer du sein : de l'évaluation à la mise en place de soins de support sous forme d'exercices adaptés

Aline Reinmann

► To cite this version:

Aline Reinmann. Répercussions des chimiothérapies neurotoxiques pour les patientes atteintes de cancer du sein : de l'évaluation à la mise en place de soins de support sous forme d'exercices adaptés. Médecine humaine et pathologie. Sorbonne Université, 2024. Français. ⟨NNT : 2024SORUS593⟩. ⟨tel-04992460⟩

HAL Id: tel-04992460

<https://theses.hal.science/tel-04992460v1>

Submitted on 15 Mar 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Sorbonne Université

École doctorale Physiologie, Physiopathologie et Thérapeutique (ED394)

INSERM, Centre de Recherche Saint Antoine, CRSA

Institut Universitaire de Cancérologie (IUC AP-HP Sorbonne Université)

Haute École de Santé Genève (HES-SO)

Répercussions des chimiothérapies neurotoxiques chez les patientes atteintes de cancer du sein : de l'évaluation à la mise en place de soins de support sous forme d'exercices adaptés

Aline REINMANN

Thèse pour l'obtention du grade de Docteur de l'Université Sorbonne Université

Dirigée par le Pr Joseph GLIGOROV et la Pr Anne-Violette BRUYNEEL

Soutenue publiquement le 6 décembre 2024

Devant un jury composé de :

Pr Laurent ZELEK, PUPH, Université Sorbonne Paris Nord : Président du jury

Pr Anita WOLFER, PUPH, Université de Genève : Rapporteuse

Pr Nicolas PINSAULT, PU, Université Grenoble Alpes : Rapporteur

Dr Marie-Cécile NIERAT, IR, Sorbonne Université : Examinatrice

Pr Joseph GLIGOROV, PUPH, Sorbonne Université : Directeur de thèse

Pr Anne-Violette BRUYNEEL, PU, Haute École de Santé Genève : Co-directrice de thèse



Répercussions des chimiothérapies neurotoxiques chez les patientes atteintes de cancer du sein : de l'évaluation à la mise en place de soins de support sous forme d'exercices adaptés

Aline REINMANN

► To cite this version:

HAL Id:

Lien [https](#)

Submitted on 12th of March 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Remerciements

Je tiens, tout d'abord, à exprimer mes remerciements à l'ensemble des membres du jury de thèse pour leur expertise et leurs contributions lors de l'évaluation de mon travail.

Cette thèse n'aurait pas été possible sans le soutien indéfectible de la Professeure Bruyneel qui a accompagné ce projet de thèse de sa conception à sa finalisation. Un grand merci pour les nombreuses suggestions, corrections et relectures qui ont profité à cette thèse.

Je tiens également à remercier vivement le Professeur Gligorov pour son suivi tout au long de ce travail. Votre optimisme et votre capacité à entrevoir des solutions dans toutes les situations rencontrées ont été fortement appréciés.

Cette thèse a été coconstruite et réalisée avec l'aide du Docteur Kössler et du Docteur Bodmer, oncologues aux Hôpitaux Universitaires de Genève. Un grand merci pour l'impulsion donnée à ce travail, le partage de vos connaissances et votre soutien de tous les instants.

Je remercie, de même, les membres du comité de suivi de thèse, la Professeure Nicol et la Docteure Niérat ainsi que le Professeur Mesure pour vos conseils avisés, vos encouragements et votre présence tout au long de ces années.

Un remerciement particulier aux responsables de la filière physiothérapie qui se sont succédé durant ces années de thèse, à la directrice de la Haute École de Santé de Genève ainsi qu'aux membres de l'Institut de Recherche Appliquée et du Développement. Vous m'avez démontré un profond soutien qui a considérablement facilité le déroulement de ce travail.

Je remercie également la famille Gupta, instigatrice de cette thèse ainsi que Madame Sanglier, pilier indispensable de l'étude interventionnelle à l'APHP Tenon.

Merci à mes collègues de la Haute École de Santé et du domaine des soins de manière plus générale, votre aide m'a été précieuse.

Enfin, je souhaiterais remercier tout particulièrement et chaleureusement ma famille ainsi que mes proches. Votre soutien inconditionnel dans toutes les étapes de ce travail a été indispensable pour sa réalisation. Je vous en suis infiniment reconnaissante et vous aime fort.

Liste des figures

- Figure 1.** *Schéma non exhaustif des potentielles répercussions de la chimiothérapie*
- Figure 2.** *Symptômes de la CIPN et répercussions multiples*
- Figure 3.** *Mécanismes d'actions potentiels des taxanes*
- Figure 4.** *Physiologie du contrôle postural*
- Figure 5.** *Illustration d'un fuseau neuro-musculaire*
- Figure 6.** *Cercle vicieux des répercussions des déficits fonctionnels sur la qualité de vie*
- Figure 7.** *Effets de l'activité physique sur le système nerveux périphérique, central et sur les processus psychosociaux des personnes atteintes de CIPN*
- Figure 8.** *Différentes études composant ce travail de thèse*
- Figure 9.** *Procédure expérimentale de l'étude observationnelle*
- Figure 10.** *Box plot de la moyenne quadratique ML dans les différentes conditions*
- Figure 11.** *Box plot des deltas ML et AP en condition LOS*
- Figure 12.** *Schéma expérimental de l'étude SCED*
- Figure 13.** *Évolution du contrôle postural par semaine en condition EO chez les trois participantes*
- Figure 14.** *Évolution du contrôle postural par semaine en condition EC chez les trois participantes*
- Figure 15.** *Évolution du contrôle postural par semaine en condition EOF chez les trois participantes*
- Figure 16.** *Évolution du contrôle postural par semaine en condition ECF chez les trois participantes*
- Figure 17.** *Corrélation de Pearson entre le TM2 et les 2 premières minutes du TM6, le TM2 et le TM6 et les 2 premières minutes du TM6 et le TM6*
- Figure 18.** *Graphique Bland Altman du TM2 et des 2 premières minutes du TM6*
- Figure 19.** *Corrélation de Pearson entre le test de 10 m et le TM6 à vitesse confortable et rapide*
- Figure 20.** *Corrélation de Pearson entre le test de 10 m et le test de 10 m en autotest à vitesse confortable et rapide*
- Figure 21.** *Graphiques Bland Altman du test de 10 m et du test de 10 m en autotest*
- Figure 22.** *Schéma des différentes causes possibles pouvant engendrer des perturbations de la fonction physique après une chimiothérapie neurotoxique*
- Figure 23.** *Effets des interventions d'activité physique*

Figure 24. *Propositions pour encourager l'activité physique tirées de l'OCDE*

Figure 25. *Proposition de suivi durant le parcours de soin*

Figure 26. *Algorithme décisionnel pour la prise en charge des CIPN et des troubles fonctionnels chimio-induits*

Liste des tableaux

Tableau 1. *Critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour évaluer l'éligibilité des patientes de l'étude observationnelle*

Tableau 2. *Conditions de test de l'étude observationnelle*

Tableau 3. *Caractéristiques démographiques des participantes de l'étude observationnelle*

Tableau 4. *Scores du Total Neuropathy Score modifié*

Tableau 5. *Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour les conditions EO et EC*

Tableau 6. *Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour les conditions EOF et ECF*

Tableau 7. *Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour les conditions EOv et ECV*

Tableau 8. *Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour la condition DT*

Tableau 9. *Résultats du FACT/GOG-Ntx*

Tableau 10. *Résultats des paramètres du CP et de la FRS dans la condition EC par sous-groupes de sévérité selon le TNSm*

Tableau 11. *Tableau de corrélation entre les différences T2-T1 des paramètres de CP et de FRS avec le FACT-Ntx, TNSm et l'activité physique dans les conditions EC et ECF*

Tableau 12. *Comparaisons de la différence T2-T1 des paramètres de CP et de la FRS par sous-groupes de modification de traitement et de fatigue dans les conditions EC et ECF*

Tableau 13. *Concordance entre les différents moyens utilisés pour évaluer la CIPN et corrélations de Spearman*

Tableau 14. *Critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour évaluer l'éligibilité des patientes de l'étude SCED*

Tableau 15. *Conditions de test de l'étude SCED*

Tableau 16. *Caractéristiques des participantes de l'étude SCED*

Tableau 17. *Résultats de la tendance et des Taus de la longueur totale accompagnés des valeurs p dans les différentes conditions*

Tableau 18. *Évolution de la fatigue aux cinq temps de mesure*

Tableau 19. *Adhésion au programme pour les trois participantes*

Tableau 20. *Bénéfices ressentis sur la santé en général, le moral et les activités de la vie quotidienne*

Tableau 21. *Critères d'éligibilité pour la participation au programme*

Tableau 22. *Caractéristiques socio-démographiques et cliniques des participants de l'étude rétrospective*

Tableau 23. *Résultats des capacités de marche et de la fatigue*

Tableau 24. *Coefficients de régression linéaire*

Tableau 25. *Résultats du questionnaire de satisfaction du programme de réadaptation*

Tableau 26. *Critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour évaluer l'éligibilité des patients de l'étude de propriétés d'outils*

Tableau 27. *Caractéristiques liées au cancer des participants inclus*

Tableau 28. *Résultats obtenus aux TM2, TM6 et test de 10 m*

Tableau 29. *Scores pour la faisabilité des tests selon les items de Tyson and Connell (2009)*

Tableau 30. *Coefficients de corrélation de Pearson*

Tableau 31. *Coefficients de corrélation de Pearson par sous-groupe d'âge*

Tableau 32. *Paramètres suggérés pour une prise de mesure de contrôle postural en contexte de chimiothérapie*

Tableau 33. *Paramètres FITT à utiliser pour la création d'un programme d'exercices adaptés en prévention de la CIPN et de ses répercussions fonctionnelles*

Liste des annexes

Annexe 1. *Qualité des outils et échelles utilisées dans les différentes études*

Annexe 2. *Résumé des études transversales et longitudinales évaluant l'influence des chimiothérapies sur le contrôle postural*

Annexe 3. *Vitesses de marche et corrélations entre le TM2 et le TM6 évaluées chez différentes populations dans les précédentes études*

Annexe 4. *Résumé des études interventionnelles évaluant les effets d'un programme d'exercices sur le contrôle postural évalué par plateforme de force ou stabilométrique*

Annexe 5. *Lettre d'information aux patientes de l'étude observationnelle*

Annexe 6. *Explication du score attribué pour chaque paramètre du Total Neuropathy Score modifié*

Annexe 7. *Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour chaque condition*

Annexe 8. *Résultats de la corrélation de Spearman entre différents paramètres du CP et de la FRS*

Annexe 9. *Lettre d'information aux patientes de l'étude interventionnelle*

Annexe 10. *Programme d'exercices sensorimoteurs – modalités et fonctionnement*

Annexe 11. *Programme d'exercices sensorimoteurs – exemple de progression*

Annexe 12. *Programme d'exercices sensorimoteurs – exemple d'exercice*

Annexe 13. *Items de la liste TIDieR*

Annexe 14. *Programme d'exercices sensorimoteurs – questionnaire de satisfaction*

Annexe 15. *Programme d'exercices sensorimoteurs – grille d'entretien*

Annexe 16. *Figure du double critère*

Annexe 17. *Résultats de la tendance et des Taus du paramètre de longueur antérieure dans les différentes conditions*

Annexe 18. *Résultats des paramètres spatio-temporels de la marche*

Annexe 19. *Résultats du FACT-taxane et du TNSm*

Annexe 20. *Résultats des entretiens individuels de l'étude interventionnelle*

Annexe 21. *Vitesses de marche et corrélations entre le test de marche de 10 m, le TM2 et le TM6 évaluées chez différentes populations dans les précédentes études*

Annexe 22. *Lettre d'information de l'étude de validité des tests de marche en oncologie*

Lexique

Activité physique = « *tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques qui entraîne une dépense énergétique* » (traduction libre) (Caspersen et al., 1985)

Ajustements posturaux = « *ensemble coordonné d'actes moteurs permettant à chaque instant de maintenir ou d'adapter une posture en dépit d'événements pouvant la perturber* » (Gasq & Cormier, 2022)

Base de sustentation = ou polygone de sustentation, « *enveloppe convexe contenant tous les points de contact entre le corps et le support* » (N. Duclos et al., 2017)

Bien-être = « processus cognitif de contentement, de satisfaction ou de bonheur dérivé d'un fonctionnement optimal » (traduction libre) (Lindert et al., 2015)

Cachexie = « *syndrome multifactoriel caractérisé par une perte continue de la masse musculaire squelettique (avec ou sans perte de la masse grasse) qui ne peut pas être entièrement inversée par un soutien nutritionnel conventionnel et qui entraîne une déficience fonctionnelle progressive* » (traduction libre) (Sadeghi et al., 2018)

Centre de masse = « *barycentre des centres de masse de tous les segments corporels* » (N. Duclos et al., 2017)

Condition physique = « *ensemble d'attributs en lien avec la capacité à réaliser une activité physique* » (traduction libre) (Caspersen et al., 1985)

Centre de pression = « *point d'application de la force de réaction moyenne* » (N. Duclos et al., 2017)

Contrôle postural = « *action de maintenir, d'atteindre ou de rétablir un état d'équilibre au cours d'une posture ou d'une activité* » (traduction libre) (Pollock et al., 2000)

Dégénérescence Wallérienne = « *désintégration de l'axone et de la gaine de myéline, observée au niveau de la partie distale d'une fibre périphérique séparée du corps cellulaire* » (Académie de Médecine, 2024)

Détresse liée au cancer = « *expérience émotionnelle désagréable qui influe sur la capacité à « faire face », de façon efficace, au cancer et à ses traitements, et qui s'inscrit dans un continuum allant de sentiments « normaux » de vulnérabilité, tristesse, craintes, jusqu'à des difficultés pouvant devenir invalidantes, telles que l'anxiété, la dépression, l'isolement social ou la crise spirituelle* » (Beckers, 2010)

Double tâche = « *tâche qui oriente l'attention de la personne vers une source d'attention externe, tout en exécutant une tâche principale* » (traduction libre) (Ghai et al., 2017)

Équilibre = « *état où la somme des forces est nulle* » (traduction libre) (Shumway-Cook & Woollacott, 1995)

Équilibration = « *aptitude à tenir son équilibre dans la position choisie en dépit de circonstances contraires* » (Yelnik & Herman, 2021)

Fatigue liée au cancer = « *sentiment de fatigue ou d'épuisement physique, émotionnel et/ou cognitif, persistant et subjectif, lié au cancer ou au traitement anticancéreux, qui n'est pas proportionnel à l'activité récente et qui interfère avec le fonctionnement normal* » (traduction libre) (Jong, 2011)

Fonction physique = « *capacité physique requise pour accomplir une activité fonctionnelle de la vie quotidienne* » (traduction libre) (I.-F. Cheng et al., 2021)

Intéroception = « *traitement des sensations corporelles* » (traduction libre) (Chung et al., 2022)

Limites de stabilités = « *espace au sein duquel la projection peut être maintenue sans que l'individu n'ait à changer son polygone de sustentation pour éviter une chute* » (N. Duclos et al., 2017)

Neurotrophique = « *protéines qui assurent la survie, le développement et le fonctionnement des neurones* » (traduction libre) (Chung et al., 2022)

Polymérisation = « *processus de transformation d'un polymère en monomère ou en un mélange de monomères* » (Ministère de la Culture, 2002)

Posture = « *position globale de l'ensemble des segments corporels à un moment donné, superposés à partir du sol jusqu'à la tête* » (N. Duclos et al., 2017).

Proprioception = « *sens de la position et du mouvement des segments du corps les uns par rapport aux autres, ainsi que la sensation de force et d'effort associée à la contraction musculaire* » (traduction libre) (Macefield & Knellwolf, 2018)

Qualité de vie liée à la santé = « *incidence de la maladie et du traitement sur l'incapacité et le fonctionnement quotidien ; (...) reflétant l'influence de la perception de la santé sur la capacité d'une personne à mener une vie épanouie* » (traduction libre) (Haraldstad et al., 2019)

Sédentarité = « *tout comportement d'éveil caractérisé par une dépense énergétique de 1,5 MET ou moins en position assise, allongée ou couchée* » (traduction libre) (OMS, 2020)

Soins de support = « *prévention et prise en charge des effets indésirables du cancer et de son traitement. Ils comprennent la prise en charge des symptômes physiques et psychologiques et des effets secondaires tout au long du parcours du cancer, du diagnostic au traitement jusqu'aux soins post-traitement. Les soins de support visent à améliorer la qualité de la*

réadaptation, de la prévention secondaire du cancer, de la survie et des soins de fin de vie »
(traduction libre) (MASCC, 2024)

Somato = « *élément de composition signifiant Corps* » (Académie française, s. d.)

Stabilité dynamique = « *capacité à contrôler la projection du centre de masse en réponse aux changements de la base de support* » (Sabashi et al., 2021)

Stabilité quasi-dynamique = « *capacité à déplacer le poids, en contrôlant le centre de masse à l'intérieur de la base du support* » (traduction libre) (Sibley et al., 2011)

Stabilité quasi-statique = « *capacité à se tenir debout en contrôlant le centre de masse lorsque la base du support ne change pas* » (traduction libre) (Sibley et al., 2011)

Système somatosensoriel = « *structure neuronale complexe impliquée dans la perception, la transmission et le traitement de stimuli externes et internes comprenant la proprioception (sens de la position du corps et du mouvement dans l'espace), l'intéroception (sensation des stimuli internes) et l'extéroception (sensation des stimuli externes)* » (traduction libre) (Ambos 2023)

Thixotropie = « *réduction temporaire de la résistance des muscles au mouvement* » (traduction libre) (Laxie 2019)

Liste des abréviations (ordre alphabétique)

ABC = activities-specific balance confidence scale, échelle de confiance dans l'équilibre selon les activités spécifiques

AP = antéro-postérieur

AVQ = activités de la vie quotidienne

BDNF = brain-derived neurotrophic factor, facteur neurotrophique issu du cerveau en français

CIPN = chemotherapy-induced peripheral neuropathy, neuropathies périphériques induites par la chimiothérapie en français

CP = centre de pression

CPET = cardiopulmonary exercise testing, test d'effort cardiopulmonaire en français

FACT/GOG-Ntx = functional assessment of cancer therapy/gynecologic oncology group-neurotoxicity, questionnaire d'évaluation fonctionnelle du groupe de thérapie du cancer/oncologie gynécologique – neurotoxicité en français

FACT/Tax = functional assessment of cancer therapy/taxanes, questionnaire d'évaluation fonctionnelle du groupe de thérapie du cancer/ taxanes en français

FRS = force de réaction du sol

GNDF = glial cell line-derived neurotrophic factor, facteur neurotrophique dérivé de la glie en français

ICC = coefficient de corrélation intra-classe

IGF-1 = insulin-like growth factor-1, facteur de croissance 1 ressemblant à l'insuline en français

IL = interleukine

IQR = interquartile range, écart interquartile en français

KV = voltage-gated potassium channel, canaux potassiques voltage-dépendant, en français

LOA = limits of agreement, limites de concordance, en français

MCID = différence minimale cliniquement importante

MET = metabolic equivalent of task, équivalent métabolique d'une tâche en français

ML = médio-latéral

NAV = voltage-gated sodium channel, canaux sodiques voltage-dépendant en français

PROM = patient-reported outcome measure, mesure rapportée par le patient en français

RMS = root mean square, moyenne quadratique en français

ROS = reactive oxygen species, dérivés réactifs de l'oxygène en français

SCED = single case experimental design, étude en cas unique, en français

SOT = sensory organization test, test d'organisation sensorielle en français

STS = sit-to-stand, assis-debout en français

TAPS = acute pain syndrome after taxane exposure, syndrome douloureux aigu après exposition aux taxanes, en français

TIDierR = template for intervention description and replication, modèle de description et de reproduction de l'intervention en français

TM2 = test de marche de 2 min

TM6 = test de marche de 6 min

TNF = tumor necrosis factor, facteur de nécrose tumorale en français

TNSm = total neuropathy score modified, score total de neuropathies modifié en français

TRPV = transient receptor potential vanilloïde

Valorisations du travail de thèse

Publications (ordre chronologique)

Reinmann, A., Bruyneel, A.-V., Gligorov, J., Mesure, S., Combescure, C., Koessler, T., Bodmer, A. (2022). Influence of chemotherapy on postural control and quality of life in women with gynaecological cancer: a protocol of a prospective observational study. *BMJ Open*, 12:e061664. doi:10.1136/bmjopen-2022-061664 **Publié**

Reinmann, A., Koessler, T., Bodmer, A., Baud-Grasset, A., Mentha, G., Gligorov, J., Bruyneel, A.-V. (2023). Feasibility, criterion and construct convergent validity of the 2-minute walk test and the 10-meter walk test in an oncological context. *Heliyon*, 9(11), e22180. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22180> **Publié**

Reinmann, A., Bodmer, A., Koessler, T., Gligorov, J., Bruyneel, A.-V. (2024). Postural control impairments following neurotoxic chemotherapy in women with gynecological cancer: a prospective observational study **En révision**

Reinmann, A., Bruyneel, A.-V., Gligorov, J., Mesure, S., Combescure, C., Koessler, T., Bodmer, A. (2025). Can a physical activity program improve functional capacity and fatigue in people with cancer? A retrospective analysis. *BMC Sports Sci Med Rehabil* **Publié**

Publications dans des revues professionnelles

Bruyneel, A.-V., **Reinmann, A.**, Pourchet T., Nicolo P., Gafner, S. C. (2021). Mesure du contrôle postural en position debout bipodale par plateforme stabilométrique. *Kinesither Rev* 2021;23(231):30-32 **Publié**

Bruyneel, A.-V., Gafner, S. C., **Reinmann, A.** (2022). Évaluation de la capacité fonctionnelle de marche : test de marche de six minutes. *Kinesither Rev* 2023;23(254):44-49 **Publié**

Reinmann, A., Gafner, S. C., Bruyneel, A.-V. (2023). Évaluation de la capacité fonctionnelle de marche : test de marche de deux minutes. *Kinesither Rev* 2023;23(258):52–57 **Publié**

Communications orales (ordre chronologique)

Octobre 2021 **Rencontres scientifiques OncoReha**, Berne (Online), Suisse – “Balance deficiencies following chemotherapy: extent of the problem”. Reinmann A., Kössler T., Bodmer A., Gligorov J., Bruyneel A.-V.

Décembre 2022 **Congrès de la Société Française de Médecine et de Réadaptation (SOFMER)**, Rennes, France - “Le 10MeWT ou le 2MWT peuvent-ils être utilisés pour évaluer la capacité fonctionnelle des patients ambulatoires en oncologie ? Une étude de validation”. Reinmann A., Kössler T., Bodmer A., Baud-Grasset A., Mentha G., Gligorov J., Bruyneel A.-V.

Décembre 2022 **Congrès de la Société Française de Médecine et de Réadaptation (SOFMER)**, Rennes, France - “La distance de marche et la fatigue des patients peuvent être améliorées par un programme d’activité physique multimodal en oncologie. Analyses de données rétrospectives”. Reinmann A., Bruyneel A.-V., Gligorov J., Laré E., Bodmer A., Kössler T.

Novembre 2023 **Congrès de la Société Francophone Posture Équilibre et Locomotion (SOFPEL)**, Rouen, France – “Influence des chimiothérapies neurotoxiques sur le contrôle postural de femmes atteintes de cancer gynécologique, une étude observationnelle”. Reinmann A., Bodmer A., Kössler T., Gligorov J., Bruyneel A.-V.

Communications affichées

Mai 2021 **Congrès de l’École doctorale Physiologie, Physiopathologie et Thérapeutique** Sorbonne Université, Paris, France - “Effect of chemotherapy and chemotherapy-induced peripheral neuropathies on static balance, dynamic balance and quality of life in women with gynecologic cancer: protocol of a prospective observational study”. Reinmann A., Bodmer A., Kössler T., Gligorov J., Bruyneel A.-V.

Mai 2022 **Congrès de l’École doctorale Physiologie, Physiopathologie et Thérapeutique** Sorbonne Université, Paris, France - “Could the 10MeWT replace the 6MWT in oncology outpatient?”. Reinmann A., Kössler T., Bodmer A., Baud-Grasset A., Mentha G., Gligorov J., Bruyneel A.-V.

Juin 2023 **Congrès de l'École doctorale Physiologie, Physiopathologie et Thérapeutique**
Sorbonne Université, Paris, France - "How does neurotoxic chemotherapy influence postural control and quality of life in women with gynecologic cancer? A prospective observational study". Reinmann A., Bodmer A., Kössler T., Gligorov J., Bruyneel A.-V.

Juin 2024 **Congrès International Association of supportive care in cancer (MASCC)**, Lille, France - "The ground reaction force analysis in standing position to observe the postural control impairments after chemotherapy". Reinmann A., Bodmer A., Kössler T., Gligorov J., Bruyneel A.-V.

Juin 2024 **Congrès International Association of supportive care in cancer (MASCC)**, Lille, France - "Do sensorimotor exercises during chemotherapy prevent postural control impairments in women with breast cancer? A single case experimental design". Reinmann A., Sanglier I., Benderra M.-A., Gligorov J., Bruyneel A.-V.

Table des matières

Remerciements	3
Liste des figures.....	4
Liste des tableaux.....	6
Liste des annexes.....	8
Lexique.....	9
Liste des abréviations (ordre alphabétique).....	12
Valorisations du travail de thèse	14
I. Préambule	19
II. Introduction	19
IIa. Neuropathies périphériques induites par la chimiothérapie	19
IIb. Les capacités fonctionnelles et leurs évaluations	27
Contrôle postural.....	27
Marche	34
IIc. Répercussions des déficits fonctionnels sur le quotidien, la qualité de vie et l'autonomie.....	38
IId. Soins de support pour limiter les effets secondaires des chimiothérapies.....	40
Activité physique	40
Activité physique et CIPN	41
III. Objectifs généraux et construction des étapes de la thèse	46
IV. Différentes études réalisées au cours de la thèse : de la compréhension à la prise en charge des troubles fonctionnels des patients en oncologie	49
IVa. Étude 1 : répercussions des taxanes sur le contrôle postural.....	49
Introduction.....	49
Objectifs et hypothèses	50
Méthode	51
Résultats	63
Discussion spécifique.....	76
Conclusion	82
IVb. Étude 2 : effets d'un programme d'exercices sensorimoteurs pour prévenir les perturbations fonctionnelles liées aux taxanes	82
Introduction.....	82
Objectifs et hypothèses	84
Méthode	85
Résultats	98
Discussion spécifique.....	111
Conclusion	118
IVc. Étude 3 rétrospective : évolution des capacités de marche et de la fatigue après un programme d'activité physique adapté à des personnes atteintes de cancers.....	118
Introduction.....	118
Objectifs et hypothèses	120
Méthode	120
Résultats	125
Discussion spécifique.....	130
Conclusion	133
IVd. Étude 4 : faisabilité et validité de tests de marche utilisés en oncologie.....	134
Introduction.....	134
Objectifs et hypothèses	135

Méthode	135
Résultats	141
Discussion spécifique.....	148
Conclusion	152
V. Discussion générale	153
Va. Répercussions de la chimiothérapie neurotoxique sur la fonction physique	154
1. Quelles sont les répercussions d'une chimiothérapie neurotoxique sur la fonction physique des femmes atteintes de cancer du sein traitées par taxanes et quelles pourraient être les causes sous-jacentes ? 154	
2. Quelles sont les stratégies d'adaptation du contrôle postural mises en place par les personnes atteintes de cancer après chimiothérapie ?.....	161
3. Comment évaluer la fonction physique dans ce contexte ?.....	163
4. Quel programme d'exercices réaliser pour limiter les effets des chimiothérapies neurotoxiques sur les troubles du contrôle postural ou de la marche ?	168
5. Quels sont les bénéfices des programmes d'exercices sensorimoteurs visant à limiter les troubles du contrôle postural ou de la marche chimio-induits ?	170
6. Quelles difficultés peuvent être rencontrées lors de l'implémentation des programmes d'exercices adaptés ayant pour objectif de limiter les troubles fonctionnels ?	172
7. Quelles pistes peuvent-être envisagées pour faciliter la participation à l'activité physique durant le parcours de soins ?	173
Vb. Implications cliniques.....	177
Vc. Limites et perspectives	179
VI. Conclusion.....	180
VII. Références	182
VIII. Annexes	207
IX. Publications	263
IXa. Protocole de l'Étude 1	263
IXb. Article de l'Étude 1 : pré-print.....	272
IXc. Article de l'Étude 3	291
IXd. Article de l'Étude 4.....	302
X. Publications dans des revues professionnelles	314
Xa. Mesure du contrôle postural par plateforme	314
Xb. Description du test de marche de 6 min	317
Xc. Description du test de marche de 2 min	323
XI. Résumé.....	329
Abstract.....	331

I. Préambule

Selon les dernières données épidémiologiques disponibles, plus de 430'000 nouveaux cas de cancer ont été diagnostiqués en France en une année et 45'500 en Suisse (INCA, 2023; Ligue suisse contre le cancer, 2023). Grâce aux progrès dans les diagnostics et thérapeutiques, la mortalité par cancer est continuellement en diminution (-2 % par an pour les hommes et -0,7 % chez la femme) (INCA, 2023). Un taux de survie s'élevant à 88 % à cinq ans pour le cancer du sein en France et en Suisse est retrouvé (INCA, 2023; Office fédéral de la Statistique, 2021).

Malgré ces progrès, les personnes touchées par le cancer font face à des répercussions physiques et psycho-sociales de la maladie ainsi que de ses traitements qui peuvent impacter la qualité de vie et l'autonomie sur le long terme. A cinq ans, plus de 50 % des femmes atteintes de cancer du sein ont des séquelles associées et 43 % ne retournent pas à leur taux d'activité professionnel antérieur (M. E. Schmidt et al., 2019).

Il est donc primordial de développer des mesures d'accompagnement afin de limiter les impacts de la maladie et des traitements sur la vie quotidienne. Ce travail abordera les répercussions des chimiothérapies neurotoxiques sur la fonction physique et l'évaluation de programmes de soins de support sous forme d'activité physique pour limiter les perturbations des effets secondaires induits par la maladie et les traitements.

II. Introduction

IIa. Neuropathies périphériques induites par la chimiothérapie

Répercussions multiples du cancer du sein et de la chimiothérapie

Le cancer du sein peut entraîner diverses répercussions négatives sur les sphères bio-psycho-sociales telles qu'un sentiment de détresse, de l'anxiété, de la fatigue et des perturbations de la composition corporelle (Brown et al., 2018; Fabi et al., 2020; Whisenant et al., 2019). Les effets indésirables de la chimiothérapie sont également nombreux (**Figure 1**). Parmi les effets recensés figurent les neuropathies induites par chimiothérapie (Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy en anglais ou CIPN). Elles sont consécutives, en majorité, à l'exposition aux sels de platines, aux alcaloïdes de la pervenche ou encore aux taxanes, considérés comme des médicaments neurotoxiques (Argyriou et al., 2019). Ces dernières (paclitaxel, docétaxel)

sont utilisées pour le traitement des cancers les plus prévalents, dont fait partie le cancer du sein (Guijosa et al., 2022).

Répercussions multiples des chimiothérapies

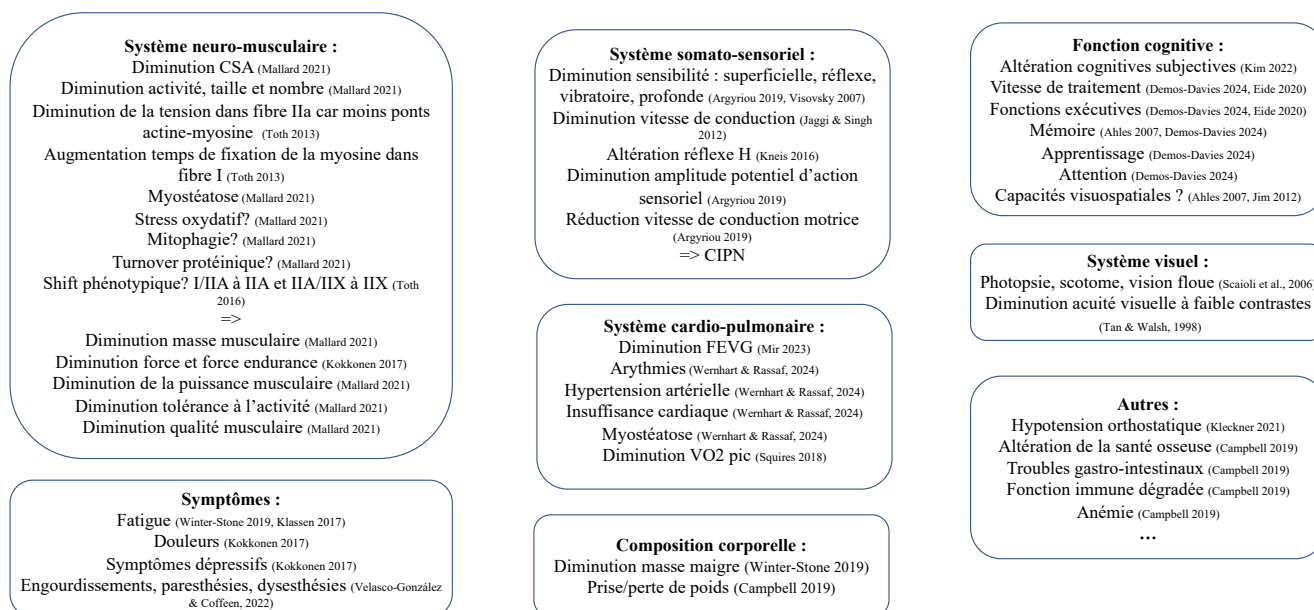


Figure 1. Schéma non exhaustif des potentielles répercussions de la chimiothérapie. CIPN = neuropathies périphériques induites par chimiothérapie, CSA = surface de section anatomique, FEVG = fraction d'éjection du ventricule gauche, VO₂ = consommation d'oxygène

Répercussions des CIPN sur le système somatoproprioceptif

La CIPN peut provoquer des symptômes aigus et chroniques. La désignation CIPN communément utilisée dans la pratique clinique et la littérature concerne uniquement les symptômes chroniques. Ils sont définis par des symptômes ressentis durant au moins deux cycles de chimiothérapie successifs (Argyriou et al., 2021).

Les symptômes les plus courants liés aux CIPN sont des engourdissements, des paresthésies (picotement anormal, sensation de chaleur ou froid sur la peau), des dysesthésies (sensations désagréables de démangeaisons, de brûlure ou de douleur), une perte ou diminution des sensations au toucher, à la vibration et au froid ou encore des douleurs neuropathiques (**Figure 2**) (Velasco-González & Coffeen, 2022). Les CIPN se manifestent principalement de manière distale et bilatérale (Argyriou et al., 2021).

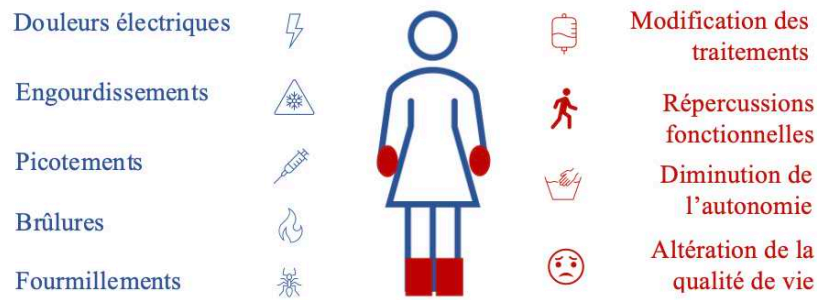


Figure 2. Symptômes de la CIPN (en bleu) et répercussions multiples (en rouge), adapté de Velasco-Gonzalez & Coffeen (2022) (Velasco-González & Coffeen, 2022) CIPN = neuropathies périphériques induites par chimiothérapie

Les signes le plus courant sont des troubles de la sensibilité (diminution de la sensibilité superficielle cutanée, de la sensibilité vibratoire, du sens des positions, des réflexes tendineux) et moteurs (altérations de la force, du contrôle postural, de la marche, de la motricité fine) (Visovsky et al., 2007). Les altérations sont principalement d'ordre sensitif plutôt que moteur, comme le décrit l'analyse de la conduction nerveuse. En effet, une diminution de l'amplitude du potentiel d'action sensoriel est observée au niveau distal dans les membres inférieurs puis dans les membres supérieurs, en cas de CIPN plus étendue (Argyriou et al., 2019). Une réduction de la vitesse de conduction a également été observée (Jaggi & Singh, 2012) de même qu'un réflexe H diminué et retardé par rapport à l'onde M, confirmant l'implication majoritairement sensorielle des CIPN (Kneis et al., 2016). Ainsi, les taxanes provoquent une conduction de l'information afférente insuffisante et perturbent les circuits segmentaires réflexes (Kneis et al., 2016).

Répercussions des CIPN sur les autres systèmes

Si la CIPN semble toucher le système somatoproprioceptif de façon préférentielle, d'autres entrées sensorielles peuvent être impactées négativement par la chimiothérapie. Des troubles visuels sont également retrouvés après la chimiothérapie comme des scotomes (perte ou réduction d'une zone de la vision), des photopsies (apparition de flashes dus à l'irritation de la rétine) ou une diminution de l'acuité visuelle à faibles contrastes (Scaioli et al., 2006; Tan & Walsh, 1998; Wampler et al., 2007). Quant au système vestibulaire, il est, selon la littérature, moins impacté par les taxanes que d'autres agents neurotoxiques comme certains sels de platine (Wampler et al., 2007).

Différents moyens d'évaluation de la CIPN

A ce jour, il n'existe aucun outil de référence pour l'évaluation de la CIPN. La revue d'Argyriou et al. (2019) recommande l'évaluation de la conduction nerveuse du nerf sural comme outil diagnostique en association avec l'examen neurologique sensoriel quantitatif. Cependant, la première requiert du personnel qualifié et du matériel spécifique, pas toujours disponibles dans les petites structures (Argyriou et al., 2019).

La deuxième consiste à réaliser une batterie de tests sensitifs afin de quantifier la fonction sensorielle subjective. Ainsi, des tests de sensibilité superficielle avec des filaments de Semmes-Weinstein, de vibration avec un diapason Rydel-Seiffer, de réflexes tendineux et de force avec le Medical Research Council Criteria apportent des informations pertinentes quant à l'intégrité du système nerveux périphérique. Le manque de contrôle de l'intensité et de standardisation des stimuli réalisés sont les principales limites de ces tests (Argyriou et al., 2019).

Plusieurs outils combinent différentes mesures de conduction nerveuse et d'examen sensoriel quantitatif pour constituer un score composite. Le Total Neuropathy Score (TNS) combine ainsi les symptômes sensoriels, autonomes et moteurs du patient à l'évaluation objective de la sensibilité superficielle, vibratoire, réflexe et thermique. Une évaluation de la conduction nerveuse vient compléter le score dans sa version complète (Cho et al., 2021).

Différentes variantes de ce score avec un nombre réduit d'items existent, notamment la version clinique, réduite ou modifiée (TNSm). Cette dernière est composée de l'évaluation des symptômes sensoriels et moteurs ainsi que de l'évaluation de la sensibilité superficielle, vibratoire, réflexe et de la force. Le TNSm est considéré comme une mesure clinique valide pour l'évaluation des neuropathies chez les femmes ayant un cancer du sein (Wampler et al., 2006). Il est modérément corrélé aux tests d'équilibre (Sensory Organization Test, $r = -0,64$, $p < 0,05$), de performance physique (Timed Up and Go, TUG, $r = 0,65$, $p < 0,05$) et de qualité de vie (FACT/taxane, $r = -0,62$, $p < 0,05$). La fiabilité intra-évaluateur (*coefficient de corrélation intra-classe*, $ICC = 0,99$) et inter-évaluateurs ($ICC = 0,97$) du TSN est, de plus, excellente (Cornblath et al., 1999). Ainsi, ce score et ses variantes sont fréquemment utilisés dans les études cliniques en contexte oncologique (McCrary et al., 2019a; Müller et al., 2020; Varedi et al., 2018; Vasquez et al., 2014).

En sus des scores composites, la CIPN peut également être objectivée au moyen de données rapportées par les patients (patient-reported outcomes measures en anglais ou score PROM). Lors d'une étude visant à définir les outils recommandés pour l'évaluation de la CIPN à l'aide

de la méthode Delphi, les experts du domaine ont particulièrement plébiscité ces scores pour leur contenu (accessible, profond, langage adéquat) et leur faisabilité (effort et coûts moindres, formation et matériel simples) (McCrary et al., 2017). Dans cette étude, le questionnaire Cancer Therapy/Gynecologic Oncology Group–Neurotoxicity (FACT-GOG-Ntx) arrivait en tête. Ce questionnaire, validé en français, évalue le bien-être physique, social/familial, émotionnel et fonctionnel ainsi que les répercussions de la neurotoxicité (H. L. Cheng et al., 2020). Il présente une bonne validité de critère avec une forte corrélation au questionnaire EORTC QLQ-CIPN20 ($0,79 \leq r \leq 0,93$, $p < 0,01$) et une importante consistance interne avec un alpha de Cronbach entre 0,82 et 0,89. Ses bonnes propriétés d’outil associées à sa sensibilité au changement significative ($p < 0,05$) au fur et à mesure des doses cumulatives (Calhoun et al., 2003; H. L. Cheng et al., 2020) encouragent son utilisation et celles de ses variantes. En effet, le FACT se décline en de multiples variantes telles que le FACT-taxane qui complète les neufs items du FACT/GOG-Ntx avec cinq items supplémentaires sur la neurotoxicité. La revue systématique d’Haryani (2017) a confirmé que le FACT-GOG-Ntx serait, avec le TNS, les deux outils à privilégier pour évaluer une CIPN au vu de leurs propriétés (faisabilité, validité, sensibilité, sensibilité au changement et reproductibilité) (Haryani et al., 2017).

Les CIPN induites par l’exposition aux taxanes en quelques chiffres

Parmi les patients traités par taxanes, l’incidence rapportée des CIPN varie de 11 à 87 % (Zajăczkowska et al., 2019). Le paclitaxel est la molécule la plus susceptible de provoquer des CIPN avec une incidence allant de 59 à 97 % (Velasco-González & Coffeen, 2022). Les facteurs de risques de développer une CIPN sont : un âge égal ou supérieur à 45 ans, un indice de masse corporel égal ou supérieur à 24 Kg/m², une carence en vitamine D, une anémie, une tendance dépressive, des antécédents d’hypertension artérielle ou une dose cumulative de 900 mg de paclitaxel (Lixian et al., 2024). A l’inverse, avoir un soutien social important et un haut niveau d’activité physique protègent contre la survenue de CIPN par paclitaxel (Lixian et al., 2024).

Les symptômes débutent, en général, entre le premier et le troisième mois du traitement et peuvent perdurer bien au-delà de l’arrêt de celui-ci (Velasco-González & Coffeen, 2022). Trois ans après un traitement par paclitaxel, 41 % des patients décrivent encore des signes et symptômes de CIPN et 14 % à 13 ans (Velasco-González & Coffeen, 2022).

Les taxanes

Les taxanes sont des agents toxiques extraits de l'If de l'ouest qui inhibent la dépolymérisation des microtubules en se fixant à la β -tubuline, une sous-unité des microtubules. Ceci entraîne des conséquences sur la mitose cellulaire, mais également sur le transport intracellulaire (Velasco-González & Coffeen, 2022).

Mécanismes d'altération du système nerveux périphérique par les taxanes

Les taxanes ont une faible spécificité pour les cellules cancéreuses et peuvent, dès lors, impacter d'autres cellules du corps humain, par effet collatéral (Velasco-González & Coffeen, 2022). Les cellules ayant une mince barrière hémato-nerveuse sont les plus vulnérables (Hu et al., 2019). Il s'agit principalement des cellules du système nerveux périphérique, notamment les ganglions de la racine dorsale (Hu et al., 2019). Ces derniers regroupent les corps cellulaires des neurones sensoriels et sont particulièrement réceptifs à l'accumulation d'agents neurotoxiques (Hu et al., 2019; Velasco-González & Coffeen, 2022). Au sein du soma, l'accumulation de taxanes provoque une augmentation des ATF-3, marqueur de détérioration cellulaire (Velasco-González & Coffeen, 2022). En plus de l'augmentation de ces marqueurs, différents mécanismes d'action des taxanes ont été décrits dans la littérature (**Figure 3**).

Ainsi, les taxanes provoquent une hyperexcitabilité des neurones périphériques, une dégénérescence axonale, une sensibilisation des nocicepteurs, une altération de la structure cellulaire et une atrophie des ganglions de la racine dorsale (Zajaczkowska et al., 2019). Ces mécanismes, qui doivent encore être précisés, vont engendrer de nombreux symptômes dont des douleurs et des troubles sensoriels (Velasco-González & Coffeen, 2022).

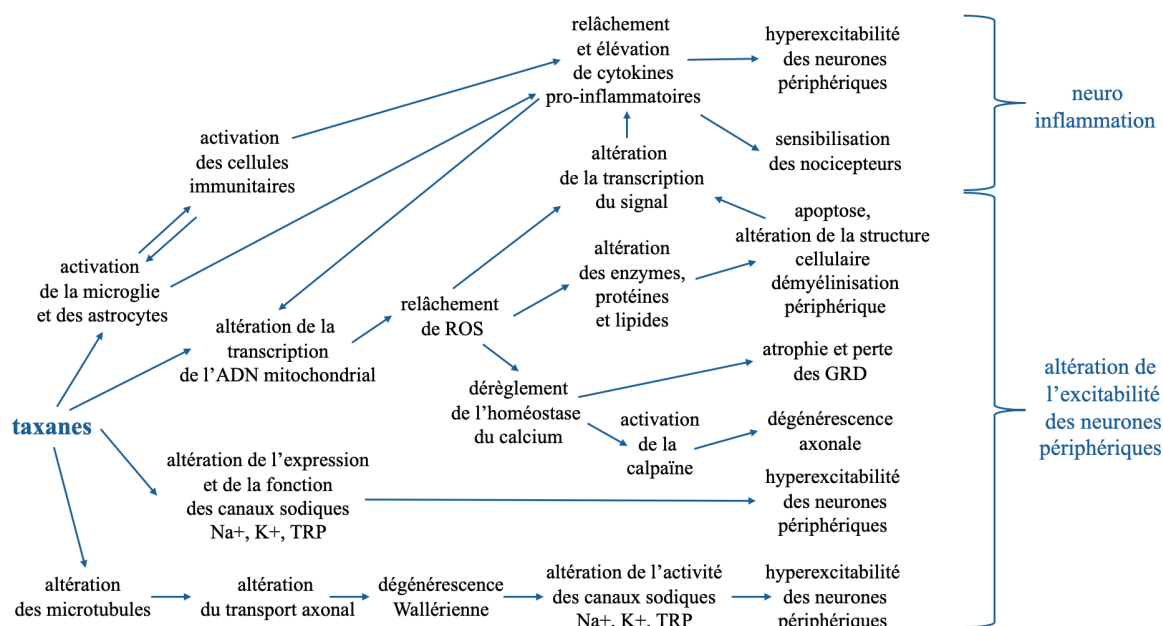


Figure 3. Mécanismes d'actions potentiels des taxanes tiré et traduit de Zajczkowska (2019), (Zajczkowska et al., 2019). GRD = ganglion de la racine dorsale. Na = sodium, K = potassium, ROS = reactive oxygen species, dérivés réactifs de l'oxygène en français, TRP = transient receptor potential, canaux à potentiel de récepteur transitoire en français

Possibilités de traitements de la CIPN peu nombreuses

Peu de prises en charge ont fait leurs preuves en termes de prévention ou de traitement de la CIPN. Seule la Duloxétine a montré un effet modéré sur la diminution de la douleur (Gu et al., 2022). Toutefois, ses effets secondaires (vertiges et constipation) limitent l'adhésion au traitement, évaluée entre 30 et 38 % (Kleckner et al., 2021). De plus, la Duloxétine cible majoritairement la douleur qui n'est pas toujours la plainte principale des patients (Argyriou et al., 2021). Les prises en charge non pharmacologiques, hors activité physique, comprennent les massages, la cryothérapie, le neurofeedback ou l'électrostimulation mais leur faible niveau d'évidence limitent leur utilisation dans la pratique (niveaux d'évidence C à D) (Tamburin et al., 2021).

Le manque d'alternatives de traitement oblige la modification du traitement neurotoxique. Celle-ci consiste en l'arrêt de la chimiothérapie, la modification du traitement ou la diminution des doses chez 25 % des patients traités par paclitaxel avec les risques de diminution d'efficacité ou de récives que cela peut comporter pour le patient (Velasco-González & Coffeen, 2022).

Répercussions multiples des CIPN

Les impacts de la CIPN sont toutefois beaucoup plus larges que la modification du traitement chimiothérapeutique (**Figure 3**). En effet, la nature persistante de la CIPN et la sévérité des

symptômes créent de l'inconfort pour les patients qui décrivent ces symptômes comme épuisants et souvent intolérables (E. Y. Kim & Hong, 2023; Schwab & Visovsky, 2022). La qualité de vie des patients peut ainsi être fortement impactée (H. L. Cheng et al., 2020).

Différents outils existent pour évaluer la qualité de vie des patients durant les traitements (Gu et al., 2022). La partie générale (FACT-G) des questionnaires FACT/GOG-Ntx ou FACT-taxane peut être employée (H. L. Cheng et al., 2020) tout comme le thermomètre de détresse (Donovan et al., 2014; Tang et al., 2011). Les propriétés de ces outils sont précisées dans l'*Annexe 1*.

La diminution de la qualité de vie post chimiothérapie est également liée à un autre aspect des CIPN : leurs répercussions sur la fonction physique. Les déficits fonctionnels induits par la chimiothérapie comprennent les troubles du contrôle postural ainsi que de la marche (A. B. Wang et al., 2021). Ils sont détaillés dans la suite de cette introduction. Dans l'objectif d'alléger le texte, la marche est assimilée à une fonction physique dans ce manuscrit de thèse bien que considérée comme une activité par la classification internationale du fonctionnement, du handicap et de la santé. Ainsi, le terme « fonction physique » est interprété dans ce travail de thèse comme « *la capacité physique requise pour accomplir une activité fonctionnelle de la vie quotidienne* » (I.-F. Cheng et al., 2021).

- Les taxanes affectent les cellules du système nerveux périphérique.
- Elles provoquent une altération de l'excitabilité des neurones périphériques et une neuro-inflammation générant des désordres majoritairement sensitifs.
- Pour le patient, la CIPN génère des paresthésies, des dysesthésies, des hypoesthésies ou encore des douleurs neuropathiques.
- Les signes et symptômes de la CIPN peuvent être objectivés par des scores composites intégrant l'examen neurologique sensoriel quantitatif en complément de scores PRO.
- Peu d'alternatives thérapeutiques existent pour la prise en charge des CIPN.
- La CIPN engendre de multiples conséquences négatives que ce soit sur le déroulement du traitement ou la qualité de vie du patient.
- Les plans physique, émotionnel et fonctionnel sont affectés.
- Les répercussions fonctionnelles comprennent les troubles du contrôle postural quasi-statique et de la marche.

Iib. Les capacités fonctionnelles et leurs évaluations

Contrôle postural

Mécanismes physiologiques du contrôle postural

La posture est définie comme étant la position de l'ensemble des segments corporels à un moment donné (Massion, 1992). Elle a deux fonctions principales : l'orientation posturale et la stabilité. La fonction d'orientation posturale est la capacité à maintenir une relation appropriée entre les segments corporels et l'environnement pour la réalisation d'une tâche donnée (**Figure 4**). La stabilité posturale ou équilibre postural, correspond à la capacité à maintenir la projection verticale du centre de masse à l'intérieur des limites de stabilité lorsque la base de support est fixe (stabilité quasi-statique) ou en mouvement (stabilité dynamique) (N. Duclos et al., 2017; Shumway-Cook & Woollacott, 1995; Sibley et al., 2011). La stabilité quasi-dynamique est considérée, dans ce travail de thèse, comme étant la capacité à déplacer le poids en contrôlant le centre de masse, au sein d'une base de support fixe.

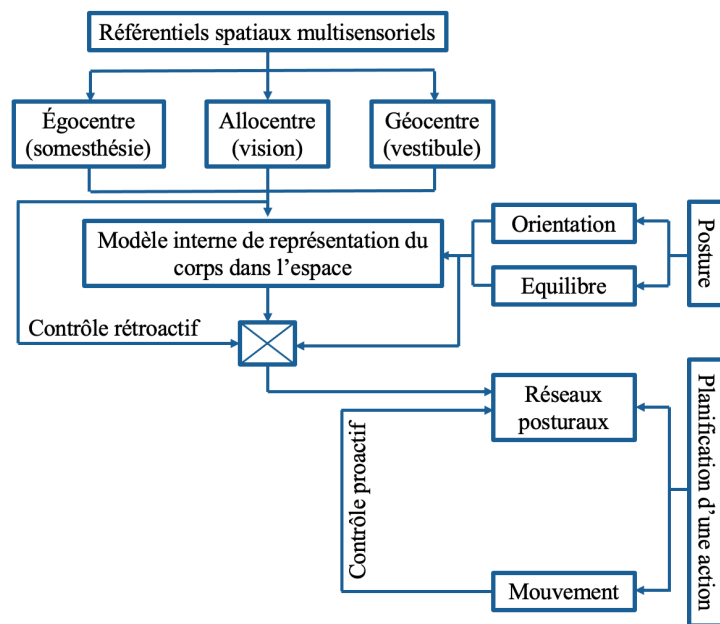


Figure 4. Physiologie du contrôle postural reproduit à partir de Lacour (2013) avec autorisation de l'éditeur Elsevier Masson SAS (Lacour, 2013)

Pour assurer les fonctions d'orientation et de stabilisation, le contrôle postural s'appuie sur un modèle interne de représentation du corps dans l'espace (Lacour, 2013). Ce modèle, résultat d'une construction ontogénétique, modifie les activités posturo-cinétiques requises pour l'ajustement postural (Lacour, 2013). En s'appuyant sur les expériences passées et sur l'apprentissage de schémas moteurs, il peut ainsi anticiper les répercussions d'un changement

de répartition des masses et produire des ajustements posturaux anticipés (proactifs) (N. Duclos et al., 2017; Lacour, 2013; Thomann et al., 2017).

Les mécanismes proactifs préparent le corps au mouvement en réalisant des ajustements de type et magnitude correspondant à la direction et à la vitesse du mouvement visé (Huxham et al., 2001). En se basant sur les expériences antérieures de l'individu et les conditions environnementales (Huxham et al., 2001), ces schémas moteurs préprogrammés permettent d'anticiper et de limiter les déséquilibres induits par le mouvement (Huxham et al., 2001; Yelnik & Herman, 2021).

Les ajustements d'accompagnements permettent l'équilibration durant la tâche (Bruttini et al., 2016). Lorsque ces ajustements deviennent insuffisants, les mécanismes rétroactifs entrent en jeu (Huxham et al., 2001). Ces derniers correspondent à des mécanismes réactionnels qui apparaissent après le mouvement (réactions posturales) selon l'intégration et l'interprétation corticale des informations sensorielles perçues lors de perturbations (Thomann et al., 2017).

Ces mécanismes se basent sur des perceptions sensorielles provenant des différentes entrées que sont le système vestibulaire, visuel et somatoproprioceptif.

Le **système vestibulaire** détecte les accélérations linéaires et angulaires de la tête par rapport à la gravité. Il permet ainsi de définir le vecteur gravitaire, l'accélération et l'orientation de la tête dans l'espace grâce aux organes otolithiques et aux canaux semi-circulaires (Tighilet, 2021; Yelnik & Herman, 2021). L'utricule et le saccule sont sensibles à l'accélération linéaire verticale et horizontale, respectivement alors que les canaux semi-circulaires, disposés dans les trois plans de l'espace, détectent les accélérations angulaires (Tighilet, 2021). La détection de ces accélérations est à la base des réflexes vestibulo-spinaux (coordination des mouvements de la tête, du cou et du tronc pour maintenir la tête en position verticale) et vestibulo-oculaires (stabilisation du regard lors de mouvements de la tête) (Cullen, 2012).

Le **système visuel** utilise les photorécepteurs rétiniens pour capter l'information provenant des cônes sur la fovéa pour la vision centrale et des bâtonnets pour la vision périphérique (Yelnik & Herman, 2021). Ces récepteurs détectent les variations de mouvement de l'environnement (N. Duclos et al., 2017). La stabilisation du regard est permise grâce aux informations oculomotrices venant des récepteurs proprioceptifs des muscles extra-oculaires de chaque œil (N. Duclos et al., 2017).

Le **système somatoproprioceptif** fait le lien entre les deux systèmes sensoriels précédents (N. Duclos et al., 2017). Pour cela, il comprend (Yelnik & Herman, 2021) :

- Les fuseaux neuromusculaires, situés dans la partie charnue des muscles striés, pour indiquer l'état d'allongement des fibres intrafusales (**Figure 5**) ;
- Les organes tendineux de Golgi, localisés entre le tendon et le muscle, pour informer sur la variation de force des unités motrices via les mécanorécepteurs ;
- Les récepteurs articulaires pour indiquer la position articulaire via les corpuscules de Ruffini, Paccini et les terminaisons libres ;
- Les récepteurs cutanés pour préciser l'état de tension et de pression de la peau via les terminaisons libres, notamment de la voûte plantaire.

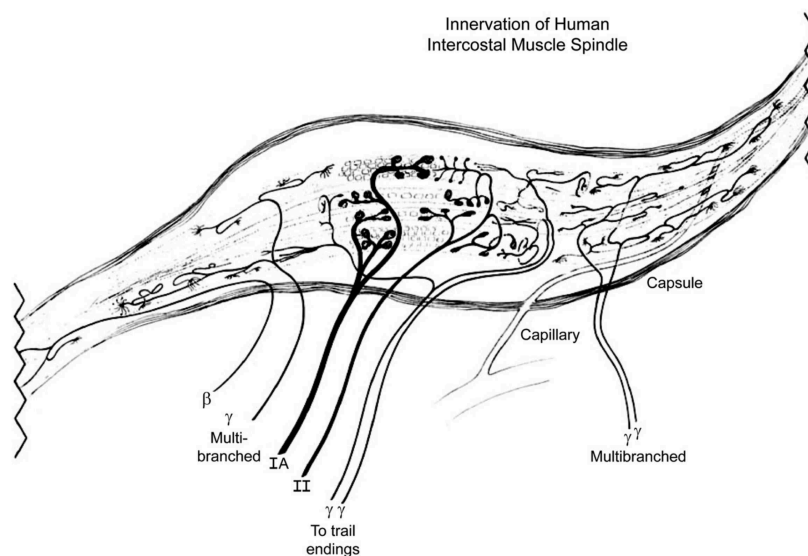


Figure 5. Illustration d'un fuseau neuro-musculaire tiré de Macefield & Knellwolf, 2018 (Macefield & Knellwolf, 2018)

Ces différents récepteurs vont percevoir l'information sensorielle qui sera ensuite utilisée pour le contrôle segmentaire et supra-segmentaire.

Le contrôle segmentaire est une boucle réflexe à courte latence qui permet les ajustements automatiques rapides sans intervention corticale (N. Duclos et al., 2017). Ce contrôle segmentaire a pour objectif de fournir une réponse musculaire réflexe à la perturbation perçue par les systèmes sensoriels et contribue à la réaction posturale (N. Duclos et al., 2017). En pratique clinique, il est évalué par les réflexes ostéotendineux, le tonus musculaire et le réflexe de Hofmann (Yelnik & Herman, 2021). Ce dernier, induit électriquement, est le reflet du réflexe d'étirement (myotatique). Il permet d'informer sur la modulation de l'activité réflexe monosynaptique dans la moelle épinière (Palmieri et al., 2004).

Le contrôle supra segmentaire est plus adaptable au contexte du mouvement que le contrôle segmentaire grâce à sa plus longue latence (moyenne à longue) (N. Duclos et al., 2017; Jacobs & Horak, 2007). La grande majorité (80 %) des informations converge vers les noyaux vestibulaires, le cervelet puis le cortex alors que les 20 % restants empruntent la voie des colonnes dorsales pour remonter jusqu'au cortex et participer au contrôle conscient de la posture (Yelnik & Herman, 2021).

Les noyaux vestibulaires intègrent les afférences vestibulaires, visuelles et somatoproprioceptives provenant des voies spino-vestibulaires et spino-cérébello-vestibulaires afin d'émettre une commande motrice. La substance réticulée agit pour moduler l'activité des motoneurones via le faisceau réticulo-spinal (Yelnik & Herman, 2021).

Le cervelet contrôle la précision temporo-spatiale, coordonne et synchronise le mouvement (Pignon & Delubac, 2021). Il participe à la régulation du tonus musculaire et joue un rôle prépondérant dans l'apprentissage moteur par essai/erreur (Pignon & Delubac, 2021). La comparaison entre le geste effectué et celui initialement programmé permet d'ajuster la planification afin de minimiser l'erreur (Pignon & Delubac, 2021).

Au niveau cortical, les aires prémotrice, motrice, kinesthésique, visuelle et le cortex pariétal permettent la régulation posturale alors que les noyaux de la base servent au contrôle du tonus musculaire et à l'exécution automatique de schémas moteurs appris (Lacour, 2013; Yelnik & Herman, 2021).

Certaines fonctions cognitives sont également requises pour le maintien de l'équilibre : l'attention, la mémoire de travail et les mécanismes exécutifs (Yelnik & Herman, 2021). L'attention est un prérequis aux fonctions cognitives. La mémoire de travail s'appuie sur les fonctions attentionnelles et exécutives pour traiter l'information à court terme. Les mécanismes exécutifs concernent, entre autres, l'inhibition pour la sélection des informations pertinentes liée à l'activité, la flexibilité mentale pour les changements de contexte postural et la planification pour les situations complexes (Yelnik & Herman, 2021).

Le cortex participe également au choix des stratégies posturales. En effet, chaque individu définit ses stratégies posturales propres selon la tâche à exécuter, l'environnement, le vécu et les effets d'apprentissage (N. Duclos et al., 2017). Pour cela, il détermine la pondération donnée à chaque information provenant des différentes entrées sensorielles (N. Duclos et al., 2017). Cette pondération ou préférence sensorielle évolue au cours de la vie selon les évolutions physiques, l'entraînement ou la survenue de pathologie (N. Duclos et al., 2017).

Différents facteurs peuvent affecter le contrôle postural. Les facteurs intrinsèques comprennent les troubles des différents systèmes sensoriels, l'âge, les caractéristiques physiques (taille, poids, souplesse), les antécédents, l'inactivité physique prolongée ainsi que les facteurs psychosociaux comme la fatigue périphérique et centrale (Granacher et al., 2023; Ruhe et al., 2010; H. Schmidt et al., 2017; A. B. Wang et al., 2021) alors que les facteurs extrinsèques concernent l'environnement (surface, luminosité), le contexte d'évaluation (tâche posturale, instructions, durée, position, outil de mesure) ou la double tâche (Granacher et al., 2023; Quijoux, Nicolaï, Aflalo, et al., 2021; Ruhe et al., 2010).

La double tâche consiste à réaliser plusieurs tâches simultanément restreignant l'attention portée aux tâches concurrentes (Plummer & Eskes, 2015). Dès lors, une perturbation ou une facilitation de la tâche primaire (motrice) et/ou secondaire (cognitive, motrice, visuelle) peut être observée. En effet, selon les individus et les déficits neurologiques connus, l'adjonction d'une seconde tâche peut complexifier le mouvement pour cause d'interférence cognitive ou le faciliter par modification de la stratégie attentionnelle (Plummer & Eskes, 2015).

Évaluation du contrôle postural

Le contrôle postural quasi-statique qui réfère à « *la capacité à se tenir debout en contrôlant le centre de masse lorsque la base du support ne change pas* » (Sibley et al., 2011), peut être évalué en condition de référence soit en position bipodale sur sol rigide ou en faisant varier les conditions expérimentales (afférence visuelle, *p.ex.*). Varier les conditions expérimentales permet d'étudier la contribution des sous-composantes à la stabilité posturale (Quijoux, Nicolaï, Aflalo, et al., 2021). Ainsi, le poids des différentes entrées sensorielles dans la stratégie posturale peut être évalué (Quijoux, Nicolaï, Aflalo, et al., 2021). Les afférences visuelles sont facilement perturbées en fermant les yeux ou avec un stimulus optocinétique (Quijoux, Nicolaï, Aflalo, et al., 2021). Le rapport de Romberg équivalent aux résultats obtenus en condition yeux fermés divisé par ceux obtenus en condition yeux ouverts informe sur la participation des afférences visuelles au contrôle postural (Quijoux, Nicolaï, Aflalo, et al., 2021). Selon les conditions d'évaluation, un rapport entre 1,5 et 3,5 est attendu (Yelnik & Herman, 2021).

La perturbation des afférences somatoproprioceptives est réalisée en modifiant la surface d'appui ou par vibration. Selon certains auteurs, l'adjonction d'une surface molle telle qu'une mousse influence la réponse somatoproprioceptive en perturbant la rigidité de la cheville et

sollicitant plus le contrôle actif de la posture (Sozzi, Do, et al., 2022). Le ratio proprioceptif, correspondant aux résultats obtenus en condition sur mousse divisé par les résultats en condition sur sol stable, devrait avoisiner la valeur de 2 (Yelnik & Herman, 2021).

Quant à la vibration des tendons, en stimulant les fuseaux neuromusculaires des fibres afférentes Ia (Souron et al., 2017), elle provoque une sensation d'illusion de mouvement (Roll et al., 1989), induisant une réaction posturale pour « rétablir » la position et éviter le sentiment de chute (N. C. Duclos et al., 2015). Ainsi, une vibration du triceps sural est ressentie comme un allongement du muscle et entraîne un balancement du corps vers l'arrière (Kavounoudias et al., 1999). Comme la vibration entraîne une altération de l'information sensorielle utilisée pour le contrôle postural (Cuisinier et al., 2011), elle peut être utilisée pour évaluer l'implication du système somatoproprioceptif dans le contrôle de l'équilibre (Capiciková et al., 2006).

La modification des stratégies posturales induites par la perturbation des entrées sensorielles peut être objectivée par une plateforme de force. Cette évaluation est basée sur la mesure de la force de réaction du sol (FRS) dans les trois composantes verticale (V), antéro-postérieure (AP) et médio-latérale (ML). En effet, la troisième loi d'Isaac Newton indique que « l'action est toujours égale à la réaction ; c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et de sens contraires » (Newton, 1759). Ainsi, les capteurs piézoélectriques disposés à chaque coin de la plateforme de force, transforment une contrainte mécanique en une tension électrique (Kistler, 2024) et permettent ainsi d'obtenir les différentes FRS (Hufschmidt et al., 1980). La résultante de ces forces correspondant au « *point d'application de la force de réaction moyenne* » est appelée centre de pression (CP) (N. Duclos et al., 2017) (*cf. Bruyneel, A.-V., Reinmann, A., Pourchet, T., Nicolo, P., Gafner, S. C., Mesure du contrôle postural en position debout bipodale par plateforme stabilométrique. Kinesither Rev 2021*).

Les paramètres du CP renseignent sur les déplacements dans le plan horizontal et informent sur les ajustements du CP. Les paramètres de FRS indiquent l'évolution de la résultante de l'activité musculaire posturale dans les trois plans (Sozzi, Do, et al., 2022).

Mécanismes de la répercussion des chimiothérapies neurotoxiques sur le contrôle postural

Différentes études ont investigué le contrôle postural des personnes atteintes de cancer traitées par une chimiothérapie neurotoxique à l'aide d'une plateforme de force. La revue de Wang et al. (2021) regroupant les résultats de ces différents travaux, met en évidence une augmentation

des paramètres de CP chez les patients par rapport aux personnes issues du groupe contrôle, en condition quasi-statique sur sol rigide. Ces troubles du contrôle postural étaient majorés lors de l'évaluation en position bipodale avec perturbation visuelle (condition yeux fermés), comparée à la condition de référence yeux ouverts (A. B. Wang et al., 2021).

Ces instabilités posturales pourraient provenir de dysfonctions des différents systèmes sensoriels (*c.-à-d.* vestibulaire, visuel et somatoproprioceptif) provoqués par l'agent neurotoxique, comme énoncé dans différentes études (McCrary et al., 2019b; Monfort et al., 2017, 2019b; Wampler et al., 2007). Toutefois, les causes des instabilités posturales doivent encore être précisées car d'autres facteurs pourraient également contribuer à ces troubles (*p. ex.*, la diminution de l'attention liée à la fatigue ou à l'anxiété ou les troubles moteurs) (A. B. Wang et al., 2021). De même, les stratégies de compensation des troubles du contrôle postural après chimiothérapie, permettant le maintien de l'équilibre postural doivent encore être clarifiées (A. B. Wang et al., 2021). Certains suggèrent une dépendance accrue aux informations visuelles et vestibulaires aux dépens de celles somatoproprioceptives (Kneis, Straub, et al., 2020; Monfort et al., 2019b; A. B. Wang et al., 2021).

A ce jour, les études ayant évalué la préférence sensorielle ont utilisé la perturbation sensorielle yeux fermés pour la perturbation visuelle (Evans et al., 2021; Herman et al., 2017; Monfort et al., 2019b; Morishita et al., 2018; Niederer et al., 2014; Schmitt et al., 2017; Wampler et al., 2007) et sur surfaces instables comme la mousse pour la perturbation somatoproprioceptive (McCrary et al., 2019a; Monfort et al., 2019b; Schmitt et al., 2017). La vibration n'a encore jamais été utilisée pour mettre en exergue la participation du système somatoproprioceptif dans le contrôle postural chez des personnes atteintes de cancer ayant eu une chimiothérapie neurotoxique. Seule l'étude d'Einarsson et al. (2016), évaluant les répercussions d'un cancer dans l'enfance sur les capacités d'équilibration à l'âge adulte, a employé ce dispositif sans toutefois comparer les résultats à une condition de référence sans vibration, enlevant alors toute possibilité de différenciation de stratégie selon les perturbations sensorielles (Einarsson et al., 2016). D'autres études en oncologie ont utilisé une mousse pour altérer le système sensorimoteur (McCrary et al., 2019b; Monfort et al., 2019b; Schmitt et al., 2017). Elles ont mis en évidence une augmentation des oscillations posturales dans les conditions avec mousse par rapport à une surface rigide. Une stratégie de diminution du poids donné aux informations somatoproprioceptives au profit de celles visuelles et vestibulaires sur mousse était ainsi supposée (Monfort et al., 2019b; Schmitt et al., 2017).

La majorité de ces études étaient des études pilotes sans calcul de taille d'échantillon et de type transversal (Kneis et al., 2016; Monfort et al., 2019b; Morishita et al., 2018; Niederer et al., 2014; Schmitt et al., 2017; Wampler et al., 2007). De plus, aucune n'a utilisé les paramètres de FRS à ce jour. Or, l'analyse de la FRS pourrait apporter des informations complémentaires sur la résultante de l'activité musculaire posturale dans les trois plans (Sozzi, Do, et al., 2022), permettant de mieux comprendre les stratégies posturales développées par les patients.

Seules les études de Monfort (2016, 2017) et de Müller (2020) ont évalué les troubles de l'équilibre de façon longitudinale (Monfort et al., 2016, 2017; Müller et al., 2020). Le design longitudinal offre l'avantage de pouvoir distinguer l'état initial du patient qui pourrait être altéré par d'autres facteurs intrinsèques (Müller et al., 2020). Ainsi, il intègre la stratégie posturale initiale pour évaluer les changements induits par le traitement neurotoxique, offrant ainsi des indications pour la prise en charge à réaliser. Concernant la compréhension des modifications de stratégies posturales après chimiothérapie, les études longitudinales existantes n'ont employé que des perturbations visuelles et non somatoproprioceptives (mousse ou vibration), rendant l'évaluation de l'implication du système somatoproprioceptif dans les instabilités posturales plus complexe à interpréter. La revue de Wang et al. (2021) recommande donc de plus amples études étroitement contrôlées sur le type de cancer et le traitement pour clarifier le rôle du système somatoproprioceptif et les stratégies d'adaptation du contrôle postural adoptées par les patients (A. B. Wang et al., 2021).

- Le contrôle postural repose sur l'intégration d'afférences multisensorielles.
- Les stratégies posturales sont propres à chaque individu et évoluent au cours de la vie.
- La chimiothérapie neurotoxique pourrait influencer les stratégies posturales en diminuant l'utilisation des stimuli somatoproprioceptifs dans la construction des stratégies posturales.
- Des études supplémentaires permettront de préciser les stratégies d'adaptation du contrôle postural post chimiothérapie neurotoxique.

Marche

Du contrôle postural à la marche

Dans le cadre de la marche, la capacité de contrôle postural est essentielle au vu des caractéristiques biomécaniques de la marche humaine. Ainsi, le caractère bipède de l'être

humain et son centre de masse élevé le rendent vulnérable aux instabilités lors des déplacements (Meyer & Ayalon, 2006; Woollacott & Tang, 1997). Contrairement à l'équilibre quasi-statique dont l'objectif est le maintien de la projection du centre de masse dans la base de support, l'activité locomotrice nécessite une mise en mouvement par un déséquilibre vers l'avant réalisé par une accélération du centre de masse, dont la projection doit sortir de la base de support dans la direction du déplacement (Winter, 1995). Pour initier le pas, les informations somatosensorielles sont utilisées afin de construire une stratégie motrice efficiente (Ruget et al., 2008).

Une fois en mouvement, le centre de masse est dirigé vers l'avant, sa projection longeant successivement le bord médial du pied d'appui (N. Duclos et al., 2017). Ce déplacement ML provoque une instabilité dans cet axe qui doit être gérée par une stratégie de contrôle postural accompagnant le mouvement de marche (Winter, 1995; Woollacott & Tang, 1997). Pour éviter la chute, la marche requiert une bonne stabilité dynamique afin que chaque phase oscillante soit suivie d'une phase d'appui en condition d'équilibre (Winter, 1995).

Pour cela, des mécanismes de proaction et rétroaction efficaces sont requis (Woollacott & Tang, 1997). Les mécanismes de proaction comprennent les modifications du schéma de marche (mouvements articulaires, longueur et durée du pas) ou des activations musculaires plus importantes au niveau de la cheville et du genou (Eichenlaub et al., 2023). Les mécanismes de rétroaction utilisent le contrôle segmentaire et supra-segmentaire pour réaliser les ajustements posturaux nécessaires en fonction des déséquilibres induits lors du mouvement grâce aux afférences somatoproprioceptives et vestibulaires (A. B. Wang et al., 2021; Woollacott & Tang, 1997).

Toute altération du schéma de marche sera caractérisée, entre autres, par une modification des paramètres du pas ayant pour objectif le maintien de la stabilité posturale et la préservation de la marche. Ceci, se faisant fréquemment au détriment de la vitesse de marche (Yelnik & Herman, 2021). Une vitesse de marche naturelle réduite est associée à différents risques pour le patient : en-dessous d'1,30 m/s, la sécurité pour traverser une route n'est plus garantie et en-dessous d'1 m/s, les patients sont plus susceptibles de chuter (Gafner & Bruyneel, 2022). Selon Pamoukdjian et al. (2017), une marche en-dessous de 0,80 m/s est un facteur prédictif de décès précoce (< 6 mois de survie) chez les patients âgés atteints de cancer (Pamoukdjian et al., 2017).

Évaluation de la marche

La marche peut être quantifiée via des analyses cinématiques, cinétiques, électromyographiques ou spatio-temporelles. L'évaluation cinématique mesure les mouvements segmentaires et articulaires tandis que la cinétique évalue les forces, les moments de force et la puissance intersegmentaire (Armand et al., 2015). L'analyse électromyographique évalue l'activité musculaire et l'analyse spatio-temporelle consiste à mesurer les caractéristiques du cycle de marche afin d'apporter une idée générale du schéma de marche de la personne évaluée (Armand et al., 2015). Les paramètres de vitesse, cadence, longueur du pas ou encore le temps alloué à chaque phase (*c-à-d.* appui et oscillante) sont mesurés à cette fin. Pour objectiver ces paramètres, des capteurs inertiels, constitués d'accéléromètres et de gyromètres, peuvent être utilisés (Li, 2017). Ils mesurent les accélérations linéaires par un mécanisme de masse-ressort et les vitesses angulaires afin de mesurer les différents événements de la marche (Li, 2017).

Troubles spatio-temporels de la marche induits par la chimiothérapie

Les patients ayant eu un cancer démontrent des paramètres de marche altérés par rapport aux personnes n'ayant jamais eu de cancer. Une diminution de la vitesse de marche de 16 % et de la longueur du cycle de marche, associée à une augmentation du pourcentage du cycle en double appui et de la durée du cycle de 11 % sont rapportées (Zahiri et al., 2019). Une diminution progressive de la vitesse de marche au fil des traitements chimiothérapeutiques est observée (Monfort et al., 2017).

Ces altérations de la marche liées à la chimiothérapie pourraient être associées aux déficits somatosensoriels selon Wang et al. (2021) et Winters-Stone et al. (2017), évaluant plus de 500 patients avec et sans CIPN (A. B. Wang et al., 2021; Winters-Stone et al., 2017). Toutefois, toutes les études ne mettent pas en évidence de modification de la marche entre les patients avec et sans CIPN (Monfort et al., 2019a; Suzuki et al., 2023; Zahiri et al., 2019). De même, la méta-analyse de Suzuki et al. (2023) se basant sur trois études n'a pas constaté de vitesse de marche altérée dans le groupe ayant une CIPN.

Comme démontré dans l'étude de Zahiri et al. (2019), il semblerait donc que la chimiothérapie puisse altérer les paramètres spatio-temporels de la marche mais l'impact des CIPN sur ces paramètres est moins clair (Zahiri et al., 2019).

Principaux tests fonctionnels de marche

En pratique clinique, l'analyse spatio-temporelle de la marche n'est pas toujours réalisable et les capteurs inertiels ne sont pas à disposition de toutes les structures. De ce fait, des tests fonctionnels de terrain sont souvent utilisés pour leur praticité. Ils mesurent une distance parcourue dans un temps imparti ou une vitesse sur de courtes distances (Bruyneel et al., 2023).

Parmi les tests existants mesurant une distance, le test de marche de 6 min (TM6) est certainement le plus utilisé (Bohannon, 2017; Bohannon et al., 2014). Ce test est recommandé pour évaluer les déficits de mobilité et d'incapacité générale associés à l'augmentation de la sévérité des symptômes de la CIPN (Monfort et al., 2019a). Il consiste à réaliser le plus d'aller-retour en 6 min sur une distance de 30 m afin de définir la capacité de marche (*cf. Bruyneel, A.-V., Gafner, S. C., Reinmann, A. Évaluation de la capacité fonctionnelle de marche : test de marche de six minutes. Kinesither Rev 2022*). Ce test a été validé pour de nombreuses populations dont des patients ayant un cancer (K. Schmidt et al., 2013). Il est fiable et facilement réalisable en clinique (Bruyneel et al., 2023). L'étude d'Eden et al., (2018) a mis en évidence une excellente fiabilité test-retest chez des patients atteints de cancer de la tête et du cou ($ICC = 0,96$) (Eden et al., 2018).

Une variante plus courte de ce test existe également. Il s'agit du test de marche de 2 min (TM2) (*cf. Reinmann, A., Gafner, S. C., Bruyneel, A.-V. Évaluation de la capacité fonctionnelle de marche : test de marche de deux minutes. Kinesither Rev 2023*). Ce test présente une excellente validité de construit avec le TM6 (**Annexe 3**) et cela, pour diverses populations telles que des adultes (Bohannon et al., 2014), des personnes âgées (Connelly et al., 2009), des personnes ayant une pathologie respiratoire (Johnston et al., 2017) ou neuromusculaire (L. K. Andersen et al., 2016; Bennett et al., 2017) ou encore des personnes présentant des troubles cognitifs (W. L. S. Chan & Pin, 2019). Sa fiabilité test-retest ($0,82 \leq ICC \leq 1,00$), inter- ($0,92 \leq ICC \leq 0,99$) et intra-évaluateur ($0,90 \leq ICC \leq 0,96$) est bonne à excellente (Bennett et al., 2017; Bohannon et al., 2015; D. Brooks et al., 2002; W. L. S. Chan & Pin, 2019; Connelly et al., 2009; Goda et al., 2019; Hiengkaew et al., 2012; Johnston et al., 2017; Leung et al., 2006; Salci et al., 2019; Sarac et al., 2022; Vancampfort et al., 2019, 2020, 2021). Cependant, aucune étude de validité entre le TM2 et le TM6 n'a été menée en contexte oncologique.

Tout comme les tests de mesure de distances, les tests de mesure de la vitesse de marche sont également communs en pratique clinique. Diverses variantes faisant évoluer les distances d'évaluation et d'accélération/décélération existent. Le test de marche de 10 m mesure les capacités fonctionnelles des patients en comparaison à des normes préétablies (Gafner & Bruyneel, 2022). Il présente de nombreux avantages tels qu'une facilité pratique et logistique ainsi que d'excellentes propriétés d'outils pour des personnes atteintes de cancer de la tête et du cou (fiabilité test-retest, $ICC = 0,94$) (Eden et al., 2018).

Enfin, certains tests fonctionnels combinent différentes activités. Ainsi, le TUG test consiste à se lever, marcher 3 m, faire un demi-tour et se rasseoir, associant les transferts à la marche (Christopher et al., 2021). Ce test, valide et fiable pour des patients en contexte oncologique (cf. *Annexe I*), est utilisé pour évaluer l'évolution de la fonction au fil des traitements et selon les effets secondaires. Une péjoration des résultats au TUG est observée au fur et à mesure des cycles de chimiothérapie (Bahcaci & Demirbukan, 2019) et en cas de CIPN diagnostiquée (Kober et al., 2018; Marshall et al., 2016; Miaskowski et al., 2017).

- Les personnes ayant été traitées par une chimiothérapie neurotoxique ont des paramètres de marche altérés.
- Les différents facteurs pouvant influencer les paramètres spatio-temporels de la marche après une chimiothérapie neurotoxique ne sont pas encore définis.
- Tout comme les paramètres spatio-temporels, la capacité de marche peut être impactée par la chimiothérapie.
- Celle-ci peut être évaluée par le TM6, le TM2 et le test de 10 m.

Iic. Répercussions des déficits fonctionnels sur le quotidien, la qualité de vie et l'autonomie

Les troubles du contrôle postural et de la marche suite à la chimiothérapie peuvent avoir des conséquences majeures sur les activités quotidiennes, l'autonomie et la qualité de vie des patients (Duregon et al., 2018). En effet, l'altération des capacités d'équilibration et de marche est particulièrement handicapante car ces capacités sont nécessaires pour la plupart des activités de la vie quotidienne (s'habiller, prendre les transports, s'occuper de ses enfants, ...) (D. X. M. Wang et al., 2020). En cas de limitation des activités de contrôle postural ou de marche après

chimiothérapie, les gestes habituellement simples du quotidien peuvent devenir laborieux (H.-J. Kim et al., 2022). Frustration et perte de confiance peuvent alors être ressenties par les patients dont la vie quotidienne devient difficile (H.-J. Kim et al., 2022).

Les participations sociales et de loisirs peuvent alors être restreintes (H.-J. Kim et al., 2022) et les patients se trouvent de plus en plus isolés. De plus, les risques de sédentarisation et déconditionnement augmentent (Duregon et al., 2018), avec les menaces que cela comporte (*c.-à-d.*, risques cardio-vasculaires et de diabètes de type II augmentés, capacité à surmonter les traitements du cancer diminuée, mortalité accrue) (OMS, 2020; Peddle-McIntyre et al., 2019). Avec de moindres capacités physiques, l'autonomie du patient devient limitée ce qui a pour conséquence une diminution de l'estime de soi (Duregon et al., 2018; H.-J. Kim et al., 2022). Le patient est alors face à un cercle vicieux (**Figure 6**) dont les répercussions sur la qualité de vie sont conséquentes (Duregon et al., 2018). C'est pourquoi il est primordial de développer des interventions pour soulager les patients (H.-J. Kim et al., 2022).

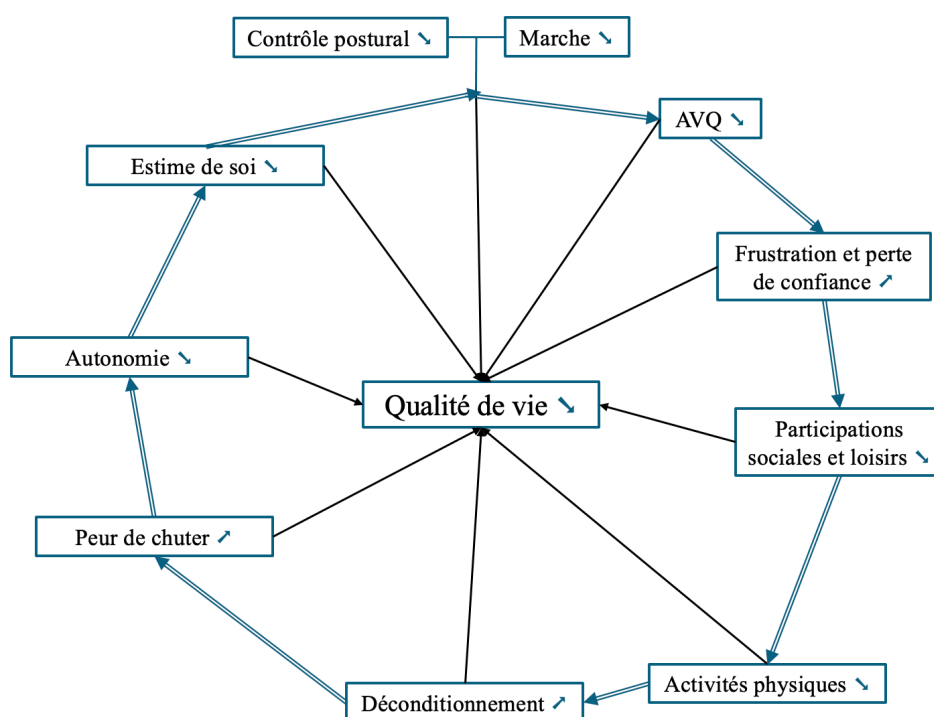


Figure 6. Cercle vicieux des répercussions des déficits fonctionnels sur la qualité de vie, inspiré des contenus des articles de Duregon et al., (2018) et Kim et al., (2022) (Duregon et al., 2018; H.-J. Kim et al., 2022). AVQ = activité de la vie quotidienne

IId. Soins de support pour limiter les effets secondaires des chimiothérapies

Activité physique

Soins de support

Développés dès les années 1980, les soins de support visent à « *améliorer le confort et la qualité de vie des patients, optimiser l'efficacité des traitements spécifiques tout en limitant la pénibilité des effets secondaires, participer au contrôle de la maladie et accorder une place particulière aux proches* » (Di Santolo et al., 2018). Ils prêtent, entre autres, une attention particulière à la prise en charge globale du patient et à la collaboration interprofessionnelle. Les domaines d'interventions sont vastes allant du somatique à la psychologie, en passant par le social et le bien-être (Di Santolo et al., 2018). Les prises en charge sous forme de programme d'activité physique en font partie.

L'activité physique pour les personnes atteintes de cancer

L'activité physique, définie par « *tout mouvement corporel produit par les muscles squelettiques qui entraîne une dépense énergétique* » (Caspersen et al., 1985), est vivement recommandée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) en cas de cancer. Celle-ci préconise 150 min d'activité physique modérée à intense par semaine afin de bénéficier des nombreux bienfaits (Titz et al., 2018) :

- En prévention primaire

Une pratique régulière et suffisante de l'activité physique peut prévenir l'apparition de différents cancers (sein, poumon, côlon, prostate, estomac, œsophage, pancréas, sang, ovaires, endomètre, rein, vessie, tête et cou) (Delattre, 2018; McTiernan et al., 2019; A. V. Patel et al., 2019).

- Durant la phase active des traitements

L'activité physique permet de lutter contre le déconditionnement et améliore les capacités physiques (cardio-respiratoires, force, contrôle postural) (H. H. Andersen et al., 2022; Buffart et al., 2017; Campbell et al., 2019; Delattre, 2018; Streckmann et al., 2022; Sweegers et al., 2018). Elle permet également le maintien et la normalisation de la composition corporelle, améliore les marqueurs de dysmétabolisme et pourrait stimuler l'immunité (Delattre, 2018). Elle limite la fatigue, les symptômes dépressifs, les troubles anxieux et la douleur tout en

améliorant l'estime de soi et l'image du corps (Campbell et al., 2019; Delattre, 2018; Molina-Montes et al., 2021; Oberoi et al., 2018). L'activité physique permet également de mieux tolérer les traitements et leurs effets (Delattre, 2018). La qualité de vie du patient pourrait ainsi être améliorée grâce à l'activité physique (Buffart et al., 2017; Campbell et al., 2019).

- Après la phase active des traitements

L'activité physique permet de réduire le risque de récurrence (pour les cancers du sein, de la prostate et du colon), la mortalité liée au cancer ainsi que la mortalité globale (Delattre, 2018; Molina-Montes et al., 2021). L'espérance de vie est allongée (Delattre, 2018; Molina-Montes et al., 2021).

La fréquence, l'intensité, le type d'activité, la durée ou encore la longueur du programme, regroupés sous l'acronyme « FITT », dépendent de l'objectif visé. Des guidelines émanant d'une coopération de différentes associations internationales pour la prise en charge des patients atteints de cancer spécifient les paramètres FITT en fonction de l'objectif (Campbell et al., 2019). Ces guidelines considèrent l'activité physique pour des personnes ayant le cancer comme sûre tant que certaines précautions sont respectées (Campbell et al., 2019). Une évaluation et autorisation médicales préexercices sont ainsi requises en cas de comorbidité (CIPN, ataxie, troubles musculosquelettiques ou osseux, fatigue extrême, dénutrition sévère, lymphœdème) ou après chirurgie (Campbell et al., 2019).

L'augmentation des évidences sur le sujet encourage la pratique des soins de support en apportant des précisions sur les indications, sur les modalités mais également sur de nouveaux champs d'application. En effet, des paramètres comme la tolérance aux traitements ou la prise en charge de CIPN sont aujourd'hui davantage abordés dans la littérature et semblent être des indications prometteuses à la pratique d'activité physique.

Activité physique et CIPN

Activité physique et CIPN, évidences scientifiques

L'évidence scientifique semble encourager la pratique de l'activité physique pour les personnes ayant développé une CIPN. En effet, elle pourrait avoir des effets bénéfiques en termes de prévention et de traitement :

- Prévention de la CIPN

Des exercices d'endurance et de résistance seraient bénéfiques pour prévenir les symptômes de la CIPN tels que la sensation de chaud/froid dans les extrémités (Kleckner et al., 2018) ou les engourdissements dans les extrémités (Bland et al., 2019; Şimşek & Demir, 2021). Un programme d'activité physique composé d'exercices d'endurance, de résistance et/ou d'exercices sensorimoteurs permettrait également de limiter l'apparition de douleurs neuropathiques (Streckmann et al., 2024; Zimmer et al., 2018) et encouragerait la tolérance au traitement (meilleure intensité relative de la dose prévue) (Bland et al., 2019; Streckmann et al., 2024).

L'activité physique pourrait également limiter l'apparition de déficits fonctionnels liés à la chimiothérapie comme les troubles du contrôle postural. Cinq études, de qualité modérée à haute, ont ainsi montré des effets positifs d'une intervention basée sur des exercices sensorimoteurs, une combinaison d'exercices (sensorimoteurs, aérobiques et/ou de résistance) ou un programme de marche pour la prévention de troubles du contrôle postural (*cf. Annexe 4*) (Bahar-Ozdemir et al., 2020; Streckmann, 2014; Streckmann et al., 2024; Stuecher et al., 2019; Vollmers et al., 2018). En revanche, l'étude de Müller et al. (2021) n'a pas corroboré ces résultats dans son essai contrôlé randomisé de bonne qualité (score PEDro 8/11, *cf. Annexe 4*) évaluant un programme d'exercices sensorimoteurs et de résistance pour des patients atteints de divers cancers (Müller, Weiler, et al., 2021). En considérant toutes les études ayant évalué le contrôle postural peu importe l'outil de mesure, les résultats semblent prometteurs pour l'activité physique, comme énoncé dans la méta-analyse de Tamburin et al. (2021, niveau d'évidence B) (Tamburin et al., 2021).

- Traitement de la CIPN

Les différentes méta-analyses présentent des résultats divergents concernant la sévérité des symptômes. Alors que certaines n'ont observé aucun effet (Guo et al., 2022; Oh & Kim, 2018), d'autres observent que l'activité physique améliorerait les symptômes de la CIPN (Crichton et al., 2022; Lin et al., 2021; Nuñez de Arenas-Arroyo et al., 2023; Streckmann et al., 2022). Les programmes délivrés étaient des exercices neuro-méningés, sensorimoteurs, de résistance, d'endurance, de yoga ou une combinaison de différentes modalités.

La qualité de vie pourrait également être améliorée, comme le met en évidence les quatre méta-analyses (Guo et al., 2022; Lopez-Garzon et al., 2022; Oh & Kim, 2018; Streckmann et al., 2022) sur cinq traitant le sujet (Papadopoulou et al., 2023).

De même, la force musculaire des patients ayant développé une CIPN pourrait être augmentée par un programme d'activité physique comme précisé dans les différentes méta-analyses (Crichton et al., 2022; Guo et al., 2022; Oh & Kim, 2018).

De plus, l'activité physique pourrait limiter les répercussions des CIPN sur le contrôle postural avec des effets sur la stabilité posturale dans deux méta-analyses, incluant respectivement trois et cinq études (Guo et al., 2022; Streckmann et al., 2022).

En ciblant uniquement les études ayant utilisé une plateforme de force pour évaluer le contrôle postural, les résultats sont plus divergents (*cf. Annexe 4*). L'activité physique pourrait limiter les instabilités posturales induites par la chimiothérapie (Cammisuli et al., 2016; Kneis et al., 2019). Elle pourrait également n'avoir que peu ou pas d'effet par rapport à un état initial (Kneis, Wehrle, et al., 2020a) ou à un groupe contrôle (Streckmann et al., 2019).

Mécanismes d'action de l'activité physique dans le cadre des CIPN

L'activité physique agirait sur les systèmes nerveux périphériques, centraux et sur les processus psychosociaux (**Figure 7**) par le biais de différents mécanismes et processus (Chung et al., 2022) :

- Mécanismes neurophysiologiques

Selon l'étude de Chung (2022), l'activité physique augmenterait l'expression de facteurs neurotrophiques, en particulier le facteur neurotrophique dérivé de la glie (GDNF), le facteur neurotrophique dérivé du cerveau (BDNF) et le facteur de croissance de type insulinaire 1 (IGF-1), régénérant ainsi les neurones centraux et périphériques (Chung et al., 2022). Leur rôle dans le maintien de la douleur neuropathique doit encore être éclairci en milieu clinique.

La dégénérescence axonale limitant la densité des fibres nerveuses intra-épidermiques et amenuisant la transmission nerveuse sensorielle pourrait être limitée par l'activité physique. Cette dernière pourrait ainsi encourager la régénération axonale, la récupération fonctionnelle, le nombre de fibres myélinisées et diminuer l'allodynie (Chung et al., 2022).

Par ailleurs, une diminution de l'inflammation et du stress oxydatif seraient facilitée par la libération de cytokines anti-inflammatoires. La contraction musculaire entraîne, en effet, la libération d'IL-6 pro-inflammatoires qui permet la libération des IL-10 et IL-1RA anti-inflammatoires (Chung et al., 2022).

L'activité physique diminuerait également l'hyperactivité cérébrale dans certaines régions cérébrales, susceptible d'aggraver les symptômes de la CIPN. Ainsi, une diminution de l'activité cérébrale de l'insula, centre de l'intéroception, pourrait limiter la sévérité des symptômes (Chung et al., 2022; Kleckner et al., 2024).

Enfin, l'activité physique améliorerait la capacité antioxydante de la mitochondrie, l'efficacité de la chaîne de transport d'électrons et la biogenèse, soit la production de nouvelles mitochondries (Chung et al., 2022).

- Processus psychosociaux

L'activité physique améliorerait l'humeur, l'anxiété, la dépression ainsi que le sentiment d'auto-efficacité. Elle permettrait également de créer des attentes envers un bénéfice, du soutien social ainsi que des stratégies pour faire face aux symptômes de la CIPN (Chung et al., 2022).

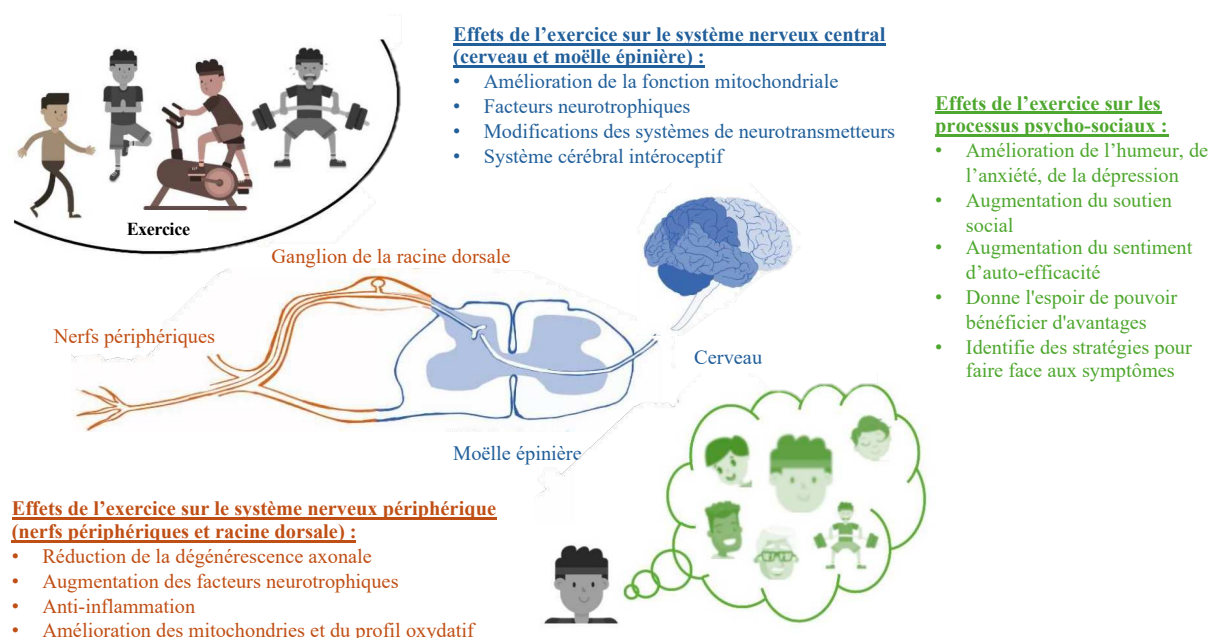


Figure 7. Effets de l'activité physique sur le système nerveux périphérique, central et sur les processus psychosociaux des personnes atteintes de CIPN, tiré de Chung et al. (2022) (Chung et al., 2022) sous licence CC-BY, reproduit et traduit en français

Freins et facilitateurs à la pratique d'activité physique en contexte oncologique

Les barrières à l'activité physique en contexte oncologique sont nombreuses allant des facteurs physiologiques (liés au cancer et à ses traitements), aux facteurs psycho-sociaux et culturels (auto-efficacité et motivation), économiques et environnementaux (coût, météo, accès aux infrastructures) (Elshahat et al., 2021). Les effets secondaires des traitements, les complications médicales, la progression du cancer et les conflits d'horaires avec la vie familiale, professionnelle et les traitements sont les principales limitations à l'activité physique (Covington et al., 2019). En revanche, le fait de se sentir bien (*p. ex.* sans symptôme physique ou douleurs), la présence de stratégies pour limiter les symptômes liés au cancer, être bien entouré socialement, réaliser une activité en groupe, accessible et abordable, percevoir les bienfaits ou avoir une expérience antérieure positive de l'activité physique sont des facilitateurs à la pratique d'activité physique (Elshahat et al., 2021).

Nécessité de travaux supplémentaires

Malgré l'augmentation des évidences des bienfaits de l'activité physique pour la prévention et le traitement de la CIPN, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour consolider les preuves sur ce sujet (H. H. Andersen et al., 2022; Guo et al., 2022; Tamburin et al., 2021). Selon certains auteurs, davantage d'essais cliniques sont requis pour démontrer l'efficacité des interventions non médicamenteuses pour la prévention et le traitement de la CIPN avant de formuler des recommandations en vue d'améliorer la qualité de vie des patients traités par des chimiothérapies neurotoxiques (Tamburin et al., 2021). En effet, les méta-analyses se basent majoritairement sur un nombre faible d'articles (environ cinq articles) avec des petits échantillons (médiane à 24 participants) pour tirer leurs conclusions (Lin et al., 2021; Tamburin et al., 2021). De plus, les interventions sont souvent hétérogènes dans leurs modalités FITT et leurs protocoles de mesures (Lin et al., 2021; Papadopoulou et al., 2023) entraînant une confiance modérée dans les conclusions (Crichton et al., 2022; Streckmann et al., 2022). De plus, la majorité des études évaluent les patients lors de deux temps de mesure soit avant et après l'intervention uniquement. La variabilité importante dans les performances aux tests fonctionnels des personnes atteintes de cancer encouragerait la réalisation de mesures intermédiaires (Soucy et al., 2022).

- L'activité physique est recommandée en contexte oncologique pour ses nombreux bienfaits en prévention primaire, durant la phase active ou après les traitements.
- L'activité physique pourrait également être bénéfique pour la prévention et le traitement de la CIPN grâce à ses effets sur le système nerveux central, le système nerveux périphérique et sur les processus psychosociaux.
- Des études supplémentaires sont, toutefois, nécessaires, les évidences étant encore peu nombreuses et les études hétérogènes.

III. Objectifs généraux et construction des étapes de la thèse

La synthèse de la littérature scientifique existante a mis en évidence des effets secondaires fréquents et conséquents de la chimiothérapie neurotoxique sur le système nerveux périphérique. De plus, il est probable que les CIPN secondaires à ces traitements soient une cause supplémentaire de perturbations du contrôle postural et de la marche, pouvant affecter considérablement le quotidien des personnes traitées par une chimiothérapie neurotoxique. Bien que les troubles du contrôle postural et leurs nombreuses répercussions soient connus, ils restent peu pris en compte dans la pratique clinique. Cela s'explique notamment par la nécessité de prioriser la gestion d'autres effets secondaires vitaux des traitements, ainsi que par une méconnaissance des outils d'évaluation et des stratégies de prise en charge. Le développement d'évaluations et de prises en charge aussi bien adaptées que spécifiques permettraient de faciliter le parcours de soin du patient atteint de CIPN et/ou de troubles de la fonction physique.

Pour cela, plusieurs aspects des CIPN/troubles du contrôle postural et de la marche devront être clarifiés. La littérature scientifique a mis en évidence une influence des traitements neurotoxiques sur le contrôle postural. Toutefois, le faible nombre d'études prospectives sur le sujet et leur méthodologie (étude pilote avec une population parfois hétérogène, sans perturbations somatoproprioceptives et sans considération de la FRS) limitent la compréhension des perturbations posturales induites par la chimiothérapie. Ainsi, il reste à établir dans quelle mesure les chimiothérapies par taxanes altèrent le contrôle postural lors de perturbations sensorielles, clarifier les stratégies d'adaptation mises en place par les patients et définir les mécanismes physiopathologiques en lien.

- Le premier objectif consistait à évaluer l'évolution de la fonction physique (contrôle postural quasi-statique, quasi-dynamique et marche) avant-après un traitement par taxanes chez des femmes atteintes d'un cancer du sein *cf. Étude 1 et Étude 2*.
- Le deuxième objectif visait à étudier les adaptations des stratégies posturales quasi-statiques des femmes atteintes de cancer du sein avant-après leur traitement par taxanes en faisant varier les conditions d'évaluation du contrôle postural (yeux ouverts/fermés, surface rigide/mousse, avec/sans vibrations et en situation de double tâche) *cf. Étude 1*.
- Le troisième objectif consistait à investiguer les liens entre les troubles du contrôle postural chimio-induits et la CIPN, l'activité physique et la fatigue des femmes ayant un cancer du sein traitées par taxanes *cf. Étude 1*.

Cette première étape était nécessaire pour la construction de prises en charge adaptées. À ce jour, les recommandations concernant les stratégies non médicamenteuses à adopter pour prévenir les CIPN/troubles du contrôle postural sont limitées, en raison du nombre restreint d'articles traitant ce sujet et de leur hétérogénéité (populations et méthodologies diverses). Si les prises en charge sous forme d'activité physique sont de plus en plus étudiées et indiquées, des recherches supplémentaires sont nécessaires. Une seconde étape consistait à créer un programme spécifique aux observations réalisées.

- Le quatrième objectif était d'évaluer l'effet d'un programme d'exercices sensorimoteurs chez des personnes atteintes de cancer du sein triple négatif sur la stabilité quasi-statique, la marche, les signes et symptômes de la CIPN et la qualité de vie des participantes *cf. Étude 2*.

Les prises en charge de soins de support sous forme d'activité physique, une fois implémentées en milieux écologiques ne font pas toujours l'objet d'investigations. Or, cela permet de garantir des soins de qualité et d'individualiser la prise en charge que ce soit à la population concernée ou au contexte clinique spécifique.

- Le cinquième objectif visait à établir l'influence d'un programme existant, constitué d'exercices adaptés associés à des séances éducatives, sur la capacité de marche et la fatigue des personnes atteintes de différents cancers *cf. Étude 3*.

Enfin, l'amélioration des pratiques passe également par l'optimisation des évaluations réalisées. De nombreux tests sont utilisés en pratique clinique pour évaluer la capacité de marche des

personnes atteintes de cancer. Le TM2 et le test de marche de 10 m en font partie. Toutefois, les propriétés de ces outils n'ont pas encore été complètement étudiées en contexte oncologique.

- Le dernier objectif était d'établir la faisabilité, la validité de critère et la validité de construit convergente du TM2 et du test de marche de 10 m chez des patients atteints de cancer *cf. Étude 4*.

Pour répondre aux différents objectifs précités, quatre études distinctes ont été réalisées. La première était une étude observationnelle sur l'évolution du contrôle postural quasi-statique avant-après taxanes pour les patientes atteintes de cancer du sein. La deuxième était une étude de type interventionnel visant à prévenir les troubles fonctionnels, basée sur les résultats de la première étude. La troisième était une évaluation rétrospective des données d'un programme de réadaptation multimodal visant à limiter les effets indésirables du traitement du cancer. La quatrième était une étude de validation d'outil d'évaluation de la capacité de marche (**Figure 8**). Ces projets sont détaillés ci-après.

Différentes études constituant la thèse

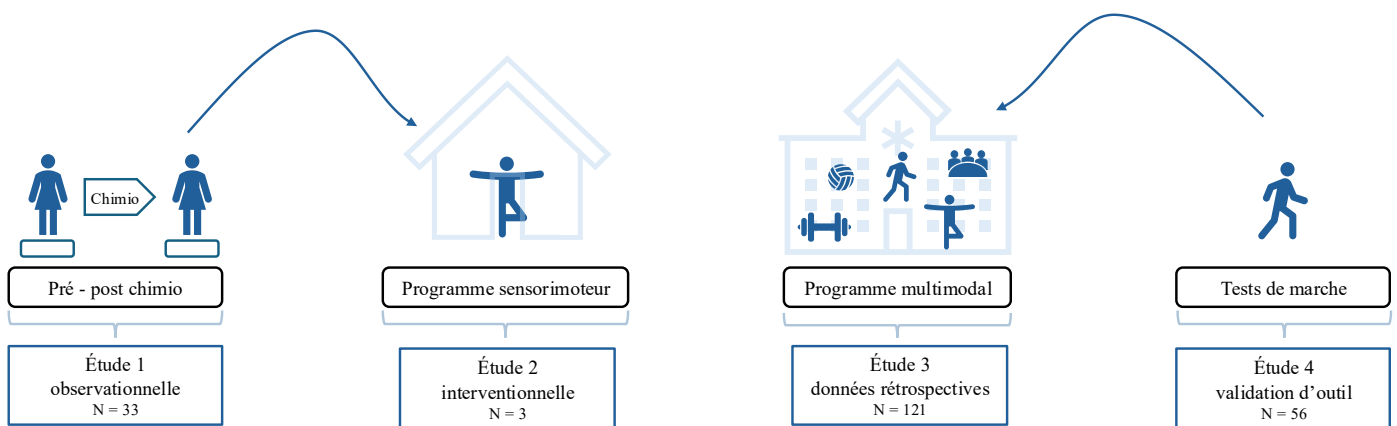


Figure 8. Différentes études composant ce travail de thèse. N = nombre de participants

IV. Différentes études réalisées au cours de la thèse : de la compréhension à la prise en charge des troubles fonctionnels des patients en oncologie

IVa. Étude 1 : répercussions des taxanes sur le contrôle postural

Introduction

Les perturbations du contrôle postural après un traitement chimiothérapeutique dit neurotoxique ont été étudiées majoritairement dans des études pilotes transversales (A. B. Wang et al., 2021; Wechsler & Wood, 2021). Seules trois études longitudinales décrivent l'évolution naturelle des capacités posturales après un traitement neurotoxique (Monfort et al., 2016, 2017; Müller et al., 2020). Ces études sont importantes car elles permettent de prendre en compte les capacités initiales du patient qui peuvent être influencées par divers facteurs intrinsèques et extrinsèques.

Aucune de ces trois études n'a fait varier les conditions de test du contrôle postural, hormis la condition de perturbation visuelle. En effet, le contrôle postural a été étudié uniquement en condition yeux ouverts/fermés sur sol rigide. Une diversification des conditions de test permettrait de mieux appréhender les stratégies d'adaptation mises en place par les patients. L'utilisation d'une surface instable, de vibrateurs ou d'une double tâche pourrait apporter de plus amples informations sur les répercussions d'une chimiothérapie neurotoxique sur le contrôle postural. La condition dynamique a également été peu étudiée, alors qu'elle est une situation commune dans les tâches quotidiennes. Enfin, toutes ces études ont fondé leur interprétation sur les paramètres du CP. Or, la FRS pourrait apporter une analyse plus fine des stratégies posturales développées par les patients.

La meilleure compréhension des répercussions d'une chimiothérapie sur la posture et les stratégies mises en place par les patients permettra de créer des programmes de soins de support spécifiques aux troubles observés afin de potentiellement limiter leurs conséquences négatives sur la qualité de vie.

La question de recherche était la suivante :

« Quelles sont les répercussions d'une chimiothérapie neurotoxique sur le contrôle postural quasi-statique et quasi-dynamique de femmes atteintes de cancer dans différentes conditions de perturbations sensorielles ? »

Objectifs et hypothèses

Objectif primaire

L'objectif était de comparer les capacités de contrôle postural lors de différentes contraintes sensorielles en position bipodale (yeux ouverts/fermés, surface rigide/mousse, avec/sans vibrations et double tâche), de femmes atteintes d'un cancer avant et après une chimiothérapie neurotoxique.

L'hypothèse était qu'après 12 semaines de chimiothérapie, le contrôle postural des participantes serait diminué en raison des perturbations somatosensorielles induites par la chimiothérapie (Wechsler & Wood, 2021).

La deuxième hypothèse était que le contrôle postural serait particulièrement altéré dans les conditions nécessitant l'utilisation des informations somatoproprioceptives (surface rigide avec perturbation visuelle). En effet, la diminution du feed-back sensoriel causée par la CIPN devrait entraîner une diminution du contrôle postural qui ne peut être compensée par la vision (A. B. Wang et al., 2021).

Objectifs secondaires

- L'étude visait également à évaluer les modifications de la stabilité quasi-dynamique debout (limites de stabilité ou LOS) après chimiothérapie. L'hypothèse était que le traitement puisse altérer la stabilité quasi-dynamique (LOS) à cause des perturbations somatosensorielles induites par la chimiothérapie (Rattanakrong et al., 2022).
- L'évolution de la qualité de vie ainsi que des inquiétudes liées à la neurotoxicité des personnes atteintes d'un cancer après chimiothérapie étaient également évaluées. Une détérioration était attendue après chimiothérapie à cause des répercussions de celle-ci (Tanay et al., 2017).
- L'étude avait également pour objectif d'examiner l'association entre la sévérité de la CIPN (légère, modérée, sévère) et le contrôle postural, la stabilité quasi-dynamique et la qualité de vie des femmes atteintes d'un cancer. L'étude émettait l'hypothèse que le contrôle postural, l'équilibre quasi-dynamique et la qualité de vie seraient d'autant plus détériorés que la sévérité de la CIPN serait importante en lien avec les perturbations fonctionnelles et les répercussions qu'elles peuvent avoir sur le quotidien (Duregon et al., 2018).

Méthode

Design

Le design correspondait à une étude prospective observationnelle sans groupe contrôle.

Conception et cadre de l'étude

L'étude s'est déroulée d'octobre 2020 à décembre 2022 au centre du sein des Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG). Deux temps d'évaluation de 75 min étaient prévus : l'un durant le mois précédant le début de la chimiothérapie neurotoxique (évaluation initiale) et l'autre au cours du mois suivant la fin de la chimiothérapie (environ 12 semaines de traitement, **Figure 9**). Afin de limiter les abandons ou oublis de rendez-vous, un rappel était envoyé aux participantes.

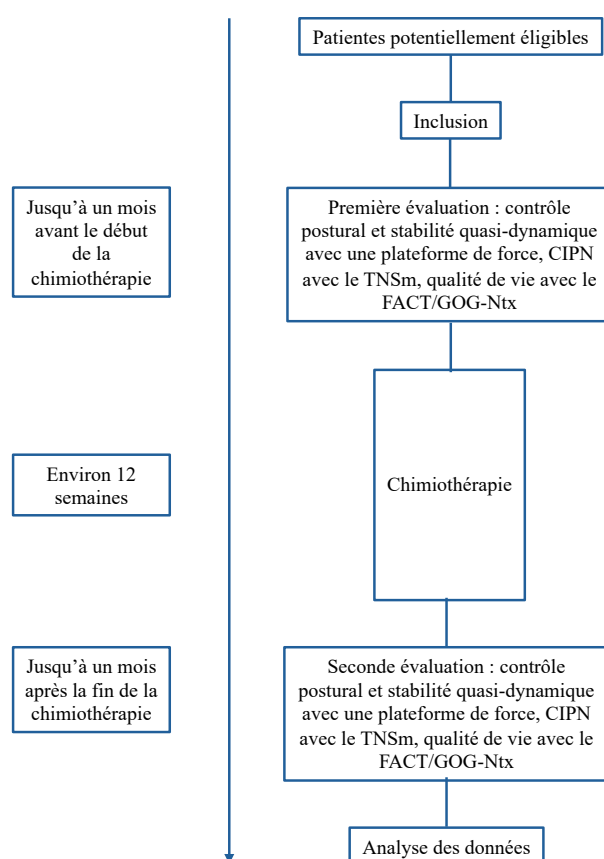


Figure 9. Procédure expérimentale de l'étude observationnelle. CIPN = neuropathies périphériques induites par chimiothérapie, FACT = functional assessment of cancer therapy, GOG-Ntx = gynaecologic oncology group neurotoxicity, m = modifié, TNS = total neuropathy score

Participants

Critères d'éligibilité

Les femmes recrutées devaient être sur le point de démarrer une chimiothérapie dite neurotoxique. Le **Tableau 1** détaille les différents critères d'inclusion et d'exclusion. La limite d'âge supérieure, fixée à 65 ans, avait pour objectif de limiter l'influence de l'âge sur les résultats (*c.-à-d.* diminution de la masse musculaire, perturbations du contrôle postural) (Izquierdo et al., 2021).

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
• Être une femme • Être âgée entre 18 et 65 ans • Être atteinte d'un cancer du sein ou gynécologique et être sur le point de démarrer une chimiothérapie dite neurotoxique (paclitaxel, docetaxel, nab-paclitaxel ou paclitaxel-carboplatine) • Être capable de tenir 30 s sur une surface plane sans moyen auxiliaire • Être capable de donner son consentement écrit	• Être atteinte d'une pathologie somatoproprioceptive, vestibulaire, visuelle non corrigeable préexistante ou toute autre pathologie pouvant altérer le contrôle postural et influencer les évaluations • Avoir été exposée à une chimiothérapie dite neurotoxique par le passé (paclitaxel, docetaxel, nab-paclitaxel, vinorelbine, trastuzumab-emtansine, éribuline ou paclitaxel-carboplatine) • Être incapable de réaliser les tests à cause de difficultés de compréhension des consignes ou de problèmes psychologiques

Tableau 1. Critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour évaluer l'éligibilité des patientes de l'étude observationnelle. CIPN = neuropathies périphériques induites par chimiothérapie

Recrutement

Les potentielles participantes étaient recrutées de façon consécutive au centre du sein des HUG. Elles étaient contactées par téléphone par une investigatrice de l'étude qui leur fournissait les informations nécessaires (*c.-à-d.* la nature de l'étude, son objectif, les procédures en lien, la durée prévue, les risques et avantages ainsi que tout inconfort potentiels). Une lettre d'information était ensuite envoyée (**Annexe 5**). La personne chargée de la présentation de

l'étude ne faisait pas partie des soins courants de la patiente afin de faciliter le libre choix du consentement. L'investigatrice rappelait la participante au minimum 24 heures plus tard, lui laissant ainsi un temps de réflexion avant de prendre sa décision. Les évaluations étaient toujours concomitantes à un autre rendez-vous à l'hôpital (*p. ex.*, pour une analyse sanguine ou un rendez-vous de suivi chez l'oncologue) afin d'éviter des trajets supplémentaires aux patientes. Le consentement était obtenu avant que la participante ne soit soumise à toute procédure d'étude.

Considérations éthiques

Toutes les participantes ont donné leur consentement écrit. Par ailleurs, l'étude a été approuvée par la commission cantonale d'éthique de Genève (CCER-2020-01639).

Procédure d'évaluation

Lors de la première évaluation, les caractéristiques et les habitudes de vie des participantes étaient recueillies. Au cours des deux séances de test, le contrôle postural sur plateforme de force, la CIPN à l'aide du TNSm ainsi que le questionnaire FACT/GOG-Ntx pour la qualité de vie et les inquiétudes liées à la neurotoxicité étaient évalués. Toutes les participantes suivaient la même procédure. Une physiothérapeute spécialement formée effectuait tous les examens dans une même pièce au calme. Les conditions des tests étaient donc standardisées pour toutes les participantes.

Au vu des difficultés pratiques, ni les participantes ni l'évaluatrice n'étaient en aveugle. Toutefois, lors du second test, les participantes et l'évaluatrice ne connaissaient pas les résultats du premier test du contrôle postural.

Description des outils d'évaluation

Paramètre primaire : contrôle postural en condition quasi-statique

Le contrôle postural était évalué dans différentes conditions de test, avec et sans perturbations sensorielles (*cf. Tableau 2*). Il était mesuré à l'aide d'une plateforme de force de 600 × 500 mm (Biomechanical Force Plate Systems type 9260AA6, Kistler Instrument AG, Winterthur, Suisse). Cette plateforme enregistrait la FRS dans ses trois composantes (AP, ML et V) ainsi

que l'évolution du CP à une fréquence de 100 Hz, comme recommandé (Ruhe et al., 2010) et utilisé en oncologie (Müller et al., 2020).

La position des pieds correspondait à celle réalisée dans l'étude de Fino et al. (2019) soit les pieds nus, espacés de 10 cm entre les talons et de 15 cm entre les hallux (Fino et al., 2019). Cette position standardisée (Kneis, Wehrle, et al., 2020b), légèrement plus resserrée et donc difficile par rapport à la posture naturelle spontanée, permettait d'augmenter la fiabilité des mesures (Ruhe et al., 2010). Cette position standardisée correspondait peu ou prou à l'espacement naturellement choisi par les participants d'une précédente étude (Worthen-Chaudhari et al., 2018). Les membres supérieurs étaient relâchés le long du corps (Ruhe et al., 2010).

Les participantes devaient « rester les plus immobiles possible » pendant 30 s (Pinsault & Vuillerme, 2009) en regardant un point fixe au mur, disposé au niveau des yeux, à une distance de 0,90 mètre (Scheibel et al., 2017). Les participantes réalisaient trois essais pour chaque condition de test espacés d'une période de repos de 10 s (Pinsault & Vuillerme, 2009). Si une perte d'équilibre entraînait l'arrêt de l'essai, les participantes recommençaient ce dernier (avec un maximum de cinq essais). La moyenne des essais réussis était rapportée pour l'analyse des données. La prise de mesure débutait 5 s après le début de l'essai afin d'éviter toute perturbation initiale (Müller et al., 2020).

Les conditions de test étaient les suivantes :

	Yeux	Surface	Vibration	Tâche cognitive
EO	ouverts	rigide	non	non
EC	fermés	rigide	non	non
EOF	ouverts	mousse	non	non
ECF	fermés	mousse	non	non
EOV	ouverts	rigide	oui	non
ECV	fermés	rigide	oui	non
DT	ouverts	rigide	non	oui

Tableau 2. Conditions de test de l'étude observationnelle. EO = yeux ouverts, EC = yeux fermés, DT = double tâche, F = mousse, V = vibration

Les différentes conditions étaient réalisées selon un ordre aléatoire préalablement défini à l'aide d'un outil de randomisation. La liste créée avait été réalisée par une personne externe à l'étude par tirages au sort. La même procédure a été reconduite pour le test d'équilibre quasi-dynamique. L'objectif de la randomisation était d'éviter l'influence de la fatigue sur la performance (Granacher et al., 2023) et les biais d'apprentissage (J. L. Brooks, 2012).

Conditions avec mousse (EOF, ECF)

Pour ces essais, une mousse de 6 cm de hauteur ($48 \times 40 \times 6$ cm) était placée sous les pieds des participantes pour modifier la rétroaction proprioceptive (Airex, Airex AG, Sins, Suisse) (M. Patel et al., 2008).

Conditions avec vibration (EOV, ECV)

Pour les essais avec vibration, des vibrateurs (Vibrasens, Technoconcept, Manosque, France) étaient positionnés sur les tendons d'Achille des muscles triceps suraux afin de créer une illusion d'étirement musculaire et perturber la rétroaction somatoproprioceptive (Doumas et al., 2019). Les muscles triceps suraux ont été choisis pour leur rôle prédominant dans le contrôle postural debout (N. C. Duclos et al., 2015). La fréquence des vibrations était prédéfinie à 80 Hz avec une amplitude d'environ 0,50 mm pour obtenir de plus amples réponses (Abrahámová et al., 2009). Après le test, les participantes réalisaient une pause d'environ 30 s afin d'obtenir un retour à la normale, c'est-à-dire la disparition des effets de la vibration (Capicíková et al., 2006).

Condition avec double tâche (DT)

Il était demandé aux participantes de rédiger un message non familier sur un smartphone tout en gardant leur équilibre. Le message était : "la vache noire saute par-dessus la barrière en métal et mange l'herbe verte" (Strubhar et al., 2017), dicté par l'évaluatrice. Il s'agit d'une tâche cognitivo-motrice non verbale utilisée dans la vie de tous les jours. Il était demandé aux participantes d'exécuter les deux tâches simultanément, sans prioriser l'une ou l'autre.

Les paramètres de CP mesurés étaient : la moyenne quadratique (totale, ML et AP), la longueur (totale, ML et AP), la vitesse maximale et la surface à 95 %. La moyenne quadratique de la longueur du CP représente les déplacements moyens du CP autour de sa position moyenne durant un essai (Monfort et al., 2017). Elle informe sur la qualité du contrôle postural à limiter les excursions s'approchant des limites de stabilité (Monfort et al., 2016). La longueur totale du CP (mm) définit les déplacements successifs du CP et rend compte de l'instabilité posturale (N. Duclos et al., 2017). La vitesse maximale représente la plus haute vitesse de déplacement du CP lors des réajustements posturaux produits durant l'essai (Pinsault & Vuillerme, 2009). Enfin, la surface (mm^2) est une mesure spatiale du contrôle du CP (Monfort et al., 2016; Pinsault & Vuillerme, 2009). Elle correspond à la surface représentant 95 % des positions du CP (Maatar, 2016) et démontre la précision du contrôle de la position (Monfort et al., 2016). A noter qu'elle repose sur l'hypothèse, pas toujours vérifiée, de positions successives du CP

indépendantes et distribuées de façon identique (Quijoux, Nicolăi, Aflalo, et al., 2021; Quijoux, Nicolăi, Chairi, et al., 2021).

La fiabilité test-retest de ces paramètres ($ICC \geq 0,70$ pour de jeunes adultes et $ICC \geq 0,62$ pour une population en oncologie) ainsi que leur validité discriminante ($p < 0,05$) sont modérées à bonnes. Le détail des valeurs de fiabilité et validité se trouve à l'*Annexe 1*. Les paramètres de longueur, vitesse et surface font partie des paramètres recommandés pour l'évaluation du contrôle postural en raison de leur bonne fiabilité, des informations apportées (redondance limitée) et de leur utilisabilité (Hébert-Losier & Murray, 2020; Pinsault, 2009). La moyenne quadratique a été ajoutée car, en plus de ses bonnes propriétés d'outil, elle est fréquemment utilisée dans les études en contexte oncologique permettant ainsi de calculer une taille de l'effet attendu (Monfort et al., 2016).

Les paramètres de la FRS étaient : la force maximale et la variabilité de la force dans les trois plans (N). Elles renseignent sur l'activité des muscles posturaux pour le maintien de l'équilibre dans les plans vertical, horizontal et sagittal (Sozzi, Do, et al., 2022).

Paramètres secondaires

Stabilité quasi-dynamique

Un test de LOS sur plateforme de force était également réalisé (Biomechanical Force Plate Systems type 9260AA6, Kistler Instrument AG, Winterthur, Suisse) pour évaluer la stabilité quasi-dynamique. Ce test permet de définir la limite de déplacement avant qu'une stratégie de compensation devienne nécessaire (Juras et al., 2008). La performance est associée au risque de chute (Johansson et al., 2019).

Les participantes, debout sur la plateforme de force, pieds dans la même position que pour le test d'équilibre quasi-statique et membres supérieurs relâchés le long du corps, se penchaient le plus loin possible sans tomber dans quatre directions (avant, arrière, droite et gauche). La consigne était : « en regardant droit devant, penchez-vous le plus loin possible en avant/en arrière/sur le côté droit/sur le côté gauche en restant bien droite ». Il leur était demandé de ne pas réaliser de flexion de hanches pendant le test et de garder les pieds au sol, sans décoller les talons ou les orteils (Juras et al., 2008). L'évaluatrice contrôlait systématiquement la position des participantes. Trois essais étaient réalisés et la moyenne des trois essais était calculée (Juras et al., 2008). Les paramètres enregistrés étaient le delta AP et ML, la vitesse maximale et moyenne pour le CP et la force maximale pour la FRS. Avant le premier essai, les participantes s'exerçaient en effectuant deux essais d'apprentissage dans chaque direction (Keklicek et al.,

2019). En cas de perte d'équilibre entraînant l'arrêt du test, les participantes pouvaient recommencer celui-ci (maximum cinq fois).

La validité de construit de ce test varie de faible à bonne selon la direction étudiée, comparé au test de portée multidirectionnelle ($0,16 > r > 0,75$) (Holbein-Jenny et al., 2007) et sa fiabilité intra-évaluateur est excellente ($ICC = 0,86$) (Juras et al., 2008).

Qualité de vie et inquiétudes liées à la neurotoxicité

Le bien-être physique (0 à 28 points), social/familial (0 à 28 points), émotionnel (0 à 24 points), fonctionnel (0 à 28 points) et les inquiétudes liées à la neurotoxicité (0 à 44 points) étaient évalués à l'aide du questionnaire FACT/GOG-Ntx. Les participantes répondaient aux différentes questions selon leur ressenti des sept derniers jours en autonomie, sur un support informatique. Un minimum de 80 % des items devait être rempli. L'échelle des items allait de 0 (pas du tout) à 4 (beaucoup). Un score élevé indiquait une meilleure qualité de vie et moins d'inquiétudes liées à la neurotoxicité. Les propriétés de l'outil sont décrites dans l'*Annexe 1*.

CIPN

La sévérité de la CIPN était évaluée à l'aide du TNSm, un score composite comprenant l'évaluation des signes et symptômes ressentis par le patient (cf. *Annexe 6*). L'*Annexe 1* présente les propriétés de cet outil de mesure.

Symptômes sensoriels

Les participantes indiquaient si elles avaient ressenti une douleur, des brûlures, des fourmillements ou des picotements dans les extrémités les sept derniers jours précédant l'évaluation (Cavaletti et al., 2004). Un score de 0 indiquait aucun symptôme et 4 des symptômes sévères (Cavaletti et al., 2007).

Symptômes moteurs

Il était demandé aux participantes si elles avaient ressenti dans les extrémités une faiblesse, un engourdissement, des crampes ou des difficultés de mobilité les sept derniers jours précédant le test ainsi que le niveau de gêne que cela générait (Cavaletti et al., 2004).

Test de sensibilité superficielle

Le test de sensibilité superficielle était effectué à l'aide d'un coton tige coupé en son extrémité afin de le rendre saillant, comme réalisé dans l'étude de Smith et al. (2010) et facilement

reproductible en pratique clinique (Smith et al., 2010). Les participantes indiquaient si elles ressentait la stimulation réalisée sur la pulpe de l'hallux, la face dorsale de l'articulation interphalangienne de l'hallux, la malléole interne, la partie antéroinférieure de la jambe, la rotule et la partie antérosupérieure de la cuisse. Pour le membre supérieur, la pulpe de l'index, la face dorsale de l'articulation interphalangienne distale de l'index, la tête de l'ulna, la partie inféroantérieure de l'avant-bras, l'olécrâne et la partie antérosupérieure du bras, face interne avaient été sélectionnés (Smith et al., 2010). Les tests étaient effectués de distal à proximal (Smith et al., 2010).

Test de sensibilité vibratoire

Un diapason Rydel-Seiffer de 128 Hz était utilisé pour mesurer la sensibilité vibratoire. Yeux fermés, les participantes indiquaient lorsqu'elles ne ressentait plus la vibration (Smith et al., 2010). La sensibilité vibratoire était considérée comme normale si les participantes atteignaient un score de 7 ou 8 sur 8 (Cavaletti et al., 2004). Le diapason était disposé aux mêmes endroits que pour le test de sensibilité superficielle, également de distal à proximal (Smith et al., 2010).

Test de la force musculaire

La force musculaire des extenseurs/fléchisseurs des orteils, du tibia antérieur, du triceps sural, du quadriceps et des ischio-jambiers était évaluée manuellement (0 = aucune contraction, 1 = légère contraction, pas de mouvement, 2 = mouvement dans l'amplitude complète sans gravité, 3 = mouvement dans l'amplitude complète avec gravité, 4 = mouvement dans l'amplitude complète avec résistance modérée, 5 = mouvement dans l'amplitude complète avec résistance importante) (Reese, 2011). Pour les membres supérieurs, les muscles fléchisseurs/extenseurs des doigts, des fléchisseurs/extenseurs du poignet et des fléchisseurs/extenseurs du coude étaient choisis (Cavaletti et al., 2006). Le muscle ayant obtenu l'évaluation la plus faible était retenu (Cavaletti et al., 2006).

Un test de force objective de préhension au Jamar a été ajouté pour un échantillon de participantes. La force de préhension est une mesure robuste, peu coûteuse et simple utilisée dans le bilan de la personne en oncologie (Ordan et al., 2018). Elle permet d'informer sur l'état général de la personne, son statut fonctionnel et nutritionnel (Barata et al., 2017; Santos et al., 2020). Le Jamar est considéré comme le gold standard pour l'évaluation de la force de préhension, grâce à son excellente fiabilité test-retest ($ICC = 0,98$) (Benton et al., 2022; L. Huang et al., 2022).

Test des réflexes tendineux

Un marteau réflexe était employé pour évaluer les réflexes des tendons d'Achille, rotulien, bicipital et tricipital. Ils étaient notés normaux, réduits ou absents (Cavaletti et al., 2006). Une manœuvre de Jendrassik était réalisée si le réflexe ne pouvait pas être perçu (Walker, 1990).

La cotation finale était obtenue en additionnant les diverses composantes. La CIPN la moins sévère était cotée 0 et la plus sévère 24 (*cf. Annexe 6*).

Fatigue

Il était demandé aux participantes d'indiquer le niveau de fatigue ressentie à la fin des évaluations sur une échelle visuelle analogique (EVA), entre 0 (pas de fatigue du tout) et 100 (fatigue maximale). Cet outil est recommandé pour évaluer la fatigue des patients atteints de cancers (*Annexe 1*) (Van Belle et al., 2005).

Analyses statistiques

Les analyses statistiques étaient réalisées avec le logiciel Stata V.15 (StataCorp, Texas, États-Unis, 2017).

Calcul de la taille d'échantillon

Le calcul de la taille de l'échantillon a été réalisé à l'aide d'un test-t bilatéral pour données paires avec le logiciel G*Power V.3.1 (HHU Düsseldorf, Allemagne, 2017). En considérant un seuil de significativité à 0,05, une puissance à 90 % et une taille de l'effet à 0,61, le nombre de participantes requis pour cette étude était de 31 personnes. La taille de l'effet était basée sur une étude antérieure ayant évalué les effets de la chimiothérapie sur le contrôle postural (Monfort et al., 2017). Cette étude avait trouvé des valeurs de moyenne quadratique ML de $3,30 \pm 1,10$ mm au test initial et $4,30 \pm 1,90$ mm au dernier suivi, après la chimiothérapie (Monfort et al., 2017). Un taux d'abandon de 16 %, comme dans une précédente étude menée auprès d'une population similaire (Monfort et al., 2016) était attendu. Par conséquent, il était prévu d'inclure 37 participantes :

$$(1 / (1 - 0,16)) = 1,19 \text{ et } 1,19 \times 31 = 37 \text{ participants.}$$

Traitement et analyse des données

En cas de données manquantes sur les tests comprenant plusieurs essais (équilibre quasi-statique et quasi-dynamique), une moyenne était réalisée avec les données présentes pour la

même condition. En cas de données manquantes sur les tests avec un seul essai, l'analyse de ce test ne pouvait être réalisée. Dans ce cas, les analyses portaient sur les autres données présentes. Une vérification à la fin de chaque phase était réalisée par l'investigatrice pour minimiser les données manquantes.

Pour différencier les participantes en fonction de la sévérité de la CIPN, un score entre 0 et 8 indiquait une CIPN légère, entre 9 et 16 modérée et au-delà de 17 sévère (Vasquez et al., 2014). Pour différencier les participantes en fonction du niveau de fatigue, la valeur du 75^{ème} percentile de la distribution a été utilisée comme limite.

Toutes les données du contrôle postural obtenues lors des tests quasi-statique et quasi-dynamique étaient traitées à l'aide d'un filtre Butterworth passe-bas de cinquième ordre à 30 Hz avant d'être analysées. Par ailleurs, la FRS verticale était normalisée par le poids des participantes selon la formule :

$$\text{FRS verticale normalisée} = \frac{\text{FRS verticale (N)}}{\text{poids (Kg)}}$$

Les paramètres du CP et de la FRS étaient ensuite calculés selon les formules de Quijoux et al., (2021) (Quijoux, Nicolai, Chairi, et al., 2021). De plus, la moyenne des trois essais par condition était calculée.

Le quotient de Romberg était également calculé (résultats de la longueur du CP yeux fermés/yeux ouverts), de même que celui proprioceptif (résultats de la longueur du CP sur mousse/surface rigide) et vibratoire (résultats de la longueur du CP avec vibration/sans) (Yelnik & Herman, 2021).

Concernant le test de LOS, les deltas ML et AP étaient normalisés en fonction de la taille moyenne des pieds (distance entre le talon et l'hallux sans chaussure). La formule suivante était utilisée :

$$\text{LOS normalisée} = \frac{\text{valeur mesurée (mm)}}{\left(\frac{\text{taille pied gauche (mm)} + \text{taille pied droit (mm)}}{2} \right)} \times 100$$

Ensuite, les scores des questionnaires étaient calculés.

La force moyenne était également calculée selon la formule :

$$\text{Force moyenne} = \frac{(\text{force de la main droite} + \text{force de la main gauche})}{2}$$

Pour quantifier l'évolution, les deltas de tous les paramètres (score post chimiothérapie – pré chimiothérapie) étaient calculés.

Normalité des données

L'évaluation de la normalité de la distribution de la différence post-pré chimiothérapie a été réalisée au moyen d'une analyse exploratoire des données.

Statistiques descriptives

Les données démographiques, cliniques ainsi que celles relatives au mode de vie étaient décrites. Les variables qualitatives étaient exprimées en fréquence, tandis que les variables continues étaient exprimées au moyen de la moyenne avec l'écart-type et de la médiane avec l'écart interquartile (IQR).

Statistiques inférentielles

Les conditions d'application du modèle de régression linéaire à effets mixtes ne pouvant être vérifiées (homoscédasticité des résidus non confirmée), le plan d'analyse statistique initialement prévu a dû être modifié. Seul le nouveau plan est décrit ci-dessous, l'ancien pouvant être consulté dans le protocole publié (Reinmann et al., 2022).

En cas de normalité de la distribution de la différence post-pré des données du CP et de la FRS, des tests-*t* appariés étaient utilisés pour évaluer l'évolution des paramètres de CP et de FRS avant et après la chimiothérapie pour chaque condition (EO, EC, EOF, ECF, EOY, ECV et DT). Dans le cas d'une distribution anormale, un test sign rank de Wilcoxon était choisi. Pour tenir compte des nombreux tests, une correction sur la multiplicité des tests a été appliquée. Cette correction reposait sur la formule de Benjamini Hochberg provenant d'un calculateur en ligne (Joaquim et al., s. d.).

La même procédure était répétée pour la stabilité quasi-dynamique.

Des tests-*t* appariés étaient employés pour évaluer l'évolution du score total et des sous-scores du FACT/GOG-Ntx avant-après chimiothérapie.

Ensuite, l'analyse inter-groupes en fonction de la sévérité des CIPN (légère vs. modérée) des données du CP (variation des paramètres du CP avant et après chimiothérapie) était réalisée à l'aide d'un test de Wilcoxon Mann-Withney. Ce test, prévu pour une comparaison de deux groupes indépendants, a pu être utilisé car aucune participante n'a développé de CIPN sévère (*c.-à-d.* $> 17/24$), éliminant ainsi le troisième groupe. Ces tests étaient menés dans les conditions EC et ECF.

Les analyses exploratoires évaluant l'association entre les paramètres de CP et de FRS avec le score Ntx du FACT/GOG-Ntx, le TNSm et l'activité physique ont été réalisées à l'aide des coefficients de corrélation de Spearman. Ces analyses étaient réalisées sur les paramètres de CP et de FRS les plus altérés par la chimiothérapie (définis selon le pourcentage de dégradation de chaque paramètre), dans les conditions les plus impactées (définies selon le nombre de paramètres altérés dans chaque condition). Une correction sur la multiplicité des tests a été appliquée. Pour le changement de traitement et la fatigue, des analyses en sous-groupes ont été réalisées à l'aide du test de Wilcoxon Mann-Withney.

Les analyses exploratoires étudiant l'association entre les paramètres de CP et de FRS ont été réalisées par des corrélations de Spearman. L'évolution des paramètres (différence post-pré) était utilisée.

Les analyses exploratoires évaluant la concordance entre les outils de mesure de la CIPN ont employé des corrélations de Spearman entre les paramètres TNSm et FACT/GOG-Ntx ainsi que le pourcentage de concordance (nombre de participantes considérées comme ayant une CIPN avec les deux outils / somme des participantes considérées comme ayant une CIPN pour chaque outil).

Une valeur seuil de $p < 0,05$ était adoptée pour affirmer un résultat significatif. Tous les tests statistiques étaient bilatéraux.

Audit

Des audits internes ont été réalisés afin de s'assurer que l'étude était menée conformément au protocole, aux procédures et aux règlements applicables.

Résultats

Participant·es

Les participant·es ont été recrutées d'octobre 2020 à juillet 2022 avec un taux moyen d'inclusion par semaine de 6 %. Les principaux motifs de refus concernaient les effets secondaires du cancer et de ses traitements (*p.ex.* la fatigue), le fait d'avoir trop d'autres rendez-vous et de ne pas vouloir participer à l'étude.

Au total, 35 participant·es ont été incluses (**Tableau 3**). La proportion élevée de cancers du sein s'explique par la plus grande représentation des patient·es atteintes de cancer du sein dans l'unité d'étude et par le protocole thérapeutique qui facilitait leur inclusion (délai plus long entre le premier rendez-vous et le début de la chimiothérapie neurotoxique par rapport aux autres cancers gynécologiques). Les comorbidités neurologiques identifiées étaient des problèmes distaux des membres supérieurs. Toutes les participant·es avaient un score en-dessous de 8/24 à l'évaluation initiale soit un grade 1 de CIPN.

Caractéristiques des participant·es (N = 35)	
Caractéristiques	Valeurs
Age (années)	48,71 ± 9,86 (28 - 65)
Taille (cm)	163,44 ± 5,61 (153 - 175)
Poids (Kg)	68,01 ± 13,17 (42 - 90)
IMC (Kg/m ²)	25,49 ± 5,03 (16,82 - 35,25)
Comorbidités, n (%)	
Aucune	8 (25)
Respiratoire	4 (11)
Cardiovasculaire	3 (9)
Musculosquelettique	11 (31)
Dermatologique	3 (9)
Digestive	9 (26)
Neurologique	3 (9)
Endocrine/métabolique	6 (17)
Psychiatrique	7 (20)
Type de cancer, n (%)	
Sein	34 (97)
Utérus	1 (3)
Classification TNM (n = 34)	
T0	4
T1	11
T2	14
T3	4
T4	1
N0	18
N1	10
N2	3
N3	3
M0	31
M1	3
Traitement chimiothérapeutique	

EC + Paclitaxel	21
Paclitaxel	2
EC + Paclitaxel modifié pour du Docétaxel	3
Paclitaxel modifié pour du Nab-Paclitaxel	2
EC + Paclitaxel + Carboplatine	4
Cyclophosphamide + Docétaxel	2
Paclitaxel + Carboplatine	1
Changement de traitement, n (%)	5 (14)
Traitement concomitant par immunothérapie	
Trastuzumab	2 (6)
Pembrolizumab	2 (6)
Trastuzumab + Pertuzumab	6 (19)
Tabac	
A déjà fumé, n (%)	19 (54)
Fumeur actuellement, n (%)	11 (31)
Unités paquet-année (n = 19)	16,93 ± 11,17 (3 - 40)
Alcool	
Consommation (nombre de verre moyens / semaine)	1,62 ± 4,87 (0 - 28)
Activité physique	
De 3 à 6 MET (heure / semaine)	10,04 ± 5,59 (1 - 28)
Au-delà de 6 MET (heure / semaine)	0 ± 0 (0 - 0)

Tableau 3. Caractéristiques démographiques des participantes de l'étude observationnelle. Données sous la forme de moyenne ± écart-type (min-max) ou n (%). IMC = indice de masse corporelle, EC = épirubicine et cyclophosphamide, TNM = tumeur, ganglions lymphatiques, métastases

Les évaluations ont eu lieu 14 ± 19 jours avant et 15 ± 11 jours après la chimiothérapie neurotoxique. Deux participantes n'ont pas réalisé la deuxième évaluation pour des raisons logistiques. Ainsi, 33 participantes ont pris part aux deux évaluations.

Sur ces 33 participantes, 10 (30 %) ont eu un changement de traitement (arrêt prématuré ou changement de traitement chimiothérapeutique) en raison de CIPN. Au total, 13 participantes (39 %) sont passées du grade 1 au grade 2 après la chimiothérapie alors que les 20 autres participantes (61 %) avaient un grade 1 post chimiothérapie (**Tableau 4**). Vingt-cinq participantes (76 %) présentaient une différence dans le score Ntx supérieure à trois points, considérée comme étant la différence minimale cliniquement importante (MCID) (Smith et al., 2013).

Au total, 27 participantes (82 %) démontraient au moins un signe de CIPN (soit une modification de leur traitement pour cause de CIPN, soit un grade 2 au TNSm soit une évolution du score Ntx ≥ 3 après la chimiothérapie).

La dose cumulative de paclitaxel chez les participantes traitées uniquement par cette molécule (sans changement pour du docétaxel ou nab-paclitaxel) s'élevait à $1571,69 \pm 221,47$ mg en moyenne (minimum 1064 mg – maximum 1862 mg). Il était administré en 60 min à 80 mg/m² en intra-veineuse avec du NaCl 0,9 % 250/500 ml.

Total Neuropathy Score modifié (N = 33)			
	Pré	Post	Différence
Symptômes sensoriels (/4)	0,24 ± 0,44 (0 – 1)	0,97 ± 0,85 (0 – 3)	0,73 ± 0,88 (0 – 3)
Symptômes moteurs (/4)	0,55 ± 0,56 (0 – 2)	1,49 ± 0,71 (0 – 3)	0,94 ± 0,70 (0 – 3)
Sensibilité superficielle (/4)	0,03 ± 0,17 (0 – 1)	0,55 ± 0,75 (0 – 2)	0,52 ± 0,76 (0 – 2)
Sensibilité vibratoire (/4)	0,24 ± 0,87 (0 – 4)	1,33 ± 1,47 (0 – 4)	1,09 ± 1,40 (-1 – 4)
Sensibilité réflexe (/4)	0,21 ± 0,42 (0 – 1)	2,12 ± 1,27 (0 – 4)	1,91 ± 1,23 (0 – 4)
Force (/4)	0,24 ± 0,50 (0 – 2)	0,76 ± 0,66 (0 – 3)	0,52 ± 0,57 (0 – 2)
Score total (/24)	1,52 ± 1,54 (0 – 8)	7,21 ± 3,60 (1 – 16)	5,70 ± 3,17 (1 – 14)
Grade sévérité			
1	33 (100)	20 (61)	-13
2	0	13 (39)	+13
3	0	0	0
4	0	0	0

Tableau 4. Scores du TNSm. Données sous la forme de moyenne ± écart-type (min-max) ou n (%). m = modifié, TNS = Total Neuropathy Score

La force au Jamar, évaluée chez 14 participantes, s'élevait à 20,90 ± 6,31 Kg pré chimiothérapie et 19,06 ± 6,51 Kg post traitement (-1,84 ± 3,25 Kg, $p = 0,06$).

La fatigue ressentie par les participantes était supérieure de 16,06 ± 29,68 unités à l'EVA (/100), $p = 0,02$ à la deuxième évaluation, comparé à la première.

Post chimiothérapie, les participantes réalisaient 10,50 ± 7,16 (1 – 31,50) heures/semaine d'activité physique légère à modérée entre 3 et 6 MET et 0,17 ± 0,60 (0 – 3) heures/semaine d'activité physique modérée à intense au-dessus de 6 MET.

Comparaison de l'équilibre quasi-statique avant-après traitement pour chaque condition

Des erreurs dans la manipulation de la plateforme ont entraîné l'absence de six résultats de FRS ML et AP. De plus, une participante a été exclue des analyses ML et AP de la FRS et deux des analyses de la V FRS en raison de résultats aberrants qui ne correspondaient pas aux valeurs de CP réelles pour les conditions étudiées.

Dans la condition EO, les longueurs totale et AP du CP ainsi que les moyennes quadratiques totale et AP ont augmenté après la chimiothérapie ($p < 0,02$) alors que la longueur ML et la

moyenne quadratique ML, la surface et la vitesse maximale n'étaient pas significativement différentes (**Tableau 5, Figure 10, Annexe 7**).

Pour les paramètres de FRS, la force maximale ML et V ainsi que la variabilité ML et AP étaient augmentées ($p < 0,02$) alors que la force maximale AP et la variabilité de la force V n'étaient pas statistiquement différentes ($p > 0,05$, **Annexe 7**).

Dans la condition EC, tous les paramètres de CP et FRS étaient augmentés après la chimiothérapie ($p < 0,02$), à l'exception des valeurs maximales de la FRS AP et de la variabilité V (**Tableau 5, Annexe 7**).

En condition EOF, les longueurs totale et AP du CP, la vitesse maximale du CP et les moyennes quadratiques totale et AP étaient augmentées ($p < 0,02$, **Tableau 6, Annexe 7**). Il n'y avait pas de différence statistiquement significative pour la longueur ML, la surface et la moyenne quadratique ML ($p > 0,07$). À l'exception de la FRS maximale AP ($p = 0,20$), tous les paramètres de FRS étaient augmentés ($p < 0,04$).

En condition ECF, tous les paramètres de CP et FRS étaient augmentés après la chimiothérapie ($p < 0,01$, **Tableau 6, Annexe 7**).

Dans les conditions EOY et ECV, aucune différence n'a été observée pour les paramètres du CP et de FRS. Seule la valeur maximale de la FRS V augmentait significativement ($p = 0,02$ pour la condition EOY et $0,04$ pour la condition ECV, **Tableau 7, Annexe 7**).

En condition DT, tous les paramètres de CP et de FRS augmentaient ($p \leq 0,01$), sauf la vitesse maximale du CP, la FRS maximale AP et la variabilité de la FRS V ($p > 0,12$, **Tableau 8, Annexe 7**).

Le Romberg sans et avec mousse évoluaient respectivement de 1,29 à 1,45 et de 2,46 à 2,79 ($p < 0,01$). Il n'y avait pas de différence statistiquement significative pour les quotients proprioceptifs (1,60 à 1,62, $p = 0,62$ yeux ouverts et 3,06 à 3,15 yeux fermés, $p = 0,50$). Les quotients vibratoires évoluaient de 1,09 à 1,02 yeux ouverts et de 1,31 à 1,14 yeux fermés ($p < 0,01$).

	Condition yeux ouverts (EO)					Condition yeux fermés (EC)				
	Pré	Post	Différence	%	Valeur p	Pré	Post	Différence	%	Valeur p
CP										
Planaire										
Longueur (mm)	380,73 ± 124,63 (192,01 - 834,58) 352,15 [320,21 - 395,95]	420,81 ± 132,24 (268,39 - 923,50) 388,20 [349,58 - 713,72]	40,08 ± 79,59 (-157,91 - 224,86) 30,71 [-1,33 - 81,09]	11	0,022	492,35 ± 223,10 (298,14 - 1340,21) 423,33 [354,79 - 517,48]	608,95 ± 259,14 (308,80 - 1548,88) 525,50 [417,87 - 728,18]	116,60 ± 123,73 (-246,21 - 407,19) 97,06 [44,46 - 190,15]	24	≤ 0,001
Vitesse max (mm/s)	67,96 ± 27,89 (31,96 - 196,44) 61,31 [55,85 - 71,09]	72,92 ± 28,66 (39,14 - 177,75) 65,05 [56,05 - 79,35]	4,96 ± 20,02 (-23,41 - 71,33) -0,24 [-8,16 - 12,39]	7	0,292	88,25 ± 39,63 (39,50 - 228,24) 78,26 [64,02 - 98,82]	108,29 ± 50,23 (42,99 - 260,66) 98,27 [72,32 - 126,50]	20,03 ± 27,94 (-25,70 - 89,09) 17,83 [-4,91 - 34,07]	23	≤ 0,001
RMS (mm)	0,78 ± 0,32 (0,44 - 2,18) 0,70 [0,63 - 0,80]	0,89 ± 0,36 (0,51 - 2,38) 0,80 [0,69 - 0,88]	0,10 ± 0,17 (-0,23 - 0,57) 0,06 [0 - 0,18]	13	0,011	1,08 ± 0,53 (0,56 - 2,95) 0,91 [0,78 - 1,08]	1,41 ± 0,73 (0,58 - 3,80) 1,16 [0,88 - 1,61]	0,32 ± 0,35 (-0,12 - 1,63) 0,28 [0,08 - 0,52]	30	≤ 0,001
ML										
Longueur (mm)	203,67 ± 73,06 (97,87 - 485,12) 187,52 [163,23 - 213,59]	221,02 ± 83,64 (130,26 - 551,01) 194,84 [171,33 - 263,69]	17,35 ± 47,86 (-106,25 - 128,35) 8,06 [-4,26 - 54,43]	9	0,104	265,54 ± 142,45 (133,51 - 839,95) 221,95 [184,28 - 269,66]	313,11 ± 184,00 (133,51 - 1046,55) 266,06 [204,46 - 367,44]	47,56 ± 96,93 (-219,37 - 386,10) 25,87 [0,00 - 73,37]	18	0,009
RMS (mm)	0,56 ± 0,21 (0,3 - 1,39) 0,52 [0,44 - 0,60]	0,61 ± 0,27 (0,35 - 1,74) 0,52 [0,46 - 0,72]	0,06 ± 0,15 (-0,25 - 0,38) 0,01 [-0,02 - 0,16]	11	0,102	0,77 ± 0,46 (0,35 - 2,58) 0,63 [0,50 - 0,80]	0,94 ± 0,66 (0,35 - 3,39) 0,76 [0,54 - 1,08]	0,17 ± 0,39 (-0,63 - 1,83) 0,08 [-0,01 - 0,29]	22	0,019
AP										
Longueur (mm)	277,52 ± 89,08 (145,64 - 577,38) 256,03 [226,34 - 289,97]	310,45 ± 91,07 (193,51 - 632,23) 296,92 [257,19 - 334,81]	32,93 ± 55,88 (-98,12 - 156,44) 33,99 [4,91 - 54]	12	0,011	356,57 ± 144,84 (222,08 - 867,33) 324,47 [263,35 - 387,53]	452,46 ± 164,67 (235,68 - 926,06) 413,05 [322,27 - 557,73]	95,89 ± 84,00 (-73,99 - 261,58) 79,22 [39,70 - 136,09]	27	≤ 0,001
RMS (mm)	0,77 ± 0,30 (0,41 - 2,05) 0,70 [0,60 - 0,79]	0,86 ± 0,31 (0,49 - 2,06) 0,79 [0,69 - 0,91]	0,10 ± 0,17 (-0,22 - 0,52) 0,06 [-0,01 - 0,17]	13	0,011	1,02 ± 0,43 (0,57 - 2,42) 0,89 [0,73 - 1,07]	1,31 ± 0,54 (0,60 - 2,77) 1,16 [0,87 - 1,63]	0,30 ± 0,26 (-0,04 - 1,14) 0,26 [0,15 - 0,41]	29	≤ 0,001
FRS										
V										
Valeurs max (N)	9,75 ± 0,25 (9,14 - 10,34) 9,77 [9,60 - 9,90]	10,08 ± 0,59 (8,77 - 11,29) 10,06 [9,83 - 10,28]	0,33 ± 0,53 (-0,95 - 1,49) 0,28 [0,11 - 0,67]	3	0,007	9,76 ± 0,26 (9,16 - 10,36) 9,77 [9,59 - 9,91]	10,08 ± 0,59 (8,77 - 11,27) 10,08 [9,78 - 10,30]	0,31 ± 0,52 (-0,96 - 1,25) 0,33 [-0,01 - 0,71]	3	0,009
ML										
Valeurs max (N)	0,30 ± 1,21 (-0,93 - 5,43) 0,06 [-0,24 - 0,47]	0,81 ± 1,80 (-0,45 - 8,01) 0,23 [-0,05 - 0,99]	0,50 ± 0,91 (-0,82 - 2,90) 0,32 [-0,04 - 0,83]	167	0,023	1,18 ± 1,93 (-1,02 - 6,25) 0,80 [-0,11 - 1,34]	2,32 ± 3,21 (-0,49 - 12,08) 1,31 [0,37 - 3,12]	1,14 ± 2,09 (-1,24 - 9,13) 0,57 [0,02 - 1,77]	97	0,016
AP										
Valeurs max (N)	4,61 ± 2,61 (1,88 - 15,39) 4,23 [3,24 - 5,15]	5,57 ± 3,81 (2,25 - 20,06) 4,95 [3,42 - 5,80]	0,96 ± 3,83 (-4,30 - 17,42) 0,65 [-0,45 - 1,30]	21	0,164	5,94 ± 3,19 (2,63 - 14,93) 5,04 [3,57 - 7,53]	6,88 ± 3,40 (2,79 - 18,32) 6,17 [4,47 - 8,21]	0,95 ± 2,77 (-5,06 - 10,20) 0,98 [0,13 - 1,83]	16	0,100

Tableau 5. Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour les conditions EO et EC. Données sous forme de moyenne ± écart-type (min-max) médiane [IQR 25-75%]. $n = 33$ pour les paramètres du CP, $n = 24$ pour la FRS ML et AP, $n = 31$ pour la FRS V. % = pourcentage de la différence selon la valeur pré. AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, EO = yeux ouverts sol rigide, EC = yeux fermés sol rigide, FRS = force de réaction du sol, IQR = écart interquartile, ML = médio-latéral, RMS = moyenne quadratique, V = vertical. Valeurs p corrigées sur la multiplicité des tests

	Condition yeux ouverts sur mousse (EOF)					Condition yeux fermés sur mousse (ECF)				
	Pré	Post	Différence	%	Valeur <i>p</i>	Pré	Post	Différence	%	Valeur <i>p</i>
CP										
Planaire										
Longueur (mm)	594,60 ± 185,55 (376,57 – 1156,90) 553,54 [478,20 – 653,93]	668,00 ± 214,91 (362,31 – 1288,95) 604,77 [525,80 – 774,31]	73,40 ± 144,52 (-453,27 – 344,98) 67,81 [0,00 – 117,07]	12	0,020	1472,92 ± 674,08 (736,36 – 3154,51) 1147,06 [977,37 – 1777,57]	1877,99 ± 830,16 (801,16 – 3893,56) 1584,86 [1283,64 – 2323,24]	405,08 ± 420,40 (-386,39 – 1357,69) 301,95 [130,06 – 668,55]	28	≤ 0,001
Vitesse max (mm/s)	103,35 ± 30,97 (62,43 – 191,21) 96,98 [84,24 – 112,13]	118,98 ± 44,60 (65,65 – 242,81) 101,80 [87,82 – 142,48]	15,63 ± 31,52 (-83,14 – 75,23) 8,86 [-3,30 – 35,33]	15	0,020	254,61 ± 141,70 (107,58 – 701,67) 194,28 [165,72 – 282,96]	324,29 ± 154,46 (142,76 – 653,46) 266,03 [204,73 – 416,04]	69,68 ± 95,35 (-159,81 – 308,99) 47,62 [27,73 – 101,93]	27	≤ 0,001
RMS (mm)	1,33 ± 0,45 (0,80 – 2,66) 1,20 [1,06 – 1,41]	1,50 ± 0,52 (0,79 – 3,07) 1,38 [1,14 – 1,80]	0,17 ± 0,34 (-1,02 – 0,72) 0,11 [-0,02 – 0,41]	13	0,013	3,38 ± 1,71 (1,48 – 7,73) 2,45 [2,18 – 3,86]	4,33 ± 2,05 (1,81 – 9,31) 3,58 [2,73 – 5,62]	0,95 ± 1,15 (-1,62 – 3,89) 0,65 [0,40 – 1,69]	28	≤ 0,001
ML										
Longueur (mm)	349,19 ± 109,49 (222,20 – 692,60) 331,34 [285,31 – 377,31]	376,59 ± 110,75 (210,46 – 724,11) 354,74 [302,76 – 432,08]	27,40 ± 69,96 (-239,56 – 153) 29,65 [0,00 – 61,58]	8	0,072	831,32 ± 368,26 (405,23 – 1825,44) 676,51 [553,57 – 1046,56]	1019,27 ± 422,12 (430,06 – 1944,89) 862,26 [684,35 – 1346,64]	187,95 ± 202,30 (-281,76 – 580,15) 189,86 [38,99 – 305,76]	23	≤ 0,001
RMS (mm)	1,02 ± 0,34 (0,63 – 2,06) 0,93 [0,82 – 1,14]	1,08 ± 0,33 (0,63 – 2,19) 0,98 [0,87 – 1,30]	0,07 ± 0,21 (-0,72 – 0,45) 0,10 [-0,04 – 0,16]	7	0,160	2,48 ± 1,23 (1,08 – 5,95) 1,93 [1,62 – 3,11]	3,02 ± 1,33 (1,20 – 5,85) 2,42 [1,99 – 4,29]	0,53 ± 0,75 (-1,59 – 1,96) 0,47 [0,03 – 0,94]	21	≤ 0,001
AP										
Longueur (mm)	408,12 ± 129,98 (245,68 – 795,44) 377,44 [318,50 – 440,78]	471,80 ± 164,48 (249,05 – 924,70) 426,21 [372,15 – 552,76]	63,68 ± 117,22 (-334,54 – 288,67) 51,22 [0,00 – 107,04]	16	0,006	1035,02 ± 493,26 (525,10 – 2304,64) 779,15 [684,37 – 1197,92]	1362,84 ± 638,88 (590,49 – 3122,63) 1150,85 [933,41 – 1655,43]	327,82 ± 336,86 (-383,53 – 1146,73) 257,83 [152,28 – 515,58]	32	≤ 0,001
RMS (mm)	1,19 ± 0,40 (0,68 – 2,34) 1,10 [0,95 – 1,33]	1,39 ± 0,50 (0,69 – 2,78) 1,24 [1,05 – 1,71]	0,20 ± 0,35 (-0,98 – 0,90) 0,12 [0,03 – 0,41]	17	0,013	3,08 ± 1,55 (1,47 – 6,79) 2,21 [1,98 – 3,69]	4,04 ± 1,93 (1,75 – 9,26) 3,49 [2,65 – 4,99]	0,97 ± 1,09 (-1,24 – 3,84) 0,69 [0,38 – 1,67]	31	≤ 0,001
FRS										
V										
Valeurs max (N)	10,01 ± 0,27 (9,38 – 10,59) 10,05 [9,92 – 10,21]	10,39 ± 0,58 (9,18 – 11,52) 10,32 [10,07 – 10,70]	0,37 ± 0,56 (-0,79 – 1,64) 0,30 [0,10 – 0,74]	4	0,006	10,35 ± 0,44 (9,52 – 11,50) 10,36 [10,01 – 10,54]	10,91 ± 0,80 (9,37 – 13,39) 10,83 [10,38 – 11,38]	0,56 ± 0,65 (-1,21 – 1,88) 0,56 [0,18 – 0,95]	5	0,004
ML										
Valeurs max (N)	2,20 ± 1,50 (0,35 – 7,05) 1,55 [1,25 – 3,12]	2,73 ± 1,73 (0,61 – 8,01) 2,71 [1,20 – 3,52]	0,53 ± 1,06 (-1,67 – 3,33) 0,41 [-0,14 – 1,07]	24	0,042	8,36 ± 4,32 (2,00 – 15,13) 6,17 [4,78 – 12,58]	11,38 ± 6,14 (3,09 – 26,13) 12,04 [6,26 – 14,56]	3,02 ± 3,59 (-2,05 – 11,21) 2,13 [0,39 – 4,61]	36	0,006
AP										
Valeurs max (N)	7,24 ± 3,42 (3,72 – 18,83) 6,26 [5,09 – 8,30]	8,28 ± 4,01 (3,24 – 19,43) 7,59 [5,12 – 10,38]	1,04 ± 4,39 (-11,30 – 13,14) 1,64 [-0,70 – 2,91]	14	0,201	15,46 ± 7,40 (5,37 – 37,90) 13,99 [9,72 – 19,78]	18,45 ± 8,60 (6,77 – 42,47) 18,05 [11,75 – 24,24]	2,99 ± 6,88 (-13,41 – 24,14) 2,62 [-0,04 – 4,35]	19	0,066

Tableau 6. Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour les conditions EOF et ECF. Données sous forme de moyenne ± écart-type (min-max) médiane [IQR 25-75%]. *n* = 33 pour les paramètres du CP, *n* = 24 pour la FRS ML et AP, *n* = 31 pour la FRS V. % = pourcentage de la différence selon la valeur pré. AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, EO = yeux ouverts, EC = yeux fermés, F = mousse, FRS = force de réaction du sol, IQR = écart interquartile, ML = médio-latéral, RMS = moyenne quadratique, V = vertical. Valeurs *p* corrigées sur la multiplicité des tests

	Condition yeux ouverts avec vibration (EOV)					Condition yeux fermés avec vibration (ECV)				
	Pré	Post	Différence	%	Valeur p	Pré	Post	Différence	%	Valeur p
CP										
Planaire										
Longueur (mm)	406,98 ± 126,84 (243,13 – 887,30) 388,44 [305,46 – 460,30]	419,26 ± 113,41 (283,27 – 675,61) 384,09 [331,85 – 507,41]	12,29 ± 91,77 (-211,69 – 174,14) 5,05 [-53,00 – 84,51]	3	0,900	616,81 ± 248,59 (331,79 – 1348,31) 561,76 [417,90 – 738,03]	682,05 ± 266,39 (340,84 – 1123,87) 643,22 [448,62 – 975,96]	65,24 ± 193,84 (-372,35 – 388,92) 34,05 [-53,39 – 242,65]	11	0,211
Vitesse max (mm/s)	74,13 ± 35,98 (40,24 – 224,31) 66,04 [51,43 – 79,75]	73,21 ± 27,19 (42,04 – 144,23) 64,92 [56,38 – 80,19]	-0,91 ± 40,07 (-175,42 – 74,97) 0,15 [-8,93 – 14,89]	-1	0,994	107,12 ± 47,68 (47,02 – 256,70) 95,97 [77,89 – 133,82]	123,38 ± 60,04 (53,86 – 252,75) 112,34 [73,25 – 157,88]	16,26 ± 44,63 (-54,86 – 149,49) 1,77 [-10,93 – 40,11]	15	0,291
RMS (mm)	0,84 ± 0,31 (0,51 – 2,04) 0,80 [0,58 – 1,01]	0,86 ± 0,32 (0,56 – 1,67) 0,79 [0,63 – 0,96]	0,03 ± 0,25 (-0,43 – 0,60) 0,01 [-0,15 – 0,19]	4	0,907	1,36 ± 0,62 (0,67 – 3,24) 1,20 [0,86 – 1,69]	1,54 ± 0,71 (0,66 – 3,01) 1,35 [0,93 – 2,27]	0,19 ± 0,49 (-0,67 – 1,09) 0,16 [-0,21 – 0,50]	14	0,211
ML										
Longueur (mm)	215,88 ± 65,41 (124,74 – 416,65) 204,11 [169,48 – 254,87]	220,16 ± 59,81 (143,69 – 359,19) 189,61 [175,67 – 260,45]	4,28 ± 44,20 (-91,95 – 73,66) 4,41 [-20,66 – 39,55]	2	0,907	303,44 ± 111,91 (153,78 – 559,13) 262,42 [206,70 – 369,23]	331,75 ± 133,76 (172,43 – 605,06) 304,15 [215,68 – 453,42]	28,31 ± 96,68 (-163,36 – 220,54) 4,36 [-34,27 – 96,01]	9	0,211
RMS (mm)	0,59 ± 0,19 (0,33 – 1,17) 0,54 [0,44 – 0,71]	0,60 ± 0,18 (0,38 – 1,03) 0,49 [0,46 – 0,73]	0,01 ± 0,16 (-0,40 – 0,28) 0,02 [-0,07 – 0,10]	2	0,994	0,86 ± 0,35 (0,40 – 1,68) 0,74 [0,55 – 1,11]	0,96 ± 0,44 (0,46 – 2,01) 0,89 [0,60 – 1,30]	0,10 ± 0,33 (-0,50 – 0,83) 0,05 [-0,15 – 0,27]	12	0,211
AP										
Longueur (mm)	297,64 ± 98,27 (185,73 – 694,55) 299,33 [222,98 – 338,20]	309,42 ± 89,23 (198,87 – 533,50) 280,20 [239,74 – 362,14]	11,79 ± 71,97 (-161,05 – 150,99) 6,27 [-45,79 – 66,27]	4	0,900	468,63 ± 206,06 (261,29 – 1116,93) 434,52 [310,79 – 540,31]	522,77 ± 213,27 (251,31 – 934,61) 479,90 [357,07 – 738,57]	54,14 ± 160,82 (-300,60 – 353,16) 41,50 [-30,76 – 172,39]	12	0,211
RMS (mm)	0,82 ± 0,31 (0,52 – 2,06) 0,77 [0,59 – 0,93]	0,85 ± 0,30 (0,54 – 1,62) 0,73 [0,64 – 0,95]	0,03 ± 0,24 (-0,50 – 0,61) 0,02 [-0,15 – 0,18]	4	0,900	1,34 ± 0,62 (0,69 – 3,31) 1,18 [0,89 – 1,60]	1,51 ± 0,68 (0,66 – 3,09) 1,29 [0,96 – 2,07]	0,17 ± 0,50 (-0,84 – 1,18) 0,13 [-0,18 – 0,54]	13	0,211
FRS										
V										
Valeurs max (N)	9,78 ± 0,27 (9,27 – 10,42) 9,79 [9,56 – 9,99]	10,12 ± 0,53 (9,02 – 11,12) 10,10 [9,82 – 10,34]	0,33 ± 0,51 (-0,76 – 1,56) 0,25 [0,15 – 0,67]	4	0,023	9,80 ± 0,27 (9,28 – 10,41) 9,81 [9,58 – 9,99]	10,13 ± 0,57 (8,94 – 11,35) 10,15 [9,76 – 10,34]	0,34 ± 0,51 (-0,69 – 1,59) 0,29 [0,11 – 0,63]	4	0,041
ML										
Valeurs max (N)	0,54 ± 1,10 (-0,82 – 4,15) 0,45 [-0,26 – 0,91]	0,68 ± 1,23 (-0,78 – 4,58) 0,52 [-0,10 – 1,27]	0,15 ± 1,10 (-3,85 – 2,89) 0,09 [-0,16 – 0,57]	28	0,317	1,77 ± 1,74 (-0,34 – 7,46) 1,24 [0,70 – 2,52]	2,45 ± 2,13 (-0,27 – 7,79) 1,90 [0,71 – 4,04]	0,69 ± 1,84 (-2,44 – 5,47) 0,32 [-0,81 – 1,63]	39	0,248
AP										
Valeurs max (N)	6,37 ± 6,26 (2,30 – 32,87) 4,28 [3,61 – 6,10]	6,28 ± 5,08 (2,34 – 26,32) 4,54 [3,46 – 7,51]	-0,10 ± 8,23 (-29,37 – 21,92) 0,20 [-0,62 – 2,15]	-2	0,549	8,58 ± 6,97 (3,02 – 38,31) 6,61 [4,99 – 9,53]	9,17 ± 6,33 (2,58 – 30,61) 7,99 [4,91 – 10,33]	0,59 ± 9,27 (-30,98 – 22,96) 0,94 [-1,54 – 3,84]	7	0,513

Tableau 7. Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour les conditions EOV et ECV. Données sous forme de moyenne ± écart-type (min-max) médiane [IQR 25-75%]. $n = 33$ pour les paramètres du CP, $n = 24$ pour la FRS ML et AP, $n = 31$ pour la FRS V. % = pourcentage de la différence selon la valeur pré. AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, EOV = yeux ouverts sol rigide avec vibration, ECV = yeux fermés sol rigide avec vibration, FRS = force de réaction du sol, IQR = écart interquartile, ML = médio-latéral, RMS = moyenne quadratique, V = vertical. Valeurs p corrigées sur la multiplicité des tests

	Condition double tâche (DT)				
	Pré	Post	Différence	%	Valeur <i>p</i>
CP					
Planaire					
Longueur (mm)	384,69 ± 93,94 (222,29 – 590,63) 375,67 [315,67 – 453,33]	447,26 ± 111,67 (283,10 – 711,43) 427,80 [358,46 – 513,21]	62,57 ± 59,69 (-37,61 – 226,26) 64,39 [16,19 – 89,13]	16	≤ 0,001
Vitesse maximale (mm/s)	67,46 ± 22,42 (37,01 – 143,57) 63,69 [48,83 – 79,01]	73,90 ± 21,34 (46,10 – 125,31) 69,20 [57,46 – 86,57]	6,43 ± 24,94 (-78,37 – 53,65) 4,35 [-5,86 – 18,86]	10	0,148
RMS (mm)	0,80 ± 0,24 (0,48 – 1,32) 0,75 [0,60 – 0,97]	0,93 ± 0,26 (0,53 – 1,50) 0,85 [0,70 – 1,16]	0,14 ± 0,19 (-0,43 – 0,49) 0,13 [0,03 – 0,20]	18	≤ 0,001
ML					
Longueur (mm)	200,06 ± 57,82 (101,23 – 369,14) 184,95 [162,68 – 217,61]	226,45 ± 68,97 (137,79 – 421,96) 211,99 [175,69 – 255,82]	26,39 ± 34,47 (-19,56 – 113,56) 19,92 [0,00 – 49,48]	13	0,001
RMS (mm)	0,55 ± 0,18 (0,29 – 1,06) 0,49 [0,43 – 0,61]	0,62 ± 0,21 (0,37 – 1,21) 0,59 [0,45 – 0,71]	0,07 ± 0,14 (-0,45 – 0,37) 0,06 [0,00 – 0,16]	13	0,010
AP					
Longueur (mm)	285,17 ± 68,28 (183,32 – 432,06) 284,94 [230,92 – 338,01]	337,27 ± 82,54 (210,13 – 513,72) 324,39 [266,86 – 409,15]	52,10 ± 47,86 (-31,93 – 169,77) 45,20 [26,24 – 81,58]	18	≤ 0,001
RMS (mm)	0,78 ± 0,22 (0,50 – 1,35) 0,73 [0,62 – 0,93]	0,92 ± 0,24 (0,54 – 1,40) 0,87 [0,71 – 1,12]	0,14 ± 0,17 (-0,23 – 0,49) 0,12 [0,04 – 0,21]	18	≤ 0,001
FRS					
V					
Valeurs max (N)	9,78 ± 0,28 (9,23 – 10,37) 9,80 [9,56 – 9,96]	10,13 ± 0,64 (8,71 – 11,39) 10,15 [9,77 – 10,44]	0,36 ± 0,55 (-0,85 – 1,45) 0,32 [-0,02 – 0,76]	4	0,003
ML					
Valeurs max (N)	0,19 ± 0,71 (-0,72 – 1,74) -0,04 [-0,26 – 0,67]	0,67 ± 0,95 (-1,16 – 2,49) 0,97 [-0,02 – 1,23]	0,48 ± 0,67 (-0,93 – 1,76) 0,44 [-0,03 – 1,02]	253	0,006
AP					
Valeurs max (N)	8,36 ± 10,56 (2,37 – 40,72) 4,64 [2,94 – 7,59]	6,22 ± 3,94 (2,52 – 21,98) 5,63 [3,77 – 7,52]	-2,14 ± 11,64 (-36,27 – 18,96) 0,69 [-0,84 – 2,13]	-26	0,391

Tableau 8. Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour la condition DT. Données sous forme de moyenne ± écart-type (min-max) médiane [IQR 25-75%]. *n* = 33 pour le CP, *n* = 24 pour la FRS ML et AP, *n* = 31 pour la FRS V. % = pourcentage de la différence selon la valeur pré. AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, DT = double tâche, FRS = force de réaction du sol, IQR = écart interquartile, ML = médio-latéral, RMS = moyenne quadratique, V = vertical. Valeurs *p* corrigées sur la multiplicité des tests

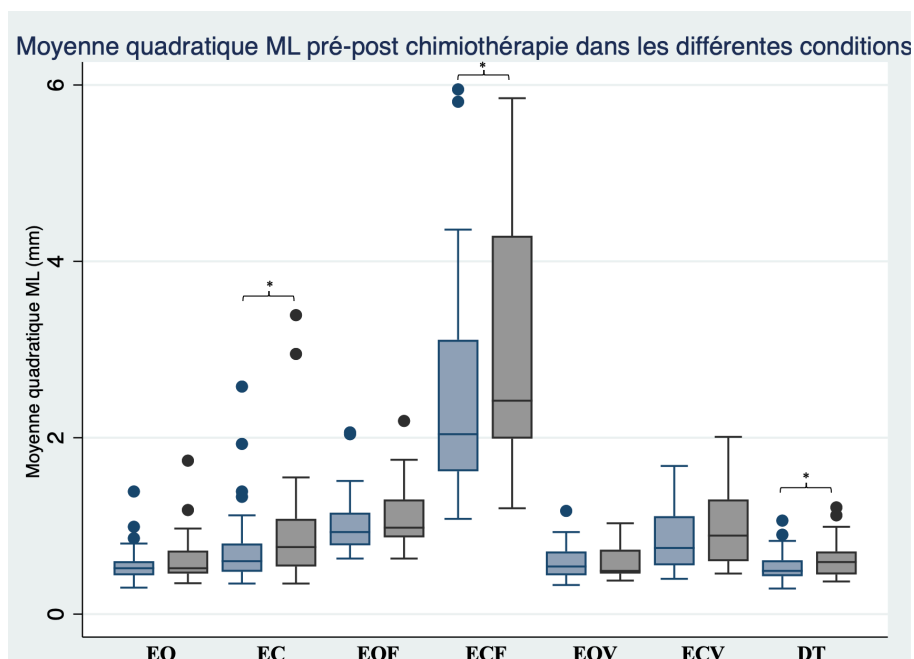


Figure 10. Box plot de la moyenne quadratique ML dans les différentes conditions. En bleu, les résultats avant chimiothérapie, en gris, les résultats après chimiothérapie. EC = yeux fermés, EO = yeux ouverts, DT = double tâche, F = mousse, ML = médio-latéral, V = vibration

Comparaison de l'équilibre dynamique avant-après traitement (LOS)

Aucune différence statistiquement significative n'était observée dans la condition LOS pour les paramètres de CP et de FRS après chimiothérapie, à l'exception de la force maximale V qui était augmentée (moyenne et écart-type : $+0,47 \pm 0,64$ N, médiane et IQR : $+0,33$ [0,23 – 0,76] N, $p < 0,01$, *Figure 11*).

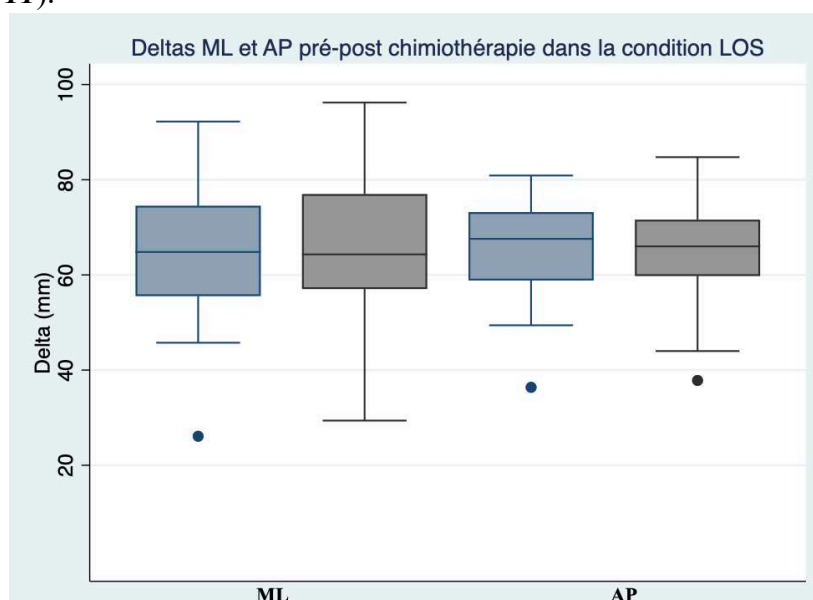


Figure 11. Box plot des deltas ML et AP en condition LOS. En bleu, les résultats avant la chimiothérapie, en gris, les résultats après la chimiothérapie. AP = antéro-postérieur, LOS = limites de stabilité, ML = médio-latéral

Comparaison de la qualité de vie avant-après traitement (FACT/GOG-Ntx)

Seule la sous-échelle de neurotoxicité était significativement péjorée après la chimiothérapie (-23 %, $p < 0,01$, *Tableau 9*).

Questionnaire FACT/GOG-Ntx (n = 33)				
	Pré	Post	Différence	Valeur p
Bien-être physique (/28)	19,27 $\pm$ 5,90 (7 – 28) 21 [16 – 23]	17,21 $\pm$ 5,52 (9 – 28) 15 [14 – 21]	-2,06 $\pm$ 6,29 (-15 – 10) -1 [-8 – 2]	0,59
Bien-être social / familial (/28)	22,02 $\pm$ 4,24 (10 – 28) 23 [19 – 25]	21,65 $\pm$ 4,47 (6 – 26,83) 23 [20 – 25]	-0,36 $\pm$ 4,10 (-9 – 9) -1 [-2 – 1]	0,20
Bien-être émotionnel (/24)	18,36 $\pm$ 3,74 (8 – 24) 19 [16 – 21]	18 $\pm$ 3,86 (9 – 24) 19 [15 – 20]	-0,36 $\pm$ 3,72 (-9 – 7) 0 [-2 – 2]	1,00
Bien-être fonctionnel (/28)	16,46 $\pm$ 5,34 (7 – 25) 17 [13 – 19]	15,52 $\pm$ 4,96 (5 – 26) 16 [13 – 18]	-0,94 $\pm$ 4,96 (-10 – 10) 0 [-6 – 2]	1,00
Sous-échelle neurotoxicité (/44)	38,18 $\pm$ 6,60 (16 – 44) 40 [37 – 43]	29,58 $\pm$ 9,66 (9 – 44) 31 [23 – 37]	-8,61 $\pm$ 7,53 (-25 – 3) -7 [-14 – -4]	$\leq 0,01$
Total	114,29 $\pm$ 19,10 (68 – 141) 119 [104 – 127]	101,96 $\pm$ 20,18 (75 – 141) 98 [85 – 117]	-12,33 $\pm$ 18,34 (-48 – 15,83) -14 [-22 – 3]	0,04

Tableau 9. Résultats du FACT/GOG-Ntx. Données sous la forme de moyenne $\pm$ écart-type (min-max) médiane [IQR 25-75%]. FACT = functional assessment of cancer therapy, GOG-Ntx = gynecologic oncology group-neurotoxicity, IQR = écart interquartile. Valeurs p corrigées sur la multiplicité des tests

Comparaison entre les sous-groupes de gravité de la CIPN (TNSm)

Il n'y avait pas de différence statistiquement significative de l'évolution du contrôle postural avant-après chimiothérapie entre les sous-groupes de sévérité de CIPN (légère vs. modérée). Les conditions EC, ECF et LOS étaient considérées. Seule la variabilité de la FRS AP dans la condition EC était supérieure dans le sous-groupe de sévérité modérée vs. légère (+0,38 N, $p = 0,04$, **Tableau 10**).

Concernant la qualité de vie, l'évolution pré-post chimiothérapie de la sous-échelle de neurotoxicité du FACT/GOG-Ntx était détériorée dans le groupe CIPN modérée par rapport au sous-groupe CIPN légère (+5,73, $p = 0,04$).

Analyse exploratoire : association entre les paramètres de CP et de la FRS avec la qualité de vie, la CIPN et l'activité physique

Les paramètres de CP et FRS n'étaient pas significativement corrélés au FACT-Ntx dans les conditions EC et ECF ($p \geq 0,14$, **Tableau 11**). Seules la vitesse maximale du CP et la variabilité de la FRS AP étaient modérément corrélés au TNSm dans la condition EC ($0,46 \geq r \geq 0,59$, $p \leq 0,04$). La pratique d'activité physique (heure/semaine) était modérément corrélée aux différents paramètres de CP et FRS à l'exception de la FRS ML et V maximales ($-0,55 \geq r \geq -0,41$, $p \leq 0,02$).

Condition yeux fermés (EC)										
Sévérité	Pré		Post		Différence		Valeur <i>p</i> T1 vs. T2		Différence valeur <i>p</i> TNSm 1 vs. 2	
	TNSm 1 (n = 20)	TNSm 2 (n = 13)	TNSm 1	TNSm 2	TNSm 1	TNSm 2	TNSm 1	TNSm 2	TNSm 1 vs. 2	
CP										
Planaire										
Longueur (mm)	433,74 ± 121,95 (303,78 – 786,13)	569,66 ± 312,19 (298,14 – 1340,21)	543,64 ± 199,88 (308,80 – 1012,15)	709,42 ± 312,69 (376,25 – 1548,88)	101,54 ± 111,88 (-18,92 – 407,19)	139,77 ± 141,57 (-246,21 – 358,64)	0,001	0,036		0,176
Vitesse maximale (mm/s)	84,81 ± 31,68 (42,99 – 169,77)	92,65 ± 49,45 (39,50 – 228,24)	96,91 ± 42,66 (42,99 – 234,07)	125,80 ± 57,42 (57,91 – 260,66)	11,51 ± 27,98 (-25,70 – 89,09)	33,14 ± 23,12 (-8,54 – 68,16)	0,140	0,012		0,089
RMS (mm)	0,97 ± 0,34 (0,56 – 1,88)	1,22 ± 0,72 (0,58 – 2,95)	1,23 ± 0,61 (0,58 – 3,15)	1,67 ± 0,85 (0,75 – 3,80)	0,25 ± 0,38 (-0,12 – 1,63)	0,45 ± 0,27 (0,04 – 0,85)	0,002	0,012		0,089
ML										
Longueur (mm)	224,65 ± 76,25 (133,51 – 442,60)	320,66 ± 197,60 (147,24 – 839,95)	284,72 ± 147,28 (133,51 – 637,98)	356,79 ± 229,20 (191,79 – 1046,55)	55,00 ± 92,36 (-21,72 – 386,10)	36,12 ± 106,37 (-219,37 – 206,60)	0,004	0,124		0,971
RMS (mm)	0,63 ± 0,24 (0,35 – 1,33)	0,95 ± 0,65 (0,40 – 2,58)	0,84 ± 0,58 (0,35 – 2,95)	1,08 ± 0,76 (0,50 – 3,39)	0,19 ± 0,42 (-0,14 – 1,83)	0,13 ± 0,35 (-0,63 – 0,81)	0,014	0,124		0,971
AP										
Longueur (mm)	323,18 ± 85,79 (222,63 – 563,79)	399,26 ± 201,11 (222,08 – 867,33)	398,91 ± 123,39 (235,68 – 637,98)	534,83 ± 189,93 (282,23 – 926,06)	70,10 ± 64,57 (-8,27 – 221,54)	135,58 ± 96,96 (-73,99 – 261,58)	0,001	0,012		0,098
RMS (mm)	0,94 ± 0,31 (0,58 – 1,71)	1,11 ± 0,57 (0,57 – 2,42)	1,15 ± 0,41 (0,60 – 1,91)	1,56 ± 0,63 (0,77 – 2,77)	0,20 ± 0,20 (-0,04 – 0,60)	0,45 ± 0,28 (0,16 – 1,14)	0,002	0,012		0,064
FRS										
V										
Valeurs max (N)	9,74 ± 0,27 (9,24 – 10,36)	9,80 ± 0,24 (9,16 – 10,06)	10,05 ± 0,66 (8,77 – 11,27)	10,12 ± 0,47 (9,25 – 11,09)	0,31 ± 0,54 (-0,96 – 1,25)	0,32 ± 0,50 (-0,48 – 1,18)	0,054	0,102		0,780
Variabilité (N)	0,01 ± 0,00 (0,01 – 0,02)	0,02 ± 0,02 (0,01 – 0,08)	0,01 ± 0,00 (0,01 – 0,02)	0,01 ± 0,01 (0,01 – 0,03)	0,00 ± 0,00 (-0,00 – 0,01)	-0,00 ± 0,02 (-0,05 – 0,01)	0,033	0,724		0,684
ML										
Valeurs max (N)	0,99 ± 1,77 (-1,02 – 6,25)	1,50 ± 2,24 (-0,51 – 5,60)	2,05 ± 3,26 (-0,49 – 12,08)	2,78 ± 3,26 (-0,22 – 9,41)	1,06 ± 2,45 (-1,24 – 9,13)	1,28 ± 1,42 (-0,18 – 4,39)	0,098	0,026		0,558
Variabilité (N)	0,72 ± 0,51 (0,27 – 2,21)	0,86 ± 0,54 (0,32 – 1,83)	0,99 ± 0,81 (0,24 – 3,16)	1,14 ± 0,73 (0,42 – 2,78)	0,28 ± 0,50 (-0,09 – 1,91)	0,28 ± 0,33 (0 – 1,05)	0,033	0,026		0,682
AP										
Valeurs max (N)	5,94 ± 3,66 (2,63 – 14,93)	5,93 ± 2,41 (3,63 – 10,87)	6,49 ± 2,85 (2,79 – 11,44)	7,53 ± 4,28 (3,58 – 18,32)	0,56 ± 1,63 (-4,14 – 2,96)	1,60 ± 4,08 (-5,06 – 10,20)	0,054	0,313		0,558
Variabilité (N)	1,11 ± 0,65 (0,42 – 2,79)	0,98 ± 0,49 (0,38 – 1,88)	1,40 ± 0,79 (0,55 – 3,15)	1,66 ± 0,89 (0,66 – 3,68)	0,30 ± 0,29 (-0,03 – 1,06)	0,68 ± 0,45 (0,28 – 1,80)	0,012	0,026		0,040

Tableau 10. Résultats des paramètres du CP et de la FRS dans la condition EC par sous-groupes de sévérité selon le TNSm. *n* = 33 pour les paramètres du CP, *n* = 24 pour la FRS ML et AP, *n* = 31 pour la FRS V. Données sous la forme de moyenne ± écart-type (min-max). AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, EC = yeux fermés, FRS = force de réaction du sol, m = modifié, ML = médio-latéral, RMS = moyenne quadratique, TNS = Total Neuropathy Score, V = vertical. Valeurs *p* corrigées sur la multiplicité des tests

Tableau de corrélation

Paramètre	Condition EC				Condition ECF			
		FACT-Ntx (/44)	TNSm (/24)	Activité physique de 3 à 6 MET (heure/sem)		FACT-Ntx (/44)	TNSm (/24)	Activité physique de 3 à 6 MET (heure/sem)
Longueur CP (mm)	Coefficient de corrélation	-0,08	0,27	-0,07	Coefficient de corrélation	-0,08	0,27	-0,50
	Valeur <i>p</i>	0,918	0,206	0,804	Valeur <i>p</i>	0,884	0,189	0,010
Vitesse max CP (mm/s)	Coefficient de corrélation	-0,32	0,46	-0,01	Coefficient de corrélation	-0,37	0,35	-0,41
	Valeur <i>p</i>	0,233	0,035	0,946	Valeur <i>p</i>	0,350	0,087	0,023
RMS CP (mm)	Coefficient de corrélation	-0,17	0,35	-0,12	Coefficient de corrélation	-0,22	0,35	-0,47
	Valeur <i>p</i>	0,710	0,125	0,804	Valeur <i>p</i>	0,444	0,087	0,010
Longueur AP CP (mm)	Coefficient de corrélation	-0,06	0,26	-0,11	Coefficient de corrélation	-0,16	0,34	-0,51
	Valeur <i>p</i>	0,734	0,206	0,804	Valeur <i>p</i>	0,640	0,087	0,010
RMS AP CP (mm)	Coefficient de corrélation	-0,22	0,39	-0,16	Coefficient de corrélation	-0,22	0,37	-0,49
	Valeur <i>p</i>	0,550	0,080	0,804	Valeur <i>p</i>	0,444	0,087	0,010
Longueur ML CP (mm)	Coefficient de corrélation	0,04	0,05	0,11	Coefficient de corrélation	-0,01	0,20	-0,47
	Valeur <i>p</i>	0,922	0,793	0,804	Valeur <i>p</i>	0,963	0,308	0,010
RMS ML CP (mm)	Coefficient de corrélation	0,00	0,05	0,06	Coefficient de corrélation	-0,05	0,20	-0,45
	Valeur <i>p</i>	0,992	0,793	0,804	Valeur <i>p</i>	0,893	0,308	0,014
FRS ML max (N)	Coefficient de corrélation	-0,52	0,31	0,15	Coefficient de corrélation	-0,08	0,17	-0,19
	Valeur <i>p</i>	0,100	0,206	0,804	Valeur <i>p</i>	0,884	0,416	0,372
FRS V max (N)	Coefficient de corrélation	-0,09	0,17	0,09	Coefficient de corrélation	-0,23	0,35	-0,18
	Valeur <i>p</i>	0,918	0,458	0,804	Valeur <i>p</i>	0,444	0,087	0,372
FRS AP variabilité (N)	Coefficient de corrélation	-0,45	0,59	-0,18	Coefficient de corrélation	-0,35	0,49	-0,55
	Valeur <i>p</i>	0,135	0,020	0,804	Valeur <i>p</i>	0,444	0,087	0,010



Coefficient de corrélation de Spearman (*r*)

Tableau 11. Tableau de corrélation entre les différences T2-T1 des paramètres de CP et de FRS avec le FACT-Ntx, le TNSm et l'activité physique dans les conditions EC et ECF. AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, EC = yeux fermés, F = mousse, FACT = functional assessment of cancer therapy, FRS = force de réaction du sol, m = modifié, ML = médio-latéral, Ntx = neurotoxicité, RMS = moyenne quadratique, TNS = total neuropathy score, V = vertical. En gras, corrélations significatives ($p < 0,05$). Valeurs *p* corrigées sur la multiplicité des tests

Analyse exploratoire : comparaison des paramètres de CP et de FRS par sous-groupes selon le changement de traitement et la fatigue

Aucune différence statistiquement significative n'a été observée dans l'évolution des paramètres de CP et de la FRS entre les sous-groupes de modification de traitement ou de fatigue (**Tableau 12**).

Comparaisons de sous-groupes									
	Paramètre	Condition EC				Condition ECF			
		Modification de traitement		Fatigue		Modification de traitement		Fatigue	
		Non	Oui	< 70 / 100	≥ 70 / 100	Non	Oui	< 70 / 100	≥ 70 / 100
Longueur CP (mm)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	101,73 ± 127,96	150,81 ± 111,98	130,72 ± 101,36	84,13 ± 166,24	295,85 ± 366,20	656,30 ± 447,19	455,30 ± 417,42	289,56 ± 425,69
		0,511		0,814		0,076		0,491	
Vitesse max CP (mm/s)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	16,17 ± 24,79	28,92 ± 33,87	13,89 ± 23,79	34,16 ± 32,76	36,54 ± 68,12	145,92 ± 108,26	64,95 ± 94,79	80,55 ± 100,87
		0,652		0,424		0,076		0,845	
RMS (mm)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	0,26 ± 0,27	0,46 ± 0,48	0,31 ± 0,28	0,36 ± 0,49	0,63 ± 0,97	1,71 ± 1,22	1,07 ± 1,18	0,68 ± 1,07
		0,511		0,814		0,076		0,571	
Longueur AP CP (mm)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	84,99 ± 86,10	120,96 ± 77,25	107,98 ± 85,98	68,11 ± 76,09	235,21 ± 274,39	540,83 ± 383,51	364,67 ± 329,65	243,06 ± 355,49
		0,511		0,814		0,076		0,571	
RMS AP (mm)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	0,26 ± 0,22	0,38 ± 0,32	0,32 ± 0,29	0,25 ± 0,19	0,64 ± 0,87	1,71 ± 1,23	1,06 ± 1,08	0,74 ± 1,15
		0,511		0,814		0,076		0,590	
Longueur ML CP (mm)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	40,09 ± 87,77	64,75 ± 118,77	51,82 ± 67,34	37,78 ± 148,90	146,39 ± 197,63	283,56 ± 188,33	213,52 ± 207,40	129,16 ± 186,71
		0,969		0,814		0,076		0,491	
RMS ML (mm)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	0,13 ± 0,28	0,26 ± 0,57	0,15 ± 0,24	0,20 ± 0,63	0,37 ± 0,74	0,91 ± 0,66	0,62 ± 0,82	0,33 ± 0,54
		0,969		0,814		0,076		0,491	
FRS max ML (N)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	0,74 ± 1,38	2,11 ± 3,18	0,92 ± 1,36	1,68 ± 3,37	2,61 ± 3,82	4,02 ± 2,97	3,89 ± 3,81	0,91 ± 1,83
		0,511		0,814		0,191		0,491	
FRS max V (N)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	0,36 ± 0,56	0,22 ± 0,42	0,21 ± 0,54	0,57 ± 0,35	0,51 ± 0,69	0,67 ± 0,56	0,45 ± 0,68	0,84 ± 0,49
		0,729		0,424		0,642		0,491	
Variabilité AP FRS (N)	Résultats sous-groupes Valeur <i>p</i> inter- groupes	0,37 ± 0,29	0,61 ± 0,57	0,47 ± 0,44	0,37 ± 0,25	0,78 ± 1,10	2,04 ± 1,46	1,33 ± 1,21	0,70 ± 1,56
		0,541		0,814		0,076		0,491	

Tableau 12. Comparaisons de la différence T2-T1 des paramètres de CP et de la FRS par sous-groupes de modification de traitement (oui/non) et de fatigue (< 70/100 et ≥ 70/100) dans les conditions EC et ECF. Données sous la forme de moyenne ± écart-type. AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, EC = yeux fermés, F = mousse, FRS = force de réaction du sol, ML = médio-latéral, RMS = moyenne quadratique, V = vertical. Valeurs *p* non corrigées sur la multiplicité des tests

Analyse exploratoire : association entre les paramètres du CP et de la FRS

La longueur du CP totale, la moyenne quadratique totale et la vitesse maximale étaient modérément corrélées à la FRS ML en condition EC ($0,42 \leq r \leq 0,56$, $p \leq 0,04$) alors que la longueur AP et la moyenne quadratique AP n'étaient pas significativement corrélées à la FRS AP. En condition ECF, tous les paramètres du CP étaient corrélés à la FRS ML ($0,44 \leq r \leq 0,68$, $p \leq 0,03$). Le détail des résultats est en annexe (*Annexe 8*).

Analyse exploratoire : concordance entre les différents outils évaluant la CIPN

Des pourcentages de concordance modérés ont été observés entre le TNSm, la sous échelle de neurotoxicité du FACT-Ntx et les modifications éventuelles du traitement chimiothérapeutique (**Tableau 13**). Par ailleurs, un coefficient de corrélation de Spearman modéré a été calculé entre le TNSm et la neurotoxicité du FACT-Ntx.

Concordance entre les outils utilisés pour la CIPN			
	TNSm	FACT-Ntx	Modification du traitement
TNSm	-	41 % $r = -0,51, p < 0,01$	50 %
FACT-Ntx	41 % $r = -0,51, p < 0,01$	-	39 %
Modification du traitement	50 %	39 %	-

Tableau 13. Concordance entre les différents moyens utilisés pour évaluer la CIPN et corrélations de Spearman. CIPN = neuropathies périphériques induites par chimiothérapie, FACT = functional assessment of cancer therapy, m = modifié, Ntx = neurotoxicité, TNS = total neuropathy score

Discussion spécifique

Cette étude a mis en évidence une altération de la capacité de contrôle postural après une chimiothérapie neurotoxique chez des femmes atteintes d'un cancer du sein. La différence la plus marquée était observée dans les conditions avec perturbations visuelle et en double tâche, corroborant l'hypothèse initiale. L'équilibre quasi-statique en condition avec vibration et l'équilibre quasi-dynamique ne montraient pas d'altération significative après la chimiothérapie. En revanche, le score de la sous-échelle de neurotoxicité de la qualité de vie était détérioré après le traitement. Contrairement à l'hypothèse émise, aucune différence des paramètres de CP entre les deux sous-groupes de sévérité de CIPN n'a été observée. Les facteurs associés aux instabilités posturales post chimiothérapie étaient l'inactivité physique et le TNSm, dans une moindre mesure. Aucune association n'a été trouvée pour le FACT/GOG-Ntx, le changement de traitement et la fatigue. Les différents outils utilisés pour évaluer la CIPN présentaient une concordance modérée entre eux, contredisant l'hypothèse initiale.

Le contrôle postural était détérioré après la chimiothérapie par taxanes. Cette altération était visible par une augmentation des valeurs des paramètres du CP et de la FRS dans différentes directions. Toutefois, les différents paramètres n'étaient pas impliqués de la même manière suivant les axes. Alors que les paramètres du CP étaient principalement altérés dans l'axe AP, la FRS maximale augmentait majoritairement dans le plan ML. L'augmentation des oscillations dans l'axe AP pourrait indiquer une correction AP accrue du CP pour maintenir la projection

du centre de masse aussi près que possible de la base de support (Winter, 1995). Dans la vie de tous les jours, l'axe AP est particulièrement sollicité au quotidien (marche, contacts sociaux, ...). Il est, de plus, utilisé pour les stratégies d'équilibration utilisant les différentes articulations du membre inférieur (Horak & Nashner, 1986). Ainsi, les oscillations AP sont prédominantes dans l'équilibre quasi-statique (Hay & Wachowiak, 2017).

En revanche, les oscillations ML sont plus limitées. Différentes raisons peuvent être évoquées comme la plus petite surface d'appui, le contrôle réalisé par un nombre restreint de muscles stabilisateurs, ainsi que des moindres mouvements dans cet axe réalisés dans les activités de la vie quotidienne (Winter et al., 1996). Ainsi, le contrôle de l'axe ML en équilibre quasi-statique est particulièrement ardu et souvent associé au risque de chute (Stel et al., 2003). L'augmentation de la FRS maximale ML pourrait donc être une stratégie adaptative ayant pour objectif de stabiliser cet axe, plus difficile à contrôler. Parmi toutes les mesures effectuées, la FRS maximale ML était le paramètre le plus impacté par la chimiothérapie avec des valeurs de paramètre plus que doublées après le traitement. L'effort déployé pour maintenir l'équilibre dans cet axe était donc plus conséquent. Cet effort était modérément corrélé aux ajustements posturaux totaux pour les conditions yeux fermés ainsi qu'aux déplacements AP pour la condition yeux fermés sur mousse indiquant une évolution partiellement conjointe.

Il est également possible que l'augmentation de la FRS ML et des paramètres du CP AP soient liées à une éventuelle stratégie de compensation par « rigidification » du corps pour faciliter le maintien de l'équilibre et limiter les excursions du CP (Kneis, Wehrle, et al., 2020a). Des co-contractions des muscles de cheville concomitantes pourraient expliquer l'augmentation des longueurs totale et AP du CP ainsi que des moyennes quadratiques totale et AP. En effet, il a été démontré que les co-contractions des muscles de la jambe sont corrélées à l'excursion maximale du CP dans le plan AP (Quijoux, Nicolaï, Chairi, et al., 2021). De même, la vitesse moyenne du CP – paramètre correspondant à la longueur normalisée selon la durée de l'essai (Quijoux, Nicolaï, Chairi, et al., 2021) – est augmentée lors de co-contractions musculaires (Quijoux et al., 2020). Une activité musculaire majorée pourrait démontrer un contrôle neural actif plus important, potentiellement le résultat de mécanismes anticipatoires. Comme démontré dans l'étude de Kneis et al. (2020), les patients démontrant des troubles de l'équilibre post chimiothérapie développent des mécanismes anticipatoires plus importants (Kneis, Wehrle, et al., 2020a). Toutefois, cette hypothèse ne peut être affirmée ou infirmée sans l'utilisation d'un électromyogramme pour évaluer l'activité musculaire à l'origine des ajustements posturaux.

L'utilisation de différentes conditions expérimentales a permis de mettre en évidence une exacerbation des troubles du contrôle postural après chimiothérapie dans les conditions avec perturbations visuelles (EC, ECF) comparé aux autres conditions. Yeux fermés, la quasi-totalité des paramètres étaient détériorés, corroborant les travaux antérieurs (Monfort et al., 2016; Müller et al., 2020). Une stratégie d'adaptation de repondération sensorielle avec une utilisation accrue des données visuelles et vestibulaires après chimiothérapie pourrait expliquer les plus grandes instabilités en condition de perturbation visuelle (A. B. Wang et al., 2021). L'hypothèse de la dépendance visuelle accrue chez ces patientes est appuyée par l'augmentation des rapports de Romberg sur les surfaces rigide et mousse ainsi que par l'augmentation des instabilités posturales en double tâche après la chimiothérapie, où les données visuelles n'ont pas pu être utilisées pour la stabilisation.

Les conditions avec mousse (EOF, ECF) ont mis en évidence une importante activité musculaire pour maintenir l'équilibre autant avant qu'après la chimiothérapie, avec des FRS maximales élevées et une variabilité ML et V importantes. La mousse semblait agir comme un perturbateur mécanique du système somatosensoriel accroissant l'effort nécessaire pour le maintien de la station debout et exigeant un contrôle neural actif plus important (Sozzi, Do, et al., 2022; Sozzi et al., 2021; Sozzi, Ghai, et al., 2022). La plupart des paramètres de CP et FRS étaient majorés après chimiothérapie indiquant des instabilités posturales que ce soit avec les yeux ouverts ou fermés.

A l'inverse, lorsque le système somatosensoriel était artificiellement perturbé par des vibrations tendineuses (EOV, ECV), aucune altération du contrôle postural n'était observée après la chimiothérapie. L'altération des fibres Ia par les dysfonctionnements moléculaires et cellulaires induits par la chimiothérapie (Burgess et al., 2021) a pu limiter l'influence de la vibration sur les ajustements posturaux. Les taxanes ralentissent la rétroaction transmise par les fibres Ia et réduisent sa fiabilité, affectant le réflexe d'étirement (Kneis et al., 2016). Selon nos analyses exploratoires, les valeurs de CP étaient plus faibles chez les participantes ayant une aréflexie du tendon d'Achille comparé à celles ayant un réflexe normal ou diminué. Les personnes ayant une aréflexie étaient ainsi potentiellement moins perturbées par les vibrations que les autres participantes, mais les différences n'étaient pas significatives. Ces résultats sont les premiers à mettre en évidence qu'une vibration appliquée aux tendons d'Achille influence peu les personnes ayant reçu une chimiothérapie neurotoxique, du fait des altérations liées au traitement. Dès lors, il serait plus pertinent de privilégier d'autres conditions d'évaluation pour mettre en évidence les stratégies d'adaptation du contrôle postural post-chimiothérapie.

Une évaluation du contrôle postural en double tâche devrait, en revanche, faire partie des investigations dans ce contexte. Les situations en double tâche sont prépondérantes dans la vie de tous les jours (repérage visuel, conversation, utilisation du smartphone, ...) et permettent d'informer sur les exigences attentionnelles supra-spinales requises pour le contrôle postural (Paillard & Noé, 2015; Quijoux, Nicolai, Aflalo, et al., 2021). Cette étude a montré une augmentation de l'instabilité posturale dans la condition DT, à cause d'une augmentation des interférences cognitives (Ghai et al., 2017). L'adjonction de la seconde tâche cognitivo-motrice a ainsi perturbé le contrôle postural par modification de la stratégie attentionnelle (Plummer & Eskes, 2015). En effet, lorsque les afférences somatosensorielles sont limitées, le contrôle postural réalisé usuellement au niveau périphérique est réalisé au niveau supra-spinal (Quijoux, Nicolai, Chairi, et al., 2021). Par ailleurs, la vision, occupée à la tâche secondaire, ne pouvait être employée pour l'équilibration, rendant le contrôle postural plus ardu.

Au contraire des résultats antérieurs (Rattanakrong et al., 2022), la stabilité quasi-dynamique, qui s'applique également à la vie quotidienne, n'a pas été impactée par la chimiothérapie. Les difficultés méthodologiques liées à la compréhension et à l'exécution des tests, à la fatigue et à la grande variabilité entre les participantes, comme soulevé précédemment (Monfort et al., 2016; Wagner et al., 2021), peuvent avoir influencé les résultats (Wagner et al., 2021). D'autres études sont nécessaires pour obtenir d'avantage d'information sur l'effet de la chimiothérapie sur les limites de stabilité.

Compte tenu des déficiences sensorielles, des scores de neurotoxicité dépassant la MCID (Zimmer et al., 2018) et des diminutions du contrôle postural dans les conditions dépendant principalement des entrées somatosensorielles et vestibulaires (Schmitt et al., 2017), une association entre déficits somatosensoriels et instabilité posturale aurait pu être remarquée. Toutefois, seuls certains paramètres du CP et de la FRS présentaient une corrélation modérée avec le score TNSm lors des analyses exploratoires, comme démontré dans une étude antérieure (Müller et al., 2020). Aucune corrélation entre les paramètres du CP ou de la FRS et le score Ntx n'était observée. De plus, contrairement à l'hypothèse initiale, il n'y avait pas de différences dans les troubles du contrôle postural entre les sous-groupes de sévérité CIPN. Par conséquent, une plus grande sévérité de la CIPN ne semblait pas entraîner de détérioration plus importante du contrôle postural.

Plusieurs hypothèses de facteurs complémentaires pouvant expliquer les perturbations posturales après chimiothérapie sont exposées ci-dessous :

Pour commencer, l'outil utilisé pour diagnostiquer la CIPN pourrait manquer de sensibilité. Bien que le TNSm soit validé et recommandé pour diagnostiquer la CIPN (Wampler et al., 2006), l'évaluation de la conduction nerveuse serait plus sensible (Argyriou et al., 2019). Les corrélations faibles à modérées entre les paramètres du CP et du TNSm, ainsi que la faible partie de la variance des résultats d'un test de contrôle postural expliquée par les valeurs du TNSm, rapportées dans des études antérieures, pourraient appuyer cette hypothèse (Müller et al., 2020; Wampler et al., 2007). Toutefois, des corrélations semblables, faibles à modérées et non significatives, ont été observées entre les paramètres de CP et le potentiel d'action sensoriel du nerf sural ou le potentiel d'action musculaire composé du nerf fibulaire (Müller et al., 2020). Seule la vitesse de conduction était modérément significativement corrélée aux résultats du CP (Müller et al., 2020).

Il semblerait qu'il soit encore difficile de définir l'outil idéal pour diagnostiquer la CIPN (Park et al., 2022). Dans cette étude, le pourcentage de concordance n'était qu'uniquement modéré entre les différents outils utilisés pour appréhender la CIPN.

Une autre hypothèse concerne les caractéristiques socio-démographiques. Dans la présente étude, les participantes atteintes de CIPN de grade 2 présentaient des valeurs de CP pré chimiothérapie plus élevées que celles atteintes de CIPN de grade 1. Ceci pourrait indiquer la présence de caractéristiques démographiques défavorables (âge, taille, poids) pour le contrôle postural ou des troubles somatosensoriels antérieurs (Henry & Baudry, 2019; Kurt et al., 2021). Une déficience somatosensorielle antérieure réduit les répercussions de la chimiothérapie sur la posture en raison d'une sous-utilisation du système sensoriel déjà déficient (Müller, Kreutz, et al., 2021). Cette repondération sensorielle pourrait être liée à une altération du système sensoriel avec l'âge (Müller, Kreutz, et al., 2021). Cependant, les analyses exploratoires n'ont révélé aucune différence entre les groupes et les troubles somatosensoriels faisaient parties des critères d'exclusion.

Ensuite, certaines participantes auraient pu présenter une instabilité posturale sans signe ou symptôme de CIPN concomitants (Monfort et al., 2019b). L'investigation des instabilités posturales chez les patients sous traitement chimiothérapeutique quel que soit le niveau de CIPN prendrait alors toute son importance.

Une autre explication, appuyée par plusieurs études, suggère que des facteurs supplémentaires pourraient influencer le contrôle postural. Les valeurs élevées des paramètres du CP lors de l'évaluation initiale appuieraient cette hypothèse. Ainsi, l'inactivité physique (Müller et al.,

2020; Müller, Kreutz, et al., 2021), les déficits vestibulaires (Kneis et al., 2016), ou les traitements antérieurs, comme la mastectomie (Głowacka et al., 2016), pourraient jouer un rôle important dans le développement des troubles posturaux. En outre, des déficiences cognitives (Müller et al., 2020), telles que des déficits attentionnels liés à l'anxiété et à la fatigue (A. B. Wang et al., 2021), ou des difficultés empêchant la génération précise de force (Müller et al., 2020; Müller, Kreutz, et al., 2021; A. B. Wang et al., 2022) pourraient avoir contribué à l'altération posturale. Tous ces facteurs devraient faire l'objet d'une évaluation individuelle dans les études futures.

Limites

Malgré l'ordre aléatoire des conditions d'essai et les pauses entre les essais, la durée des évaluations de 75 min a pu causer une fatigue et impacter les résultats (Gebel et al., 2022). Toutefois, le niveau de fatigue à la fin des tests pré-chimiothérapie neurotoxique était évalué comme faible et modéré après la chimiothérapie (Fadila et al., 2020). En raison de contraintes cliniques, certains tests (cinq avant et quatre après) ont été réalisés au-delà de l'intervalle d'un mois avant et après le traitement, ce qui a pu influencer les résultats (plus la période est longue, plus les résultats sont divergents) (Müller, Kreutz, et al., 2021). Selon nos analyses exploratoires, l'influence de la fatigue et de l'intervalle de temps sur nos résultats semblait faible.

Perspectives

La grande variabilité obtenue dans les différents résultats démontre une certaine hétérogénéité dans les altérations du contrôle postural après chimiothérapie. De nombreux facteurs, en plus des déficits somatosensoriels, peuvent impacter le contrôle postural. Selon nos analyses exploratoires, l'inactivité physique pourrait influencer sur les troubles du contrôle postural et devrait être évaluée à l'aide de mesures objectives validées lors d'études futures. L'évaluation individuelle des traitements antérieurs, de la fatigue, des troubles cognitifs et des comorbidités aidera également à clarifier les facteurs impliqués dans l'altération du contrôle postural.

Implications cliniques

Compte tenu des altérations du contrôle postural observées, une évaluation systématique du contrôle postural devrait être réalisée en cas de traitement chimiothérapeutique neurotoxique. Une évaluation en condition yeux fermés sur surface rigide avec et sans double tâche semble pertinente chez les femmes atteintes d'un cancer du sein afin de déceler une altération posturale

induite par la chimiothérapie neurotoxique. Une évaluation sur mousse pourrait compléter les tests réalisés. Les longueurs totale et AP ou la moyenne quadratique AP ainsi que le pic de FRS ML pourraient être utilisés pour mesurer ces instabilités. D'après ce qui a été observé, les soins de support d'activité physique pourraient s'orienter vers des exercices sensorimoteurs yeux fermés et en double tâche pour limiter les troubles du contrôle postural après la chimiothérapie.

Conclusion

Les points principaux émanant de cette étude sont résumés ci-dessous :

- ❖ Une détérioration du contrôle postural a été observée post chimiothérapie, majoritairement dans les conditions nécessitant l'utilisation du système somatoproprioceptif pour l'équilibration.
- ❖ Les déficits somato-proprioceptifs provoqués par la chimiothérapie neurotoxique sont impliqués dans le développement de troubles du contrôle postural.
- ❖ D'autres paramètres tels que les traitements antérieurs ou l'inactivité physique semblent également jouer un rôle dans le développement des instabilités posturales post chimiothérapie.

IVb. Étude 2 : effets d'un programme d'exercices sensorimoteurs pour prévenir les perturbations fonctionnelles liées aux taxanes

Introduction

Les conclusions de l'*Étude 1* ont démontré un besoin manifeste de soins de support pour les femmes atteintes d'un cancer du sein traitées par taxanes. La dégradation conséquente du contrôle postural mise en évidence par de nombreux paramètres altérés dans diverses conditions ainsi que les stratégies d'adaptation développées confirment l'utilité d'un programme sous forme d'activité physique. Ce programme pourrait, en effet, limiter les répercussions néfastes de troubles du contrôle postural sur le quotidien ainsi que sur l'autonomie et la qualité de vie des patients (Duregon et al., 2018).

Selon la littérature existante, les exercices sensorimoteurs sont les pistes les plus prometteuses pour la prise en charge des troubles du contrôle postural quasi-statique et dynamique post chimiothérapie (Streckmann et al., 2022). Sur les cinq études existantes, quatre ont montré des effets bénéfiques d'un programme d'exercices sensorimoteurs, seuls ou en combinaison avec d'autres exercices (résistance, endurance), pour prévenir les troubles fonctionnels (Bahar-

Ozdemir et al., 2020; Streckmann, 2014; Streckmann et al., 2024; Vollmers et al., 2018). Seul l'essai contrôlé randomisé de Müller et al. (2021) n'a pas observé d'amélioration des capacités de contrôle postural après un programme d'exercices sensorimoteurs et de résistance chez des patients atteints de divers cancers. La population hétérogène et le manque de puissance de l'étude pourraient en être la cause (Müller, Weiler, et al., 2021).

Les cinq études étaient des essais contrôlés randomisés ou non, ayant évalué une intervention d'une durée de 10 à 36 semaines, deux à cinq fois par semaine chez des patients atteints de différents types de cancer (lymphomes, cancers du sein, gastro-intestinaux, colo-rectaux, hématologiques, ...).

Peu d'études se concentraient sur un diagnostic précis ou un protocole de traitement chimiothérapeutique spécifique. Or, les mécanismes physiopathologiques diffèrent grandement d'un type de cancer ou d'agent neurotoxique à l'autre. Il est donc recommandé d'étudier des populations homogènes, au moins en terme d'agent chimiothérapeutique administré (Gewandter et al., 2018).

Ensuite, les programmes d'activité physique ne semblaient pas tous intégrer des exercices en double tâche et yeux fermés, pourtant pertinents au vu des observations réalisées dans l'*Étude 1*.

Le nombre d'articles sur le sujet reste, par ailleurs, très restreint, soulignant la nécessité d'études supplémentaires.

Enfin, un seul design d'étude était représenté. Si les essais contrôlés randomisés sont particulièrement recommandés pour évaluer l'efficacité de traitements une fois intégrés dans des revues systématiques (OCEBM Levels of Evidence Working Group, 2024), d'autres designs d'études sont à considérer. En effet, les essais contrôlés randomisés fournissent uniquement une idée de l'effet moyen d'une intervention sur les résultats, sans pouvoir définir les réponses individuelles (Epstein & Dallery, 2022). Afin de compléter les résultats des essais contrôlés randomisés existants, d'autres méthodologies pourraient être envisagées.

Ainsi, la méthodologie en cas unique (single case experimental design en anglais, SCED) pourrait être particulièrement indiquée pour évaluer les effets d'un programme d'exercices sensorimoteurs pour des personnes atteintes de cancer. Cette méthodologie, du même niveau d'évidence que les essais contrôlés randomisés (OCEBM Levels of Evidence Working Group, 2024), introduit une dimension de recherche dans une pratique clinique pour construire un projet de soin fondé sur les données probantes, adapté au patient, dans un contexte de traitement

réel (Graham et al., 2012). Cette méthodologie se base sur trois principes (Krasny-Pacini & Evans, 2018) :

- Évaluer de manière prospective et intensive un faible nombre de participants
- Répéter les mesures de manière fréquente à chaque étape de l'étude
- Appliquer ou retirer l'intervention de manière séquentielle

Ainsi, la méthodologie SCED encourage la répétition des mesures, ce qui est fortement recommandé dans une population atteinte de cancer où les effets secondaires de la maladie et des traitements, tels que la fatigue, peuvent influencer les résultats obtenus aux tests fonctionnels (Soucy et al., 2022). Cette répétition des mesures permet de mieux comprendre les effets médiateurs de l'intervention et de mieux cerner l'évolution des participants (Krasny-Pacini & Evans, 2018).

Augmenter les évidences permettra d'émettre des recommandations, à ce jour encore limitées (Campbell et al., 2019). Si l'association européenne d'oncologie médicale recommande la pratique d'activité physique pour la prévention de la CIPN, en spécifiant le besoin d'études supplémentaires (niveau d'évidence IIC) (Jordan et al., 2020), l'association américaine déclare ne pas pouvoir émettre de recommandations en raison du trop faible nombre d'évidences (Loprinzi et al., 2020). Dès lors, des travaux supplémentaires pour attester de l'efficacité d'un programme d'exercices adaptés sur la fonction physique et la CIPN de personnes atteintes de cancer du sein sont requis.

La question de recherche de l'étude était la suivante :

« Quels sont les effets d'un programme d'exercices sensorimoteurs sur le contrôle postural et la marche, les signes et symptômes de la CIPN, la détresse et la qualité de vie des femmes atteintes de cancer du sein triple négatif traitées par taxanes ? »

Objectifs et hypothèses

Objectif primaire

L'objectif primaire de cette étude interventionnelle était d'évaluer l'effet d'un programme d'exercices sensorimoteurs sur le contrôle postural des personnes atteintes d'un cancer du sein triple négatif par une méthode SCED.

L'hypothèse était qu'après le programme, le contrôle postural quasi-statique ne serait pas altéré par la chimiothérapie neurotoxique (paramètres stables pré-post programme). En effet, les

premières études expérimentales évaluant les effets des programmes sensorimoteurs ont montré des résultats positifs sur le contrôle postural (*cf. Chapitre 2, Introduction*). L'augmentation des facteurs neurotrophiques associée à la diminution de l'inflammation et de la capacité antioxydante par l'activité physique pourraient permettre de maintenir les capacités de contrôle postural durant la phase active des traitements (Chung et al., 2022).

Objectifs secondaires

Les objectifs secondaires consistaient à évaluer l'effet du programme sur :

- les paramètres spatio-temporels de la marche
- les signes et symptômes de la CIPN
- la confiance dans l'équilibre
- la marche avec transferts (TUG test)
- la détresse psychologique
- la qualité de vie

Les hypothèses étaient que ces paramètres secondaires ne seraient pas détériorés après le programme (paramètres stables pré-post programme) grâce aux mécanismes neurophysiologiques et psychosociaux liés à l'activité physique (amélioration des facteurs neurotrophiques, diminution de l'hyperactivité cérébrale, anti-inflammation, capacité antioxydante améliorée, sentiment d'auto-efficacité exacerbé, ...), comme abordé dans le *Chapitre 2, Introduction*.

Méthode

Design

L'étude réalisée était une étude SCED en ligne de base multiple. Parmi les différents types de SCED, le design en ligne de base multiple est adapté aux interventions dont les effets peuvent perdurer dans le temps (Graham et al., 2012; Krasny-Pacini & Evans, 2018) et convient, de ce fait aux interventions sous forme d'activité physique.

Aucun groupe contrôle n'est ajouté dans les SCEDs car chaque participant constitue son propre contrôle ; les résultats obtenus dans la phase d'observation sont comparés à ceux de la phase d'intervention (Nikles et al., 2022). La puissance est alors définie en fonction du nombre d'évaluations plus que du nombre de sujets (Krasny-Pacini & Evans, 2018).

Conception et cadre de l'étude

Cette étude pilote a été réalisée à l'Assistance Publique Hôpitaux de Paris (APHP), à l'Hôpital Tenon de juillet 2023 à janvier 2024. Douze évaluations hebdomadaires étaient programmées. Les évaluations étaient réparties entre la période d'observation avant le programme (baseline), la phase d'intervention et la période de suivi après le programme. Le programme durait cinq semaines durant lesquelles cinq évaluations étaient réalisées. Conformément à la méthodologie SCED, les différentes phases d'intervention étaient introduites à divers moments selon les participantes (**Figure 12**) (Graham et al., 2012; Krasny-Pacini & Evans, 2018). Ainsi, la durée de la période d'observation (entre cinq à sept semaines) et du suivi post-programme (entre zéro à deux semaines) était randomisée selon les participantes. La randomisation était effectuée sur la base d'une randomisation restreinte, c'est-à-dire que le nombre total d'évaluations était contraint à 12 afin de correspondre à la durée de la chimiothérapie par taxanes. La durée de la phase d'intervention était également préalablement fixée à cinq semaines.

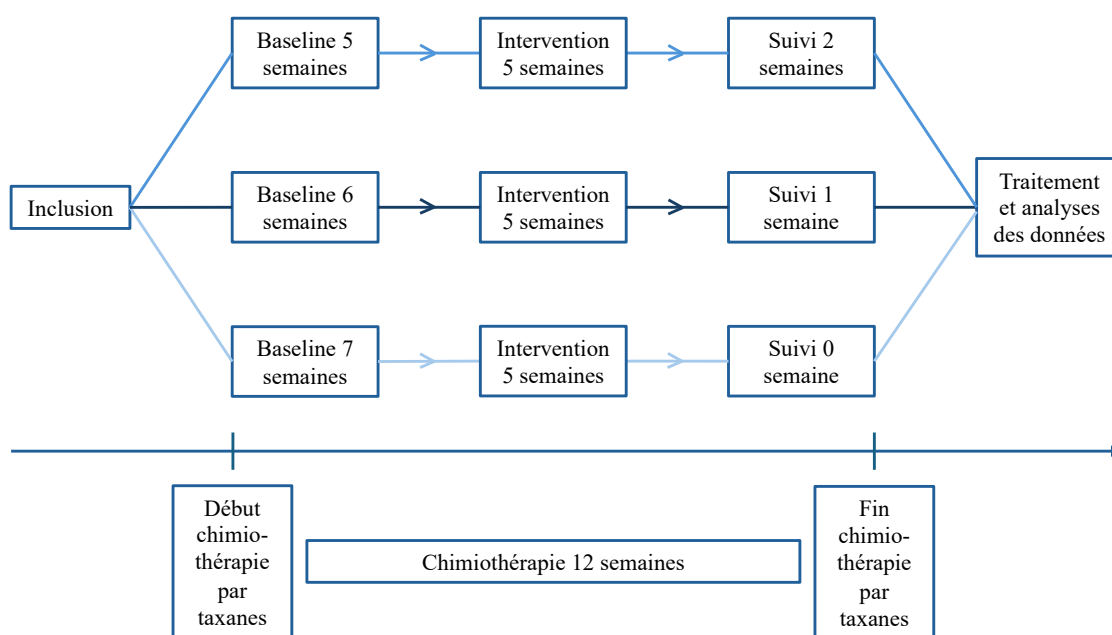


Figure 12. Schéma expérimental de l'étude SCED. Les nuances de bleu indiquent les différents parcours possibles des participantes. SCED = single case experimental design

Participantes

Critères d'éligibilité

Les participantes devaient être diagnostiquées d'un cancer du sein triple négatif avec extension locorégionale au maximum et ne pas présenter de troubles du contrôle postural empêchant la réalisation des tests ou du programme pour participer à cette étude. Les critères d'inclusions/exclusions sont précisés dans le tableau ci-dessous :

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
• Être une femme • Être âgée de plus de 18 ans • Être atteinte d'un cancer du sein triple négatif • Être sur le point de démarrer une chimiothérapie néoadjuvante séquentielle débutant par des taxanes (paclitaxel ou docetaxel) • Être capable de tenir 1 min sur une surface plane sans moyen auxiliaire • Être capable de marcher 50 m sans moyen auxiliaire • Être capable de donner son consentement écrit	• Être atteinte d'un cancer métastatique • Être atteinte d'une pathologie préexistante vestibulaire, visuelle non corrigeable, somatoproprioceptive empêchant la réalisation des exercices et des évaluations • Être atteinte d'une pathologie préexistante altérant le contrôle postural ou la marche (diabète métastase cérébrale, ...) empêchant la réalisation des exercices et des évaluations • Être atteinte d'une neuropathie périphérique • Avoir été exposée à une chimiothérapie dite neurotoxique dans le passé (paclitaxel, docetaxel, nab-paclitaxel, vinorelbine, trastuzumab-emtansine, éribuline ou paclitaxel-carboplatine) • Être médicalement trop instable pour participer à cette étude • Être incapable de réaliser les tests à cause de difficultés de compréhension des consignes ou de problèmes psychologiques

Tableau 14. Critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour évaluer l'éligibilité des patientes de l'étude interventionnelle

Recrutement

Le recrutement des participantes était réalisé de façon consécutive à l'APHP Tenon. En cas d'éligibilité, l'oncologue en charge de la patiente lui présentait brièvement l'étude puis lui

demandait son accord avant d’être contactée. L’appel était ensuite réalisé par une personne ne faisant pas partie du parcours de soin de la patiente afin de garantir le libre choix du consentement. Cette dernière, investigatrice du projet, indiquait à la patiente la nature de l’étude, son objectif, les procédures en lien, la durée prévue, les risques et avantages potentiels ainsi que tout inconfort éventuel. Une lettre d'information regroupant les différentes informations était transmise à la patiente (*Annexe 9*). La patiente avait ensuite un temps de réflexion de minimum 24 heures pour donner son accord/désaccord pour participer à l’étude. Les évaluations avaient lieu juste avant le traitement par chimiothérapie. Le consentement écrit de la participante était obtenu avant toute procédure d'étude.

Considérations éthiques

Toutes les participantes ont donné leur consentement écrit. Par ailleurs, l’étude a été approuvée par la commission de l’hôpital APHP Tenon.

Intervention

Les participantes étaient amenées à réaliser un programme d’exercices sensorimoteurs durant cinq semaines en autonomie.

Le programme était présenté à la fin de la période d’observation lors d’un rendez-vous à l’hôpital. Une investigatrice de l’étude, physiothérapeute, expliquait le fonctionnement du programme, démontrait les différents exercices, aidait à définir le niveau de départ pour chaque type d’exercice et corrigeait la position de la participante pour chaque exercice. Le suivi était ensuite réalisé de façon hebdomadaire par téléphone afin de pouvoir répondre à toute question sur le fonctionnement du programme ou la réalisation d’un exercice.

Selon les recommandations, cinq exercices étaient réalisés par session (Streckmann et al., 2022). Chaque exercice, d’une durée de 30 s, était répété deux fois. Leur niveau de difficulté était de modéré à assez difficile, comme réalisé dans l’étude de Müller et al., 2021 (Müller, Weiler, et al., 2021). Pour cela, les participantes cotaient leur difficulté entre 1 très facile, 2 facile, 3 moyen, 4 assez difficile et 5 difficile. Il leur était demandé de passer à un exercice plus difficile en cas de scores entre 1 et 2. Les exercices étaient complexifiés en variant les modalités selon les éléments suivants : en diminuant la base de sustentation, en ajoutant une surface instable, en fermant les yeux, en ajoutant une tâche motrice, *p. ex.* en bougeant la tête ou les membres supérieurs, ou en ajoutant une double tâche cognitive. Le choix des exercices était basé sur les conclusions de l’*Étude 1*. Ainsi, les exercices visant la repondération sensorielle et la double tâche dans différentes positions ont été ciblés. Les participantes étaient encouragées

à respecter le temps de repos d'1 min entre chaque exercice pour ne pas provoquer de fatigue neuronale (Streckmann et al., 2022). Les exercices étaient effectués sur sol plat et rigide.

Chaque participante recevait un sac de matériel contenant un feuillet d'exercices, une mousse (40 x 35 x 5 cm, Balance Pad bleu, Gonser, Horw, Suisse) et un ballon souple de 240 mm de diamètre (Softball bleu, Domyos, Decathlon, France). Le feuillet contenait des explications sur le programme (fondement, objectif, modalités, fonctionnement) ainsi que le détail des exercices. Les exercices étaient décrits par ordre de difficulté et selon le thème travaillé. Les thèmes étaient :

- 1) Exercices sensorimoteurs statiques yeux ouverts ;
- 2) Exercices sensorimoteurs statiques yeux fermés ;
- 3) Exercices de stabilité à la marche ;
- 4) Exercices de stabilité durant des tâches motrices diverses ;
- 5) Exercices en double tâche.

Les thèmes étaient présentés avec leur progression puis chaque exercice était détaillé avec des consignes précises, la position à adopter, les modalités pour chaque exercice et une photo de celui-ci (*Annexes 10, 11 et 12*).

Il était demandé aux participantes de privilégier un endroit calme et de mesurer le temps d'exercice/repos au chronomètre afin qu'elles puissent se consacrer pleinement aux exercices. Les exercices étaient réalisés avec un appui à proximité pour assurer la sécurisation (chaise ou table pour se stabiliser en cas de besoin).

La liste de contrôle TIDierR (en anglais, Template for Intervention Description and Replication) a été utilisée pour ne pas omettre d'informations dans la description de l'intervention (*Annexe 13*) (Hoffmann et al., 2014).

Procédure d'évaluation de l'efficacité du programme

Le contenu des évaluations variait avec des évaluations de courte durée (10 min) comprenant uniquement l'évaluation du contrôle postural quasi-statique, des évaluations de moyenne durée (15 min) ajoutant un test de fatigue et des évaluations longues (75 min). Ces dernières évaluaient également la marche, la marche avec transfert, la double tâche lors du contrôle postural et de la marche, la confiance dans l'équilibre, les CIPN, la détresse psychologique et

la qualité de vie. Les caractéristiques et habitudes de vie des participantes étaient récoltées lors des évaluations longues.

Les évaluations étaient réalisées majoritairement par une physiothérapeute spécialisée en oncologie sinon par ses collègues physiothérapeutes dans une pièce dédiée, au calme.

Les évaluateurs étaient en aveugle concernant les phases de l'étude des différentes participantes (évaluation, intervention ou suivi) afin de ne pas influencer les résultats. Les participantes recevaient l'indication de ne pas communiquer avec les évaluateurs à ce propos.

Paramètres

Selon les recommandations des méthodologies SCED (Krasny-Pacini & Evans, 2018), l'étude prévoyait une variable primaire ou variable cible, une de contrôle, des variables secondaires et une de fidélité. La variable cible est la principale variable d'intérêt. La variable de contrôle est un paramètre dont le lien avec la population est attesté mais qui n'est pas amélioré par l'intervention. Elle permet de différencier les effets de l'intervention d'une évolution spontanée. Les variables secondaires sont les paramètres qui ont un intérêt pour cette population et qui complètent la variable cible. Enfin, la variable de fidélité met en évidence l'adhésion et la satisfaction au programme.

Paramètre primaire, variable cible : contrôle postural en condition quasi-statique

A l'aide d'une plateforme stabilométrique (Kforce plates, Kinvent, Montpellier, France), le contrôle postural des participantes était évalué dans plusieurs conditions (*cf. Tableau 15*). Le choix de la plateforme stabilométrique était justifié par son moindre coût, sa facilité d'utilisation et sa praticité (transport facile), en faisant un outil plus facilement utilisable au quotidien que la plateforme de force.

	Yeux	Surface	Tâche cognitive
EO	ouverts	rigide	non
EC	fermés	rigide	non
EOF	ouverts	mousse	non
ECF	fermés	mousse	non
DT	ouverts	rigide	oui

Tableau 15. Conditions de test de l'étude interventionnelle. EO = eyes open, EC = eyes closed, EOF = eyes open foam, ECF = eyes closed foam, DT = dual task

La position de la participante était la suivante : talons écartés de 10 cm, orteils espacés de 15 cm, membres supérieurs le long du corps et cible visuelle à 0,90 cm sur un mur. La consigne était celle utilisée dans l'*Étude 1*.

La participante réalisait deux essais de 30 s en conditions EO, EC, EOF, ECF et DT (uniquement lors des évaluations longues, *Tableau 15*). Les essais étaient séparés d'une pause de 10 à 20 s (Blosch et al., 2019). Les différentes conditions étaient effectuées dans un ordre aléatoire selon une liste randomisée préalablement définie par un logiciel informatique (<https://www.sealedenvelope.com/simple-randomiser/v1/lists>).

En cas de perte d'équilibre nécessitant un changement de position (ouvrir les yeux, déplacer un pied, se rattraper avec les mains, ...), l'essai était invalidé. L'essai pouvait être recommencé deux fois (un maximum de quatre essais par condition). La participante pouvait réaliser des pauses en position assise entre les essais. La prise de mesure débutait 5 s après le début de l'essai afin d'éviter toute perturbation initiale (Müller et al., 2020). La moyenne des essais réussis était rapportée pour l'analyse des données.

Conditions avec mousse (EOF, ECF)

Une mousse de 6 cm de hauteur (48 × 40 × 6 cm) était disposée sous les pieds des participantes lors des essais EOF et ECF (Airex, Airex AG, Sins, Suisse) (M. Patel et al., 2008).

Condition avec double tâche (DT)

Comme pour l'*Étude 1*, il était demandé à la participante de rédiger un message non habituel sur un smartphone tout en gardant son équilibre. Le message était identique à celui de l'*Étude 1* et dicté par l'évaluatrice. De même, il était demandé aux participantes d'exécuter les deux tâches simultanément, sans prioriser l'une ou l'autre.

Les paramètres mesurés étaient l'évolution des longueurs du CP totale et antérieure à une fréquence de 100 Hz. Les longueurs totale et antérieure faisaient partie des paramètres les plus impactés par la chimiothérapie neurotoxique dans l'*Étude 1*.

Paramètre de contrôle : fatigue

Le paramètre de contrôle utilisé était la fatigue. La fatigue est fortement impactée par les traitements chimiothérapeutiques (de Jong, 2011). En revanche, les modalités FITT choisies pour ce programme ne ciblaient pas la fatigue. Les modalités pour atténuer la fatigue

comprennent préférentiellement des activités aérobiques voire de résistance de moyenne à haute intensité durant au moins 30 min pendant 12 semaines (Campbell et al., 2019). De ce fait, elle constituait un paramètre de contrôle adéquat. La fatigue était évaluée à l'aide du questionnaire de fatigue de Chalder (Chalder et al., 1993). Cet outil présente une bonne cohérence interne, sensibilité et spécificité (Chalder et al., 1993). L'échelle de Chalder permet de mesurer en 11 items la fatigue centrale et périphérique. Pour cela, la participante était amenée à répondre aux différents items entre 0, moins que d'habitude et 3, plus que d'habitude. Le score maximal était 33 (21 pour les symptômes périphériques et 12 pour les centraux). Les propriétés de l'outil sont décrites dans l'*Annexe 1*.

Paramètres secondaires

Marche

Les paramètres spatio-temporels de la marche, à savoir la vitesse de marche, la cadence, la longueur du pas, la largeur du pas et le temps en double appui étaient évalués avec un test de marche de 10 m. Le test était réalisé à vitesse confortable, rapide et en double tâche. Chaque condition était répétée deux fois et la moyenne des essais était retenue. Pour mesurer les paramètres spatio-temporels, des capteurs inertiels (Physilog, Mindmaze®, 512 Hz, Lausanne, Suisse) étaient placés au niveau des pieds. Les propriétés de cet outil sont répertoriées à l'*Annexe 1*.

La participante devait marcher entre deux marques distinctes au sol, séparées de 10 m. A cela, s'ajoutait 2 m d'accélération et 2 m de décélération, comme recommandé (Abouassaly et al., 2018). Les consignes étaient de marcher « à votre vitesse habituelle confortable comme si vous alliez faire des courses » et « le plus vite possible, sans courir ».

La condition en double tâche ajoutait une tâche cognitivo-motrice au test de marche. La tâche consistait à rédiger un message sur un smartphone. Le message était : « le rapide renard brun saute par-dessus le chien paresseux », préalablement utilisé dans une étude évaluant l'effet de la double tâche sur la marche (Schabrun et al., 2014). Les patientes devaient « marcher à vitesse habituelle confortable en écrivant le message dicté ».

Marche avec transferts

Le TUG test était réalisé dans un endroit calme, libre de tout obstacle (Browne & Nair, 2019). La participante, assise sur une chaise le dos appuyé contre le dossier, devait se lever, marcher 3 m, faire le tour de la marque au sol et revenir se rasseoir sur la chaise (P. P. Chan et al., 2017). La consigne était « au signal – Go -, vous devrez vous lever, marcher 3 m à une vitesse confortable, faire le tour de la marque au sol et revenir vous assoir sur la chaise, le dos appuyé

». La participante répétait cette action une deuxième fois en décomptant à rebours trois par trois en partant d'un chiffre entre 20 et 100 (Maranhão-Filho et al., 2011). Le temps était mesuré au chronomètre à partir du moment où il est demandé à la participante de partir jusqu'au moment où le dos était de nouveau en contact avec le dossier de la chaise. Les propriétés du TUG sont détaillées dans l'*Annexe 1*.

Confiance dans l'équilibre

L'échelle Activities-Specific Balance Confidence Scale (ABC scale, échelle de confiance dans l'équilibre selon les activités spécifiques en français) format court mesurait la confiance de la participante en son équilibre dans six activités précises de la vie quotidienne. Ces activités comprenaient le fait d'être sur les pointes de pied et atteindre une cible au-dessus de sa tête, être debout sur une chaise, être bousculée dans un centre commercial, prendre un escalier roulant avec la rampe, le prendre sans rampe avec les bras chargés et marcher sur un trottoir gelé (Peretz et al., 2006). La participante imaginait réaliser ces activités et notait la confiance dans l'équilibre entre 0 % de confiance et 100 % de confiance. Les différents scores étaient ensuite moyennés pour obtenir le score total (entre 0 % et 100 %). La version courte de six items est corrélée à la version longue ($0,78 \leq ICC \leq 0,88$) (Peretz et al., 2006). Sa cohérence interne est excellente (alpha de Cronbach entre 0,81 et 0,90) et sa sensibilité oscille entre 53 et 91 %, selon les populations (Peretz et al., 2006).

Qualité de vie

Le FACT-taxane est une variante du FACT/GOG-Ntx qui évalue la qualité de vie et les inquiétudes liées à la neurotoxicité (Cella et al., 2003). Le FACT-taxane comprend des questions supplémentaires dans la sous-partie neurotoxicité (Cella et al., 2003). Ainsi, au lieu de 44 points, cette partie comporte 64 points avec une emphase sur les répercussions des taxanes (extrémités gonflées, aspect des ongles, ...). Les participantes répondaient en fonction de leur ressenti des sept derniers jours entre 0, pas du tout et 4, beaucoup. Le score maximal était de 172 points. Ce test présente une excellente cohérence interne (alpha de Cronbach entre 0,84 et 0,88, *Annexe 1*) (Cella et al., 2003).

Sentiment de détresse

Le sentiment de détresse était évalué avec le distress thermometer (thermomètre de détresse, en français), un questionnaire validé en français qui présente une bonne fiabilité test-retest ($r = 0,80, p < 0,01$), une bonne sensibilité (83 %) et une spécificité modérée (68 %) (Donovan et al.,

2014; Tang et al., 2011). La participante remplissait le questionnaire avec un thérapeute en cochant son niveau de détresse des dernières semaines sur l'échelle de Likert (0 = pas de détresse à 10 = détresse maximale). Elle listait ensuite les problèmes d'ordre psychologique, physique, social ou spirituel pouvant être liés à cette détresse (Ownby, 2019).

CIPN

La sévérité de la CIPN était évaluée à l'aide du TNSm (*cf. Tableau 4*). La procédure du TNSm est décrite dans l'**Étude 1**. Seules les divergences sont décrites ci-dessous.

Ainsi, pour cette étude, la sensibilité superficielle était évaluée à l'aide d'un monofilament de Semmes-Weinstein de 5,07/10g (Aesthesio, San José, USA), comme recommandé dans la méta-analyse de Feng et al. (2009) (Feng et al., 2009). La face plantaire des deux hallux était testée (Feng et al., 2009). En cas d'hyposensibilité détectée, l'évaluation était complétée par la face dorsale de l'articulation interphalangienne de l'hallux, la malléole interne, puis la rotule puis la pulpe de l'index pour le membre supérieur, la face dorsale de la main sur l'interphalangienne distale de l'index, la tête de l'ulna et la face antérieure du coude. La participante devait indiquer si elle sentait cette stimulation (Smith et al., 2010). Les tests étaient conduits de façon distale à proximale (Smith et al., 2010).

Pour quantifier la force musculaire, la force de préhension était mesurée à l'aide d'un dynamomètre hydraulique. Le dispositif Camry était employé. Celui-ci est validé comparé au Jamar ($0,94 \leq ICC \leq 0,95$) (Andrade et al., 2023; Lupton-Smith et al., 2022) et sa fiabilité test-retest est excellente ($ICC \geq 0,91$) (Mani et al., 2019). Le test était réalisé assis, le coude fléchi à 90 degrés, les avant-bras en position neutre et les poignets entre 0 et 30 degrés d'extension (Roberts et al., 2011). Trois essais étaient réalisés sur chaque main (L. Huang et al., 2022; Ordan et al., 2018) et le meilleur essai de chaque côté était retenu (Lupton-Smith et al., 2022).

Paramètre de fidélité : adhésion au programme

Afin d'évaluer la participation aux sessions d'exercices, différentes variables étaient enregistrées. Il s'agissait du pourcentage de participation aux sessions (sessions réalisées / (nombre de sessions total – données manquantes)), du pourcentage de participation à intensité recommandée ($> 2/5$), ainsi que du contenu des sessions (nombre et type d'exercice réalisé).

De plus, toute interruption du programme -étant définie par une non-participation dès trois sessions d'affilée (Nilsen et al., 2018)- était notée. Ainsi, le nombre (n), la durée (jours) et la raison des interruptions (effets secondaires sur la sphère physique liés au traitement (nausées, douleurs, CIPN, ...), effets secondaires sur la sphère psycho-sociale (fatigue, contrainte mentale, détresse, ...), autre effets secondaires (hospitalisation, ...), contrainte de temps, de

motivation, organisationnelle ou autre) était inscrite. Il était également notifié si la personne arrêta le programme (interruption permanente).

Pour connaître la participation au programme, les participantes étaient amenées à inscrire dans un carnet les exercices réalisés chaque jour, la difficulté ressentie par exercice et toute autre impression (fatigue, autre effet secondaire, aléa, ...). De plus, l'investigatrice qui suivait les différentes participantes les contactait par téléphone de façon hebdomadaire et collectait les informations principales liées à l'adhésion (interruption temporaire, permanente).

Satisfaction des participantes envers le programme

Les participantes indiquaient leur satisfaction envers le programme à l'aide d'un questionnaire créé pour cette étude (*Annexe 14*). Celui-ci comprenait des questions ouvertes et fermées à propos de la satisfaction du contenu du programme, des modalités de celui-ci, du suivi, du sentiment de sécurité durant le programme ainsi que des bénéfices potentiels sur la santé, le moral et les activités de la vie quotidienne.

Par ailleurs, des questions sur les intentions de poursuivre une forme d'activité physique après et sur les habitudes de pratique d'activité physique complétaient le questionnaire.

Les participantes étaient également recontactées entre une et deux semaines après la fin de l'étude pour connaître leurs impressions sur le programme. Des entretiens semi-dirigés par téléphone, d'une durée de 10 min, ont été conduits par l'investigatrice de l'étude. Pour cela, un guide d'entretien structuré avait été réalisé au préalable (*Annexe 15*). L'objectif était de comprendre la perception et le sentiment des participantes face au programme. Une approche subjective avec méthodologie en phénoménologie a ainsi été adoptée (Schoeb, 2012). Les valeurs et croyances de l'investigatrice ayant mené les entretiens comprenaient les bienfaits, de manière générale, des soins de support et de l'activité physique sur le bien-être physique et psycho-social. La liste de contrôle du Joanna Briggs Institute pour les études qualitatives a été utilisée (Lockwood et al., 2015).

Analyses statistiques

Calcul de la taille d'échantillon

Le nombre de participantes a été fixé à trois selon l'étude de Krasny-Pacini et al. (2018) qui recommande, pour ce design SCED et ce domaine, d'évaluer trois participantes (Krasny-Pacini & Evans, 2018).

Données quantitatives

Traitement et analyse des données

Le traitement initial des données quantitatives a été réalisé séparément pour chaque session de tests. Pour les tests de contrôle postural, la moyenne des deux essais par condition a été calculée. De même, les deux essais du test de marche de 10 m étaient moyennés pour les conditions : vitesse naturelle, rapide et en DT.

Les scores des questionnaires ABC scale, Chalder, FACT-taxane ainsi que le TNSm étaient calculés selon les méthodes présentées précédemment.

En cas de données manquantes, les données précédemment collectées étaient considérées (autres essais du test, *p. ex.*).

Statistiques descriptives

Les données démographiques, cliniques, celles relatives au mode de vie ainsi que les résultats des différents tests cliniques étaient décrits. Les variables qualitatives étaient exprimées en fréquence, tandis que les variables continues étaient exprimées par la moyenne et l'écart-type.

Les résultats de chaque évaluation étaient décrits par participant et par condition d'évaluation (EO, EC, EOF, ECF). Les paramètres du CP étaient ainsi présentés, pour chaque participant, sous forme d'un graphique chronologique, avec en abscisse, la temporalité et en ordonnée, les changements du paramètre (Krasny-Pacini & Evans, 2018). L'analyse visuelle portait sur le niveau (moyenne) et la variabilité des données (Kratowill et al., 2010).

D'autres graphiques ont complété cette description :

- l'indice de variation en pourcentage (« *percentage change index* », en anglais) représentait le taux de variation des moyennes entre les deux phases ;
- la stabilité de la ligne de tendance (« *trend stability* », en anglais) permettait de s'assurer que la ligne de tendance était représentative des données de la participante. Pour que l'indicateur visuel soit pertinent, il fallait que 80 % des points se situent entre les lignes de tendances de la phase d'observation (Krasny-Pacini & Evans, 2018) ;
- les deux écarts-types correspondaient à la variabilité des données autour de la moyenne (Krasny-Pacini & Evans, 2018). Pour démontrer un effet de l'intervention, il fallait qu'au moins deux mesures consécutives de la phase intervention dépassent les lignes des deux écarts-types de la phase d'observation, projetée en phase d'intervention ;
- le double critère mettait en évidence la moyenne et la ligne de tendance de la phase d'observation, projetées en phase d'intervention (Krasny-Pacini & Evans, 2018). Un

maximum de points de la phase d'intervention devait strictement dépasser la ligne de niveau et de tendance de la ligne de base projetées en phase d'intervention pour qu'un effet de l'intervention soit considéré. L'objectif de ce graphique était de réduire le risque d'erreur de type I soit le risque de rejeter l'hypothèse nulle alors qu'elle est vraie.

Statistiques inférentielles

Après avoir réalisé une analyse visuelle pour chaque variable, un calcul de la taille de l'effet était réalisé en effectuant un calcul du Tau ou du Tau avec phase d'observation corrigée (BC-Tau, « *baseline corrected Tau* », en anglais) (J. B. Lee & Cherney, 2018). Le choix du Tau ou BC-Tau était défini en fonction de la monotonie lors de la phase d'observation (« *baseline trend* », en anglais). La monotonie correspond au nombre de mesures de la phase d'observation qui s'écarte de manière constante et unidirectionnelle des mesures précédentes de la même phase (Manolov & Tanious, 2024). En cas de monotonie ($p < 0,05$), un BC-Tau était utilisé alors qu'un Tau était choisi si la phase d'observation n'était pas monotone ($p > 0,05$). Le calcul du Tau permettait d'évaluer la force et la direction des tendances entre les phases d'observation et d'intervention (Brossart et al., 2018). La valeur du Tau (entre -1 et 1) caractérisait la taille de l'effet du traitement (Fingerhut et al., 2021; Nikles & Mitchell, 2015). Plus le Tau approchait -1 ou 1, plus la taille de l'effet était importante. Pour compléter le Tau, un calcul du « *non-overlap of all pairs* », en anglais ou NAP était réalisé. Ce dernier est une technique non paramétrique mesurant le non-chevauchement entre les deux phases (Fingerhut et al., 2021). Il n'inclut pas la tendance. Plus sa valeur en pourcentage est importante, moins il y a de chevauchement entre les points, ce qui représente un effet du traitement conséquent. Si le NAP était compris entre 0 et 31 %, l'effet de la rééducation était considéré comme « faible », entre 32 % et 84 %, « modéré » et à partir de 85 %, « important » (Parker & Vannest, 2009). Cet indicateur est recommandé en complément du Tau et en cas de grandes variabilités des données (Fingerhut et al., 2021; Manolov & Tanious, 2024).

Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme significative.

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de différents logiciels. Stata V.15 (StataCorp, Texas, États-Unis, 2017) était employé pour réaliser l'évolution graphique des paramètres en fonction du temps. Les sites de Manolov en ligne étaient utilisés pour les graphiques sur l'indice de variation en pourcentage, la stabilité de la ligne de tendance, les deux écart-types et le double critère (Manolov, s. d.-b, s. d.-a). Ensuite, R V.4.4.0 (R Core Team, 2024), RStudio (Posit Team, 2024) et le package d'analyse (Wilbert & Lücke, 2023) ainsi que le calculateur en ligne de K. R. Tarlow (Tarlow, 2016) permettaient de calculer les Taus et les BC-Taus,

respectivement selon les méthodes de Parker et Tarlow. Enfin, R (R Core Team, 2024), RStudio (Posit Team, 2024), et le package d'analyse (Wilbert & Lücke, 2023) étaient également utilisés pour le calcul du NAP.

Aucune statistique inférentielle n'a été utilisée pour les objectifs secondaires étant donné le nombre restreint de données.

Entretiens

Traitement et analyse des données

Pour les données qualitatives des entretiens téléphoniques, tous les propos étaient retranscrits y compris les erreurs, les lapsus, les onomatopées, *etc.* (Rioufreyt, 2016). Une approche thématique a ensuite été réalisée pour l'analyse des données (Braun & Clarke, 2006). Cette méthode s'appuie sur la familiarisation avec les données, la génération de codes, la recherche de thème, l'examen et la définition de ceux-ci puis la production d'un rapport (Braun & Clarke, 2006).

Audit

Une investigatrice de l'étude était présente lors des évaluations longues afin de s'assurer que l'étude était menée conformément au protocole, aux procédures et aux règlements applicables.

Résultats

Participant·es

La phase d'inclusion s'est déroulée de mai 2023 à octobre 2023 et la phase expérimentale de juillet 2023 à janvier 2024. Sur les quatre patientes approchées, une a refusé de participer pour cause de fatigue liée aux nombreux rendez-vous et examens.

Trois patientes ont donc participé à l'étude et deux aux entretiens individuels de fin de programme (participant·es 2 et 3). Les caractéristiques des trois participant·es sont rassemblées dans le **Tableau 16**. Les patientes étaient atteintes d'un cancer du sein triple négatif, sans métastases connues. Elles suivaient un protocole de 12 paclitaxel hebdomadaires associés à des carboplatine et du pembrolizumab.

Caractéristiques des participant·es			
	Participant·e 1	Participant·e 2	Participant·e 3
Caractéristiques			
Age (années)	29	56	50
Taille (cm)	171	168	162

Poids (Kg)	66	68	54
IMC (Kg/m²)	22,31	24,09	20,58
Antécédents	Non	HTA	Non
Comorbidités	Non	HTA	Non
Classification TNM	T2N3M0	T3N0M0	T2N2M0
Stade UICC	IIIC	IIB	IIIA
Modification du traitement	Non	Oui	Non
Tabac			
A déjà fumé	Oui	Non	Non
Fumeur actuellement	Non	Non	Non
Unités paquet-année	0	0	0
Alcool pré-phase observation			
Consommation (nb verre / semaine)	0	0	2,5
Alcool post-phase observation			
Consommation (nb verre / semaine)	0	0	1
Alcool post-phase intervention			
Consommation (nb verre / semaine)	0	0	1
Activité physique pré-phase observation			
De 3 à 6 MET (heure / semaine)	4,50	3	4
Au-delà de 6 MET (heure / semaine)	0	0	0
Type d'activité	marche	marche	marche
Activité physique post-phase observation			
De 3 à 6 MET (heure / semaine)	3,50	4,75	2
Au-delà de 6 MET (heure / semaine)	0	0	0
Type d'activité	marche	vélo	marche
Activité physique post-phase intervention			
De 3 à 6 MET (heure / semaine)	3,50	1	1,5
Au-delà de 6 MET (heure / semaine)	0	0	0
Type d'activité	marche	marche	marche

Tableau 16. Caractéristiques des participantes de l'étude SCED, HTA = hypertension artérielle, MET = équivalent métabolique, TNM = tumeur, ganglion lymphatique, métastase, SCED = single case experimental design, UICC = union internationale contre le cancer

La première et la troisième participante ont réalisé sept semaines d'observation préprogramme puis cinq semaines d'intervention. La deuxième avait cinq semaines d'observation puis cinq semaines d'intervention et deux semaines de suivi, post programme. Le programme s'est déroulé sans encombre, aucun événement indésirable n'est à signaler.

Le traitement chimiothérapeutique d'une participante a été décalé d'une semaine pour cause de thrombopénie. Tous les autres traitements se sont déroulés comme prévu initialement.

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur l'équilibre quasi-statique dans différentes conditions

Paramètre longueur totale

Pour toutes les conditions, la stabilité de la ligne de tendance était confirmée. La ligne de tendance était donc représentative des données des participantes (Krasny-Pacini & Evans, 2018).

En condition EO, les différences entre les phases d'observation et de traitement des trois participantes étaient de respectivement 5,31, 0,20 et 5,43 mm (**Figure 13**). La différence entre

la phase d'intervention et de suivi pour la deuxième participante était de 36,15 mm. Les indices de variation de chaque participante étaient 2,08 %, 0,08 % et 2,25 %. Aucune monotonie n'a été repérée ($p \geq 0,46$), l'hypothèse nulle d'une phase d'observation stable n'a donc pas été rejetée. Les Taus non corrigés étaient non significatifs ($p \geq 0,55$, **Tableau 17**). Les NAP l'étaient également ($p \geq 0,46$).

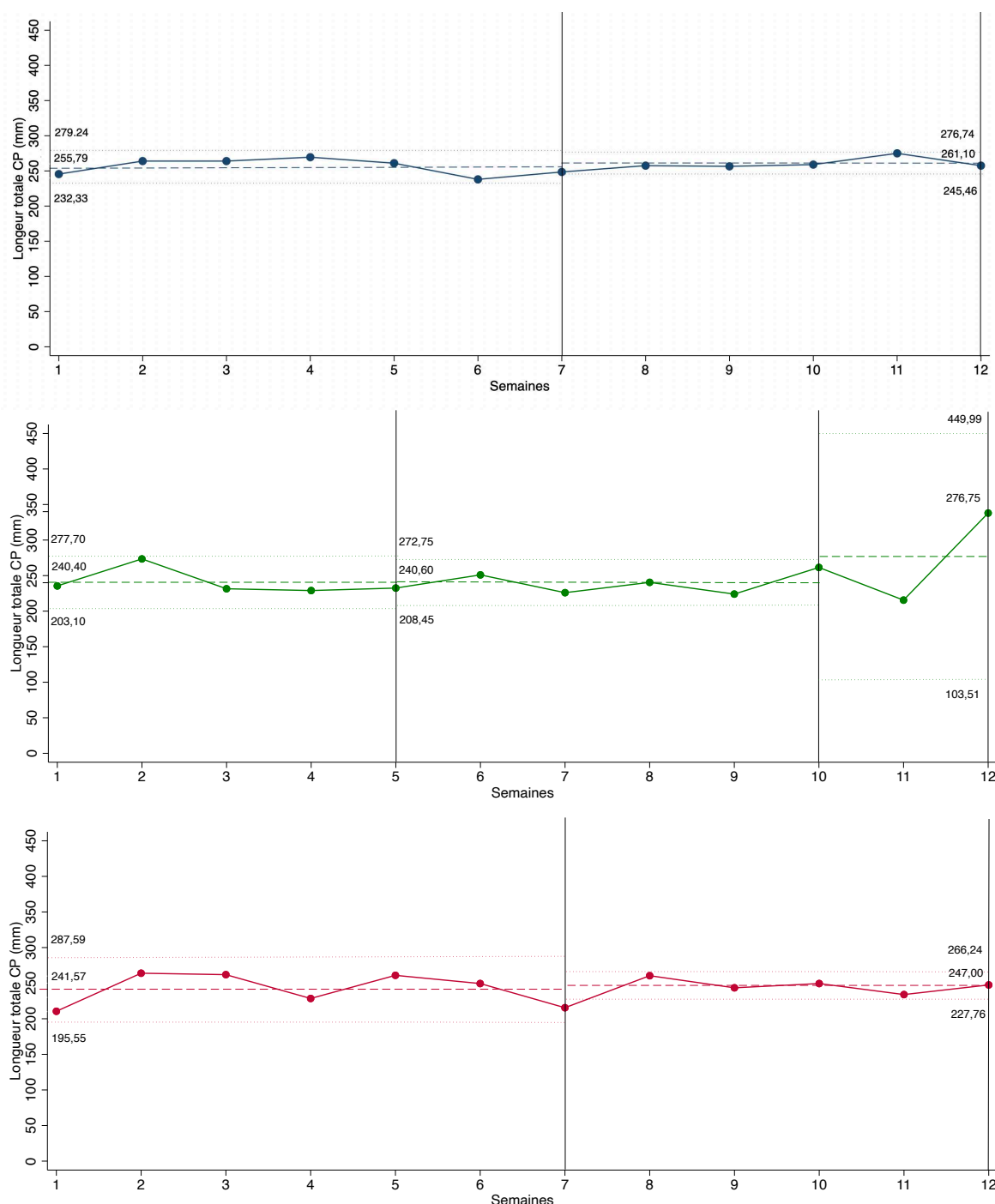


Figure 13. Évolution du contrôle postural par semaine en condition EO chez les trois participantes. En pointillé : variabilité (deux écart-types), en traitillé : moyenne de la phase. EO = yeux ouverts

	Tendance de la phase d'observat ion (baseline trend)	Valeur <i>p</i>	Tau R. Parker	Valeur <i>p</i>	Tau K. Tarlow	Valeur <i>p</i>	Tau phase d'observati on corrigée K. Tarlow (baseline corrected Tau)	Valeur <i>p</i>	NAP	Valeur <i>p</i>
Condition yeux ouverts sur sol rigide (EO)										
Participant 1	-0,20	0,649	0,09	0,81	-0,06	0,871	NA	NA	0,46	0,62
Participant 2	-0,40	0,462	-0,04	0,92	-0,03	1,000	NA	NA	0,52	0,50
Participant 3	-0,24	0,548	-0,06	0,87	-0,04	0,935	NA	NA	0,53	0,46
Condition yeux fermés sur sol rigide (EC)										
Participant 1	0,05	1,000	0,14	0,68	0,10	0,745	NA	NA	0,43	0,68
Participant 2	-0,20	0,806	-0,68	0,08	-0,51	0,095	NA	NA	0,84	< 0,05
Participant 3	-0,14	0,764	0,31	0,37	0,23	0,417	NA	NA	0,34	0,83
Condition yeux ouverts sur sol mousse (EOF)										
Participant 1	-0,52	0,133	0,03	0,94	0,02	1,000	NA	NA	0,49	0,56
Participant 2	0,20	0,806	-0,12	0,75	-0,09	0,835	NA	NA	0,56	0,41
Participant 3	-0,20	0,649	-0,03	0,94	-0,02	1,000	NA	NA	0,51	0,50
Condition yeux fermés sur sol mousse (ECF)										
Participant 1	-0,14	0,764	-0,60	0,09	-0,44	0,104	NA	NA	0,80	0,05
Participant 2	-0,40	0,462	0,12	0,75	0,09	0,835	NA	NA	0,44	0,66
Participant 3	-0,71	0,035	-0,60	0,09	-0,71	0,035	-0,44	0,104	0,80	0,05

Tableau 17. Résultats de la tendance et des Taus du paramètre de longueur totale accompagnés des valeurs *p* dans les différentes conditions. EO = yeux ouverts, EC = yeux fermés, F = mousse, NA = non applicable, NAP = nonoverlap of all pairs, en gras: valeur $p < 0,05$

En condition EC, les différences entre les phases d'observation et d'intervention étaient de 2,37, -37,30 et 10,46 mm (**Figure 14**). La phase de suivi de la participante 2 différait de 28,80 mm par rapport à la phase d'intervention. Les indices de variation s'élevaient à 0,68 %, -11,12 % et 3,74 %, respectivement pour chaque participante. Les Taus utilisés étaient tous des Taus sans corrections sur la phase d'observation ($p \geq 0,76$) et étaient non-significatifs ($p \geq 0,08$, **Tableau 17**). Seul le NAP de la deuxième participante indiquait un effet modéré de l'intervention (NAP = 0,84, $p < 0,05$). Les autres NAP étaient non significatifs ($p \geq 0,68$).

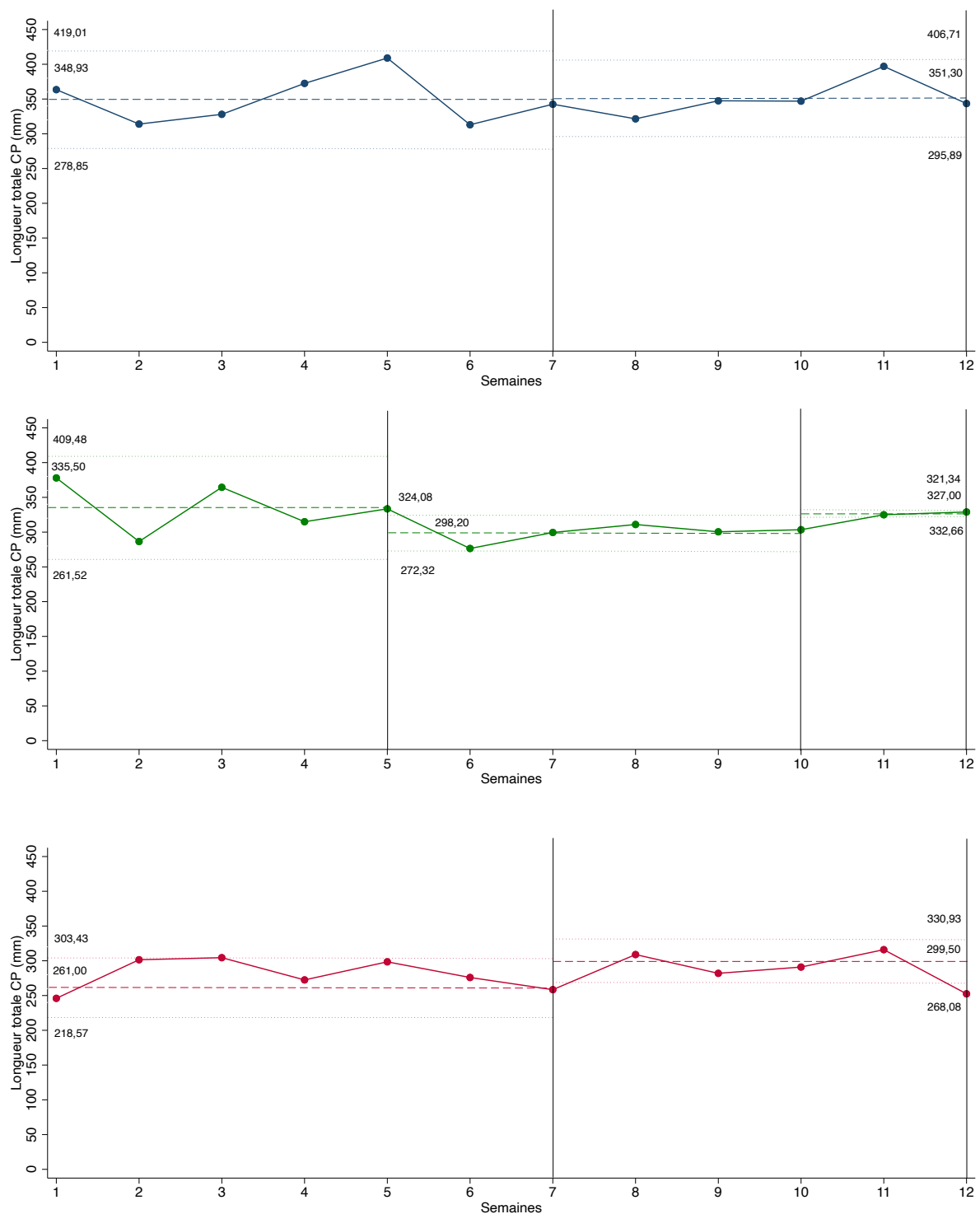


Figure 14. Évolution du contrôle postural par semaine en condition EC chez les trois participants. En pointillé : variabilité (deux écart-types), en traitillé : moyenne de la phase. EC = yeux fermés

En condition EOF, les trois participants ont démontré des différences entre les deux phases de -13,40, -4,70 et -5,00 mm (**Figure 15**). La différence entre la phase de suivi et la phase d'intervention était de -19,5 mm pour la deuxième participante. Les indices de variation s'élevaient à -2,96 %, -4,09 % et -1,11 %. Sans monotonie de la phase d'observation ($p \geq 0,13$),

les Taus n'étaient pas corrigés sur la phase d'observation. Ces derniers étaient tous non significatifs $p \geq 0,75$). Les NAP étaient également non significatifs ($p \geq 0,41$).

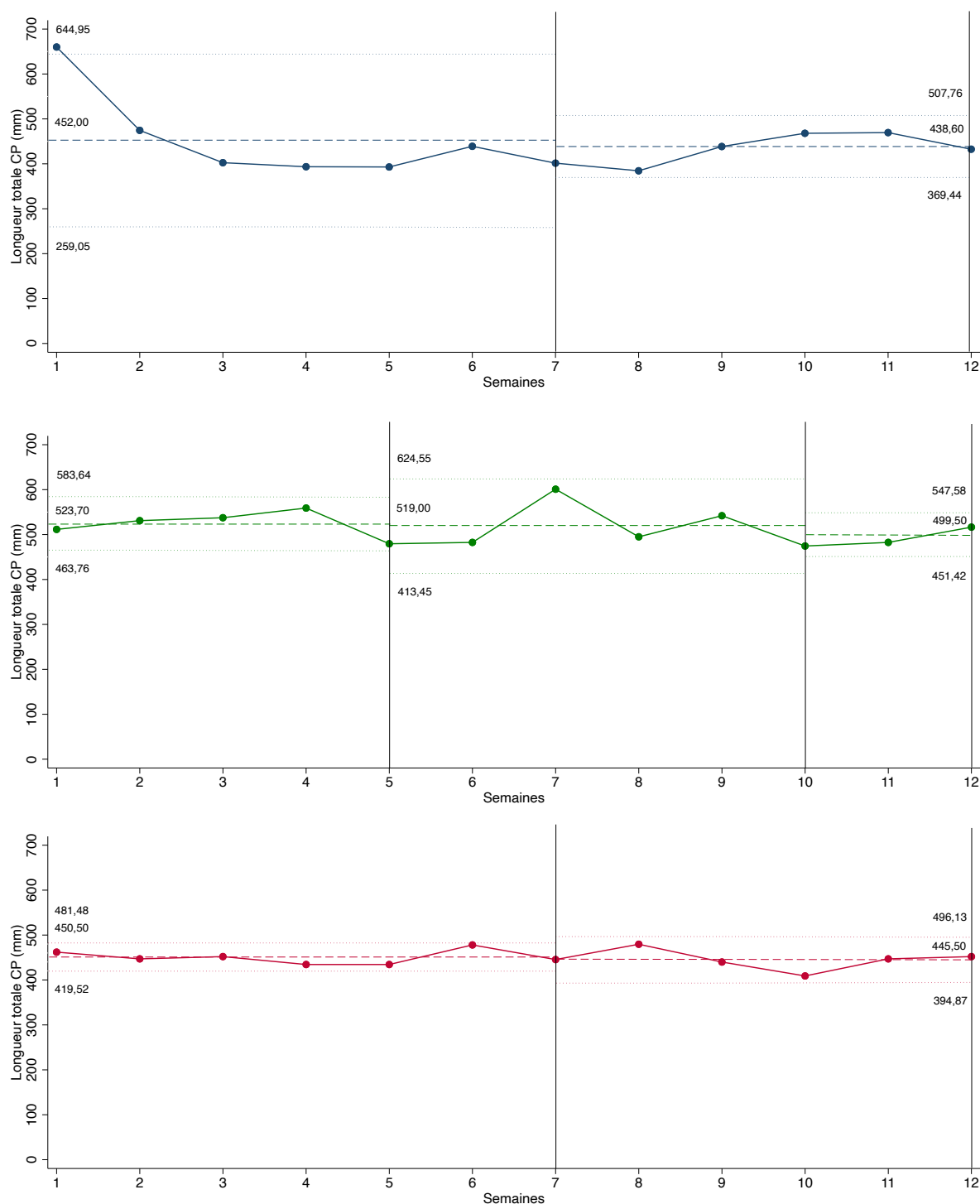


Figure 15. Évolution du contrôle postural par semaine en condition EOF chez les trois participantes. En pointillé : variabilité (deux écart-types), en traitillé : moyenne de la phase. EOF = yeux ouverts sur mousse

En condition ECF, les phases d'intervention différaient de -105,94, 23,10 et -61,47 mm des phases d'observation (**Figure 16**). La différence entre la phase de suivi et la phase

d'intervention de la deuxième participante était de 110,45 mm. Les indices de variation de chaque participante étaient -9,81 %, 2,37 % et -6,66 %. Alors que les Taus des deux premières participantes n'ont pas dû être corrigés sur la phase d'observation ($p \geq 0,46$), celui de la troisième participante a été corrigé car l'hypothèse nulle de la stabilité de la phase d'observation a été rejetée ($p = 0,04$). Les Taus des deux premières participantes n'étaient pas significatifs ($p \geq 0,09$) alors que celui de la troisième participante l'était avec la méthode de calcul de K. Tarlow ($p = 0,04$) mais pas avec celle de R. Parker ($p = 0,09$). Les NAP étaient non-significatifs pour toutes les participantes ($p \geq 0,05$).

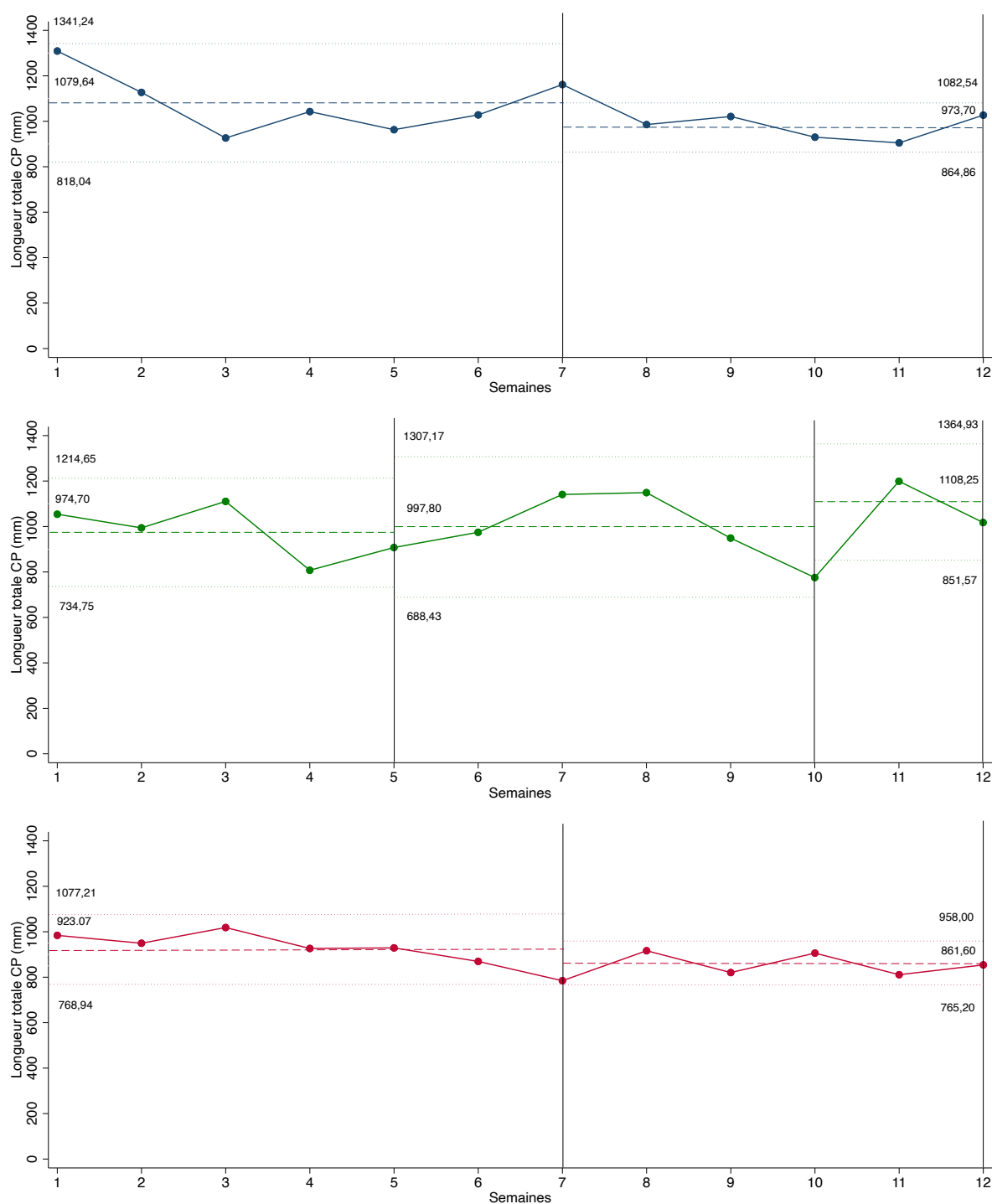


Figure 16. Évolution du contrôle postural par semaine en condition ECF chez les trois participantes. En pointillé : variabilité (deux écart-types), en traitillé : moyenne de la phase. ECF = yeux fermés sur mousse

Selon les graphiques des deux écart-types et du double critère, aucun effet de l'intervention n'a été observé, excepté pour la condition EC de la deuxième participante (*Annexe 16*).

Paramètre de longueur antérieure

Des résultats similaires ont été obtenus pour la longueur du CP antérieure. Les résultats des Taus et NAP pour ce paramètre sont détaillés en annexe (*Annexe 17*).

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur la fatigue

Une augmentation des symptômes de fatigue, autant physique que mentale, a été observée chez les trois participantes au fil des évaluations (*Tableau 18*).

Fatigue						
	Symptômes	Pré-phase observation	Mi-phase observation	Fin phase observation	Mi-phase intervention	Fin phase intervention
Participante 1	Physiques (/21)	12	12	15	16	19
	Mentaux (/12)	5	4	7	9	9
Participante 2	Physiques (/21)	7	7	7	13	11
	Mentaux (/12)	4	4	4	4	4
Participante 3	Physiques (/21)	7	7	11	11	14
	Mentaux (/12)	4	5	4	4	6

Tableau 18. Évolution de la fatigue aux cinq temps de mesure

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur l'équilibre quasi-statique en condition DT

En condition DT, la longueur totale du CP évoluait pour la première participante de 411,50 mm pré-phase d'observation à 311,50 mm post phase d'observation puis 418,00 mm post phase d'intervention. La longueur totale du CP de la deuxième participante évoluait de 295,00 mm à 273,50 mm puis 300,00 mm et celle de la troisième participante de 276,50 mm à 282,50 mm puis 295,50 mm. Ainsi, après une amélioration du déplacement total du CP chez deux des trois participantes post phase d'observation, le déplacement total était augmenté après l'intervention chez toutes les participantes.

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur les paramètres spatio-temporels de la marche

La première participante a démontré majoritairement une dégradation progressive des paramètres de marche au fil des semaines (*cf. Annexe 18 pour les détails*). Les deux autres participantes avaient des paramètres de marche principalement altérés après la phase d'observation, à l'exception de la condition vitesse rapide pour la participante 2 et vitesse confortable pour la participante 3. Après la phase d'intervention, les paramètres étaient améliorés (*Annexe 18*). Un problème avec les capteurs a entraîné des données manquantes au test de marche rapide post intervention de la troisième participante.

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur la marche avec transferts

Alors que chez les deux premières participantes, le temps au TUG était légèrement amélioré après la phase d'observation (-0,01 et -0,26 s) et détérioré après l'intervention (+0,13 et +0,57 s), il était continuellement amélioré chez la troisième participante (-2,02 et -0,22 s).

Concernant le TUG en DT, différents résultats ont été observés avec une détérioration (+1,69 s) puis amélioration (-0,17 s) chez la participante 1, une amélioration (-4,63 s) puis détérioration (+0,57 s) chez la deuxième participante et une amélioration continue chez la troisième participante (-0,94 et -2,06 s).

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur la confiance dans l'équilibre

L'auto-évaluation de la confiance dans l'équilibre cotée initialement à 93,33 %, 71,67 % et 93,30 % était diminuée chez les deux premières participantes après la phase d'observation (-26,66 % et -1,67 %). Elle était améliorée après l'intervention (+13,33 % et +17 %) chez ces deux participantes tandis qu'elle était améliorée chez la troisième participante après la phase d'observation (+5 %) et diminuée après l'intervention (-11,63 %).

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur la qualité de vie et les inquiétudes liées à la neurotoxicité

Le score total du FACT-taxane était diminué au fil des semaines chez les trois participantes, à l'exception de l'évaluation post-phase d'observation chez la participante 2 (*Annexe 19*).

Le score de la sous-partie sur la neurotoxicité était stable ou péjoré après la phase d'observation et également après l'intervention.

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur le sentiment de détresse

Le sentiment de détresse coté respectivement à 3/10, 1/10 et 6/10 était stable après la phase d'observation pour toutes les participantes puis augmentait chez la première (5/10) et la troisième participante (7/10) alors qu'il diminuait pour la deuxième (0/10).

Évaluation de l'effet du programme d'exercices sensorimoteurs sur la CIPN

Les trois participantes avaient un score nul au TNSm avant la phase d'observation. Ce score a évolué à 4/24, 6/24 et 1/24 pour les trois participantes après la phase d'observation et 4/24, 7/24 et 2/24 après l'intervention, démontrant une augmentation du score de la CIPN tout en restant de sévérité 1. Le détail des scores obtenus se trouve en annexe (*Annexe 19*).

Adhésion au programme

Les informations relatives aux taux de participation et interruptions du programme se trouvent dans le **Tableau 19**. En moyenne, les participantes ont réalisé cinq exercices quotidiennement, comme suggéré. Certaines participantes ont réalisé plusieurs fois un même type d'exercice (*p. ex.*, répétition des exercices yeux fermés). Le niveau d'intensité des exercices était plus bas que celui recommandé soit modéré à un peu difficile (3-4/5). Deux participantes ont réalisé des interruptions temporaires (au-delà de trois jours d'affilée) pour des raisons majoritairement d'effets secondaires de la chimiothérapie sur la sphère physique (état fébrile, *p. ex.*).

Adhésion au programme			
	Participant 1	Participant 2	Participant 3
Taux de participation (%)	80	100	66
Taux de participation à intensité > 2 / 5 (%)	20	62	3
Interruption temporaire (n)	2	0	1
Durée moyenne des interruptions (jours)	3,5	0	5
Interruption permanente (n)	0	0	0

Tableau 19. Adhésion au programme pour les trois participantes

Satisfaction des participantes envers le programme

Les participantes étaient satisfaites des modalités du programme (scores à 4/4, 3,78/4 et 3,40/4). Elles se sont senties en sécurité et pensaient toutes poursuivre une activité physique à la fin du programme. Les verbatims liés à la motivation de poursuivre une activité physique étaient : « car cela m'aide à avoir un petit temps pour moi » et « cela me fait du bien, pour mon bien-être physique mais surtout psychologique », la deuxième participante n'a pas répondu à la question.

En termes de préférence de pratique d'activité physique, celles-ci différaient entre « seule » pour la première participante, « peu importe » pour la deuxième et « en groupe » pour la troisième. Le besoin d'encadrement différait également entre « pas besoin », « oui » et « pas systématiquement ».

Enfin, les bénéfices du programme ressentis sur la santé, le moral et les activités de la vie quotidienne sont détaillés dans le *Tableau 20*.

Satisfaction envers le programme			
Bénéfices	Participante 1	Participante 2	Participante 3
Santé	3	4	2
Moral	3	4	3
AVQ	2	4	2

Tableau 20. Bénéfices ressentis sur la santé en général, le moral et les activités de la vie quotidienne (score sur 4 points). AVQ = activités de la vie quotidienne. 1 = Non, 2 = Moyennement, 3 = Plutôt oui, 4 = Oui

Concernant les entretiens individuels, trois thèmes ont émergé des propos des deux participantes : 1) les répercussions de la chimiothérapie, 2) les effets du programme et 3) la réalisation du programme (*Annexe 20*).

Les répercussions de la chimiothérapie

Les répercussions physiques de la chimiothérapie différaient d'une personne à l'autre. Alors qu'une participante décrivait des troubles sensorimoteurs survenus sur la fin du programme, la deuxième n'en avait pas ressentis.

« Parce que vraiment là au niveau des pieds, des doigts c'est pas ça en ce moment en tout cas (...) j'ai des douleurs, vraiment des fourmillements et je marche un peu comme un canard là. » (Part02)

« J'avais pas forcément l'impression ni d'avoir de perte d'équilibre ni d'avoir de perte de sensibilité aux extrémités que ce soit les mains ou les pieds. » (Part03)

D'autres préoccupations telles que des douleurs, de la fatigue, de la fièvre ou encore des difficultés d'ordre dermatologique et esthétique ont également été énoncées.

Les effets du programme

Les participantes ont peu ressenti d'effets du programme sur la sphère physique, en raison notamment du fait qu'elles n'ont pas senti de difficultés en lien durant le programme.

« J'ai pas eu l'impression de ressentir trop les effets secondaires dont vous m'aviez parlé qui étaient du coup liés à ce programme-là donc... donc c'est vrai que du coup c'était difficile de d'évaluer si ça m'apportait quelque chose ou pas en fait. » (Part03)
« Du coup je me rends pas compte si le programme a vraiment contribué à les limiter, à les éviter ou pas en fait. » (Part03)

En revanche, des bienfaits ont été ressentis au niveau de la sphère psycho-sociale. Une participante a évoqué le fait de pouvoir s'évader de la maladie avec le programme.

« Avoir eu cette possibilité, ça permet de s'évader. » (Part02)
« Ça m'a permis d'être dans un courant de vie normal en quelques sortes pour moi. » (Part02)
« Franchement, moi ça m'a sortie un peu de la maladie. » (Part02)
« J'ai eu des moments franchement, j'ai eu des moments de détente (...) Je me suis détendue, je me suis évadée, j'ai passé à autre chose. Et voilà, ça me faisait du bien. » (Part02)

Les deux participantes ont souligné l'importance du contact humain et de l'attention portée dans cette période de maladie.

« Ça m'a été bénéfique pour moi moralement et encourageant cette attention et ça m'a motivée. » (Part02)
« Mais c'est un bienfait qui est vraiment, enfin qui m'a été réellement agréable. Vraiment pour moi personnellement, ce contact, ces échanges, cette attention, c'est quelque chose pour moi, ça a été positif, vraiment positif. Donc ça ne m'a pas dérangée, aucunement. Au contraire, j'en ai pris du plaisir en fait. C'est toujours important ce contact humain. Et on a besoin de cette attention, surtout dans cette situation, dans cette traversée. » (Part02)
« Voilà qui nous demande, comment ça va, comment s'est passée la semaine, que vous m'appeliez dans la semaine. (...) De sentir qu'on avait quand même cet accompagnement-là. » (Part03)

Une participante a relevé les bienfaits d'avoir eu un accompagnement par un nombre restreint de personnes.

« Parce que j'ai bien aimé, tellement agréable, c'était malgré tout, d'avoir ce rendez-vous le vendredi avant la chimio et puis de revoir, toujours une tête connue quoi. » (Part03)

« Agréable aussi d'avoir à chaque fois quelqu'un dont on a l'habitude, on nous revoit toutes les semaines ». (Part03)

Réalisation du programme

En termes d'organisation, les évaluations hebdomadaires n'ont pas occasionné de désagréments. Il était, en revanche, plus difficile de réaliser les exercices quotidiens :

« Il y a l'atmosphère familiale aussi avec ce qu'il y avait à faire, c'est avoir du temps. Parce que c'est pas seulement avoir du temps, mais aussi jumeler autant la concentration nécessaire pour le faire. » (Part02)

Le fait de travailler à côté était énoncé comme une difficulté supplémentaire pour une participante mais pas pour l'autre.

« L'idée de me dire tous les jours faut que je pense à faire les exercices comme je travaillais toute la journée, de les faire le soir et tout c'est vrai que j'ai trouvé ça difficile à tenir. » (Part03)

La baisse de motivation au long du programme a, en revanche, été évoquée par les deux participantes.

« Parce que moi, je me souviens, au début, j'étais quand même assez motivée et donc plus que motivée que maintenant quoi. Ça il faut le reconnaître. » (Part02)

« Je pense que la plus grosse difficulté, c'était quelque part de tenir sur la durée. » (Part03)

« Parce que c'est vrai qu'avec le traitement on commence à avoir une certaine fatigue qui s'accumule, une certaine lassitude qui s'accumule. (...) Et là plus ça avançait plus j'avais l'impression qu'en plus ça se combinait du coup avec une baisse de moral parce que j'ai l'impression que ça finissait jamais quoi. » (Part03)

En termes de capacités à réaliser le programme, les exercices étaient réalisables, celui ayant entraîné le plus de difficultés était la position tandem avec perturbation de la vision. Les capacités pouvaient varier d'un jour à l'autre. La nécessité d'une bonne concentration a été formulée par une participante.

Enfin, les participantes ont émis plusieurs suggestions d'amélioration du programme. La première suggérait de réaliser des rendez-vous en présentiel pour vérifier les exercices, notamment à la fin du programme. Elle conseillait également de mieux préciser les consignes

de certains exercices. La deuxième aurait souhaité avoir un jour de pause des exercices durant la semaine, *p. ex.*, le jour de la chimiothérapie.

« Peut-être ce serait bien de faire genre un jour de pause, peut-être le jour justement, où il y a la chimio. » (Part03)

« Voilà, mais ça m'aurait peut-être déculpabilisée de dire ben on a le droit à un jour de repos et ensuite on réattaque. » (Part03)

Discussion spécifique

Cette étude a permis de mettre en évidence un contrôle postural stable durant les différentes phases pour les trois participantes, dans les différentes conditions. Malgré une augmentation de la fatigue (paramètre contrôle), le contrôle postural évoluait peu, comme démontré par l'analyse visuelle graphique, les indices de variations bas, ainsi que les Taus et NAP non significatifs. Une tendance vers l'amélioration était observée pour la marche et la confiance dans l'équilibre après l'intervention mais pas pour les autres variables secondaires (marche avec transfert, sentiment de détresse et qualité de vie). La progression de la CIPN était moindre dans la phase d'intervention que dans celle d'observation. Un taux de participation important a été remarqué même si l'intensité des exercices n'atteignait pas toujours celle recommandée. Les participantes se montraient satisfaites du programme. Plus que les effets physiques, ce sont surtout les bienfaits sur la sphère psycho-sociale qui ont été évoqués dans les entretiens individuels. Des suggestions d'amélioration ont été émises.

Dans cette étude, le contrôle postural n'était pas diminué lors de la phase d'observation de cinq à sept semaines dans les différentes conditions. Au contraire, les tendances étaient plutôt à la stabilité (condition EO sol rigide) ou à l'amélioration (conditions EC et EO sur mousse). Ces résultats contrastent avec les études prospectives longitudinales existantes qui ont mis en évidence une diminution progressive du contrôle postural au fil des traitements chimiothérapeutiques et parfois, dès le premier cycle de la chimiothérapie (Monfort et al., 2016, 2017). Cette diminution des capacités de contrôle postural de 30 % par rapport au niveau initial était constatée en condition yeux fermés (Monfort et al., 2017). Dans l'étude réalisée, il est possible que la répétition des tests chaque semaine ait encouragé l'amélioration des paramètres par effet d'apprentissage et d'entraînement des tâches testées. En effet, les huit essais réalisés chaque semaine dans diverses conditions étaient plus exigeants que les deux essais sur sol rigide à chaque cycle, dans les études précédentes (Monfort et al., 2016, 2017). Un même effet d'entraînement avait été remarqué dans l'étude de Müller et al. (2021) en position semi-tandem,

considérée également comme exigeante (Müller, Kreutz, et al., 2021). Il est à noter que ces patientes débutaient par le protocole de taxanes et n'avaient donc pas eu de traitements antérieurs (chimiothérapie ou opération). Elles avaient donc potentiellement moins de troubles du contrôle postural initiaux.

Une fois l'intervention mise en place, le contrôle postural restait stable avec des indices de variations faibles. Ainsi, malgré l'augmentation de la fatigue, connue pour influencer négativement le contrôle postural (Wechsler et al., 2022) et l'apparition de symptômes et signes de CIPN, le contrôle postural évoluait peu. Comme vu précédemment, même si le lien entre CIPN et contrôle postural reste discuté (Y.-J. Wang et al., 2021; Wechsler et al., 2022), il est convenu que les déficits somatoproprioceptifs induits participent, au moins en partie, aux instabilités posturales liées à la chimiothérapie neurotoxique (Wechsler & Wood, 2021). De ce fait, l'intervention pourrait avoir eu un effet préventif sur les dégradations des stratégies de contrôle postural voire un effet positif sur certains indicateurs significatifs. Les effets positifs concernaient la deuxième participante dans la condition EC et la troisième participante dans la condition ECF, deux conditions connues pour être propices aux instabilités posturales (cf. *Étude 1*). Les effets du programme pourraient être liés à différents mécanismes (cf. **Chapitre 2. Introduction**) dont la diminution de l'hyperactivité cérébrale améliorant les mécanismes d'intéroception (Chung et al., 2022). De plus, la répétition d'exercices yeux fermés pourrait encourager l'utilisation des informations somatoproprioceptives pour le maintien du contrôle postural aux dépens des informations visuelles et vestibulaires (Chung et al., 2022). Cette repondération sensorielle pourrait modérer la stratégie de compensation par la vision observée dans la littérature (Müller et al., 2020) et l'*Étude 1*. Enfin, l'amélioration de la confiance dans l'équilibre, qui évoluait positivement chez deux participantes, pourrait également avoir contribué à la prévention des perturbations du contrôle postural.

Deux profils distincts semblaient se dégager. Le premier profil correspondait à un contrôle postural stable tout au long de la chimiothérapie, malgré un début de CIPN constaté après la phase d'observation. L'amélioration de la confiance des patientes dans l'équilibre et la prévention de l'aggravation des déficits somatosensoriels chimio-induits semblent avoir été les facteurs déterminants du maintien des capacités de contrôle postural. L'intervention pourrait ainsi avoir exercé un effet préventif sur le contrôle postural et la CIPN. Cet effet pourrait toutefois être réversible au vu des valeurs augmentées du CP durant la période de suivi chez une participante. Des exercices sensorimoteurs préventifs à domicile tout au long et au-delà de la chimiothérapie semblent donc indiqués pour ce profil.

Le deuxième profil était caractérisé par un contrôle postural stable, voire amélioré, à la suite de l'intervention, dans un contexte de dégradation de l'état psycho-émotionnel général, sans considération de CIPN. Une activité physique multimodale, potentiellement en groupe, pourrait être plus indiquée pour ce profil.

Toutefois, il est difficile d'attester assurément des effets du programme, dans la mesure où l'évolution naturelle du contrôle postural induit par la chimiothérapie ne peut être isolément analysée chez ces participantes. En effet, il ne peut être exclu que les participantes eussent présenté des paramètres de CP stables sans l'intervention réalisée, comme ce fut le cas durant la phase d'observation. Seule la dégradation concomitante du paramètre de contrôle et des CIPN, impactant tous deux le contrôle postural, laisse supposer un possible effet bénéfique du programme proposé.

Des études supplémentaires permettront de confirmer le potentiel d'un programme de soins de support sous forme d'exercices sensorimoteurs durant la chimiothérapie pour prévenir les troubles du contrôle postural après traitements neurotoxiques. Ces travaux compléteront les résultats prometteurs des quatre essais contrôlés randomisés existants (Bahar-Ozdemir et al., 2020; Streckmann, 2014; Streckmann et al., 2024; Vollmers et al., 2018).

Les travaux en méthodologie SCED apporteront spécifiquement une compréhension détaillée des réponses individuelles et des fluctuations précises des capacités au fil de la chimiothérapie (Epstein & Dallery, 2022). Ces connaissances sont précieuses pour proposer des prises en charge adaptées à chacune en termes de contenu et de période d'implémentation (Epstein & Dallery, 2022).

Par ailleurs, le suivi continu et rapproché permet de clarifier les adaptations à adopter selon les circonstances. Ainsi, cette étude a pu mettre en évidence que le volume d'exercices plutôt que le type d'exercice devrait être adapté par les physiothérapeutes lorsque les effets indésirables du cancer sont trop importants ou lorsque le quotidien (vie familiale ou professionnelle) devient trop prenant. Le ressenti des participantes au fur et à mesure du programme apporte, de surcroît, des informations précieuses pour l'optimisation du traitement.

Enfin, le fait d'inclure uniquement des populations avec un même diagnostic et un parcours thérapeutique identique facilite la compréhension des mécanismes pathophysiologiques propres à certaines caractéristiques cliniques ou à un agent neurotoxique précis. Dans le cas présent, l'étude de femmes, toutes de moins de 60 ans, traitées pour un cancer triple négatif, par un même protocole, sans autres traitements antérieurs, a facilité l'interprétation des résultats obtenus. Les futurs travaux permettront donc de confirmer les profils proposés dans cette étude

afin de développer des prises en charge en clinique adéquates, spécifiques et probantes pour chaque patiente.

Des études supplémentaires sont également requises pour évaluer l'effet d'un programme sur le schéma de marche. Les paramètres de marche étaient négativement impactés par la chimiothérapie chez les trois participantes, ce qui corrobore les résultats des études antérieures (A. B. Wang et al., 2021). Contrairement aux modèles pré-cliniques où les perturbations à la marche ne sont mises en évidence que tardivement car le schéma de marche doit être préservé le plus longtemps possible (Lopez-Garzon et al., 2023), les participantes démontraient des paramètres altérés dès la fin de la phase d'observation. La diminution de la vitesse de marche, de la cadence, de la longueur du pas et l'augmentation du temps en double appui à vitesses normale et rapide laissent supposer une marche plus précautionneuse (A. B. Wang et al., 2021). Cette modification de la marche pourrait résulter de troubles sensorimoteurs induits par la chimiothérapie (A. B. Wang et al., 2021). L'augmentation concomitante des CIPN et de la perte de confiance dans l'équilibre ainsi que l'altération des paramètres en situation de double tâche renforcent cette hypothèse. Toutefois, d'autres facteurs tels que la cognition n'ont pas été testés et ne sont pas à exclure (A. B. Wang et al., 2021).

Après la phase d'intervention, une tendance vers l'amélioration des paramètres était observée, rejoignant les résultats de l'étude de Schwenk et al. (2016) sur la vitesse de marche (Schwenk et al., 2016). D'autres études avec des échantillons plus importants sont nécessaires pour attester de l'effet d'un programme sensorimoteur sur ces paramètres.

En revanche, le TUG évoluait très peu et majoritairement en-dessous de la MCID fixée à 2,49 s chez des personnes âgées atteintes de cancer (Blackwood 2021) que ce soit durant la phase d'observation ou de traitement, en simple ou double tâche. Il est possible que ce résultat soit lié au fait que le programme ne ciblait pas les composantes de transferts mais uniquement de la marche.

Au contraire d'une évolution de CIPN le plus souvent graduellement croissante du premier cycle de taxanes à la fin de la chimiothérapie (Y.-J. Wang et al., 2021), une inflexion dans la progression de la CIPN a été observée. En effet, après une détérioration du score chez les participantes après la phase d'observation, le score au TNSm progressait dans une moindre mesure ou se stabilisait durant la phase d'intervention. Le programme pourrait avoir exercé un effet freinateur sur la progression de la CIPN. Comme vu précédemment, l'activité physique est bénéfique pour prévenir les symptômes et signes de la CIPN (*cf. Chapitre 2, Introduction*). Toutefois, l'effet d'un programme de prévention est difficile à déterminer étant donné le

contexte général d'aggravation progressive de la CIPN avec l'accumulation des doses de chimiothérapie (Park et al., 2022). Dans ce contexte, le programme pourrait avoir eu un effet positif.

Lorsque la CIPN était évaluée par la sous-échelle neurotoxicité du FACT-taxane, le score était continuellement péjoré et ne reflétait pas les résultats obtenus au TSNm. Comme soulevé dans la revue systématique de Park et al. (2022), les PROMs pourraient ne pas être suffisants pour indiquer des changements de signes et symptômes de CIPN dans les essais à visée préventive (Park et al., 2022).

Une autre sous-échelle du FACT-taxane, le FACT-G, était employée pour évaluer la qualité de vie. Contrairement aux précédents travaux ayant démontré une amélioration du score FACT-G grâce à une intervention d'activité physique chez des femmes atteintes de cancer du sein (Aune et al., 2022), une péjoration de la qualité de vie a été observée. Les modalités du programme ainsi que la période durant laquelle il était implémenté peuvent expliquer cette divergence. En effet, les programmes intégrant des activités de résistance et/ou d'endurance en sus des exercices sensorimoteurs occasionnent des effets plus importants sur la qualité de vie (Aune et al., 2022; Campbell et al., 2019). De même, un programme réalisé à la fin du premier traitement adjuvant paraît plus propice aux réductions du retentissement des effets secondaires du traitement sur la vie quotidienne (Aune et al., 2022).

Le sentiment de détresse n'évoluait pas non plus favorablement avec le programme. Pourtant, l'activité physique est connue pour ses bienfaits sur l'anxiété et les symptômes dépressifs mais plus particulièrement lorsqu'elle est composée de programmes supervisés d'endurance avec ou sans exercices de résistance (Campbell et al., 2019). Un programme intégrant ces modalités ou d'autres interventions, comme une prise en charge psychopédagogique de groupe axée sur les stratégies d'adaptation actives (Fillion et al., 2008), une intervention ciblant les perturbations du sommeil (Bortolato et al., 2017) ou des médecines complémentaires alternatives (méditation ou yoga) (Clark et al., 2012) pourraient être envisagées. Au vu des niveaux de sentiment de détresse élevé et très élevé relevés chez deux participantes ainsi que du risque de persistance dans le temps (Schwab & Visovsky, 2022), une intervention spécifique devrait être considérée (Hass et al., 2023).

Les participantes se sont montrées plutôt satisfaites à très satisfaites du programme. Plus que sur la sphère physique ou les activités de la vie quotidienne, les bienfaits ressentis portaient principalement sur la sphère psycho-sociale. Les participantes ont particulièrement apprécié

l'attention apportée et le fait d'avoir un accompagnement durant cette période de traitements. Une participante a évoqué le plaisir de pouvoir s'évader de la maladie un instant et retrouver un semblant de vie normale. En revanche, les deux participantes ont souligné la difficulté de maintenir la pratique d'exercices au fil des semaines. Même avec une durée quotidienne d'exercice courte, il n'était pas évident de dégager du temps de qualité pour le faire et les effets secondaires des traitements rendaient la pratique quotidienne plus complexe. Ainsi, la motivation avait tendance à diminuer au fil des traitements chez les deux participantes. Les contraintes de temps et la diminution de la motivation avaient également été signalées dans un précédent travail (Müller, Weiler, et al., 2021). Malgré ces difficultés, les taux de participation restaient passablement élevés. Pour encourager la motivation, le programme pourrait être adapté avec, par exemple, une pause lors des traitements chimiothérapeutiques, des exercices intégrés dans les loisirs des participantes, des rencontres en présentiel, des possibilités d'échanges entre participantes ou encore l'intégration des proches dans la démarche (*cf. Chapitre 2, Introduction*).

Limites

Le design choisi présentait de nombreux avantages (population spécifique, prise en compte de l'hétérogénéité, multiples évaluations, haut niveau de preuve) mais également des inconvénients. Les SCED sont communément utilisées pour des affections chroniques stables afin d'établir l'effet d'une intervention (Nikles et al., 2022). Le contexte de détérioration progressive des sphères physique, cognitive et psycho-sociale des personnes atteintes de cancer sous traitement a rendu plus difficile la possibilité de tirer des conclusions sur l'efficacité du programme étant donné qu'il n'y avait pas de réelles modifications entre les différentes phases et entre les différentes participantes. Toutefois, l'absence de détérioration du contrôle postural était déjà un résultat en soi.

Le faible nombre d'évaluations réalisées des paramètres secondaires limite la robustesse de l'analyse du contrôle postural en double tâche, des paramètres de marche, de la marche avec transferts, des signes et symptômes de la CIPN, de la qualité de vie et du sentiment de détresse même s'ils correspondent aux recommandations (Krasny-Pacini & Evans, 2018).

Par ailleurs, les paramètres FITT utilisés provenaient de recommandations basées sur des sujets asymptomatiques car il n'en existait pas encore en contexte oncologique (Streckmann et al., 2022). Récemment, des directives pour les physiothérapeutes proposaient de réaliser des exercices sensorimoteurs d'une durée plus longue de 20 min sous la forme de trois séries de 20 à 30 s pour la prévention de la CIPN (Stoller et al., 2023). De plus, l'intensité d'exercices recommandée (Müller, Weiler, et al., 2021) a été peu suivie. Il est possible que des paramètres

FITT optimisés puissent entraîner des effets plus importants mais la faisabilité d'une plus longue durée d'exercice questionne.

Ensuite, seules deux des trois participantes ont pu participer aux entretiens de fin de programme, la première participante n'étant pas disponible. Il aurait été préférable d'avoir le retour de l'ensemble des participantes pour avoir un aperçu plus exhaustif de leurs impressions. Enfin, les entretiens étaient menés par l'investigatrice de l'étude ayant suivi les participantes tout au long de la chimiothérapie. Les retours obtenus laissent penser que les participantes se sont senties libres d'exprimer leurs ressentis.

Perspectives

De futures études permettront de confirmer l'efficacité des programmes d'exercices sensorimoteurs courts, à domicile, durant un traitement neurotoxique et affiner les modalités recommandées (durée, fréquence, temporalité, *etc.*). Il est particulièrement important que l'effet dose-réponse minimal de l'activité physique sur les différents paramètres soit défini afin de limiter la charge sur ces patientes et encourager leur motivation dans de futures études.

Puisque les effets du programme semblaient réversibles chez une participante, il pourrait être envisagé de réaliser une étude SCED en design ABAB pour évaluer l'effet de l'intervention (Epstein & Dallery, 2022; Krasny-Pacini & Evans, 2018). Les effets d'apprentissage et d'entraînement pourraient potentiellement être explorés et quantifiés via, respectivement, des mesures répétées et des études observationnelles incluant un groupe contrôle de personnes non atteintes par le cancer.

Cette même étude pourrait être envisagée pour des patientes en phase chronique. En effet, ce design pourrait être approprié pour évaluer les effets d'un traitement curatif de CIPN chroniques ayant entraîné des troubles fonctionnels.

Implications cliniques

Un programme d'exercices sensorimoteurs quotidien réalisé à domicile durant la chimiothérapie pourrait être proposé aux patientes atteintes de cancer du sein triple négatif traitées par taxanes. Celui-ci était, non seulement bien accueilli par les patientes, mais également sécuritaire. En effet, la satisfaction, le taux de participation, le nombre d'exercices réalisés quotidiennement, les interruptions limitées du programme confirmaient la possibilité d'instaurer un tel programme durant les traitements malgré un programme thérapeutique déjà chargé. Par ailleurs, l'innocuité de celui-ci a pu être établie grâce au sentiment de sécurité ressenti par les participantes et l'absence d'événements indésirables. Des pistes d'amélioration ont été proposées afin d'encourager le maintien de la motivation au fil des semaines.

Les soignants se sont également montrés favorables à la mise en place de prise en charge accompagnée non invasive, intégrée dans le parcours de soin. Ces prises en charge s'inscrivent dans une démarche plus globale d'instauration en hôpital de jour de soins de support, reconnus d'utilité publique.

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence que :

- ❖ Malgré une fatigue croissante et l'apparition de signes de CIPN, le contrôle postural des femmes atteintes de cancer du sein triple négatif traitées par chimiothérapie neurotoxique restait stable tout au long du traitement.
- ❖ Le programme pourrait avoir aidé à maintenir le contrôle postural des participantes et freiné la cinétique de la CIPN.
- ❖ Une possible tendance vers l'amélioration des paramètres de marche et de la confiance dans l'équilibre a été observée après le programme mais devra être confirmée.
- ❖ Les autres paramètres secondaires (marche avec transferts, sensation de détresse, qualité de vie) ne semblaient pas influencés par le programme.
- ❖ Les participantes ont particulièrement apprécié l'attention reçue démontrant l'importance des soins de support durant cette période de chimiothérapie.

IVc. Étude 3 rétrospective : évolution des capacités de marche et de la fatigue après un programme d'activité physique adapté à des personnes atteintes de cancers

Introduction

L'activité physique entraîne de nombreux bienfaits en période de cancer, tant sur la santé physique que mentale et sociale. Elle est essentielle dans ce contexte, notamment pour limiter certains effets secondaires, comme la détérioration de la fonction physique ou la fatigue ressentie par les patients (H. H. Andersen et al., 2022; Oberoi et al., 2018). Ces deux effets secondaires sont prépondérants et problématiques car ils peuvent conduire à une perte d'autonomie et une baisse de la qualité de vie (Duregon et al., 2018; Gebruers et al., 2019). Un patient sur deux rencontre des difficultés à la marche à cause des répercussions de la pathologie, de la toxicité des traitements ou du manque d'activité physique sur les systèmes cardio-respiratoires et neuro-musculaires (Kokkonen et al., 2017).

Concernant la fatigue, elle est ressentie par 80 % à 90 % des patients en phase active de chimiothérapie (Fabi et al., 2020). Elle est définie comme un sentiment pénible, persistant et subjectif d'épuisement physique, émotionnel et/ou cognitif lié au cancer ou à ses traitements. Cette fatigue n'est pas proportionnelle à l'activité physique réalisée mais interfère avec le fonctionnement habituel, péjorant la qualité de vie (Fabi et al., 2020).

La majorité des évidences scientifiques abordant les effets de l'activité physique sur ces effets secondaires concerne des études cliniques de phases I à III avec un cadre méthodologique précis (Covington et al., 2019). Or, une fois implémentés en pratique clinique, ces programmes d'activité physique font face aux difficultés du quotidien des services. Ainsi, des populations plus hétérogènes en termes de types de cancer ou de phases du traitement prennent part à ces programmes (Covington et al., 2019). De plus, ces programmes sont sujets aux aléas de la clinique (ressources et temps limités, différents encadrants, *etc.*). De ce fait, l'efficacité des programmes réalisés dans le cadre de la pratique clinique devrait également être étudiée.

Pour cela, des études de phase IV ou d'assurance-qualité (classification de la loi sur la recherche de l'être humain en Suisse) ont toute leur utilité (Onken et al., 2014). Ces dernières apportent de précieuses informations sur les prises en charge utilisées en milieu clinique pour pouvoir adapter les pratiques existantes et les intégrer dans des stratégies d'implémentation à plus large échelle (Onken et al., 2014).

Ces études se basent, notamment, sur la recherche des modérateurs du programme. Les modérateurs sont les variables antérieures à l'intervention thérapeutique ayant un impact sur le traitement (Duriez, 2009). Ceux-ci définissent pour qui et dans quelles conditions la prise en charge sera efficace (Duriez, 2009). Ils permettent ainsi d'individualiser une intervention.

L'évaluation des programmes existants permet, par ailleurs, d'identifier les précautions à respecter et les axes d'amélioration, dans le but de fournir aux patients des prises en charge efficaces et probantes.

Afin d'évaluer l'influence d'un programme d'activité physique réalisé dans un cadre clinique sur certains effets secondaires fréquents du cancer, une analyse de données existantes a été réalisée.

La question de recherche était la suivante :

« Un programme multimodal réalisé en contexte clinique peut-il améliorer la capacité fonctionnelle et la fatigue des personnes atteintes de différents types de cancer ? »

Objectifs et hypothèses

Objectif primaire

Cette étude rétrospective visait à évaluer l'influence d'un programme d'activité physique associé à des séances éducatives sur la capacité de marche des personnes atteintes de cancer.

L'hypothèse était qu'après 12 semaines de programme d'activité physique et de séances d'éducation, la capacité de marche des participants serait améliorée grâce à l'augmentation des capacités d'endurance, de force et d'équilibre (H. H. Andersen et al., 2022; Luo et al., 2021).

Objectifs secondaires

Les objectifs secondaires étaient :

- Évaluer les effets du programme sur la fatigue (physique, mentale, l'activité et la motivation des participants) ;
- Évaluer la satisfaction des participants à la fin du programme ;
- Proposer des analyses exploratoires en sous-groupes d'âge, de genre et de capacité de marche ou de fatigue initiales pour évaluer les modérateurs du programme.

L'hypothèse était que la sensation de fatigue serait améliorée après le programme car l'activité physique, par ses effets anti-inflammatoires, entre autres, peut exercer une influence positive sur la fatigue (Zhu et al., 2022). Cette hypothèse était basée sur les évidences scientifiques existantes ayant démontré un effet de l'activité physique sur la fatigue (*cf. Chapitre 2, Introduction*) (van Waart et al., 2020). Il était attendu que les participants expriment un bon niveau de satisfaction avec un score ≥ 3 dans la majorité des 13 sur 14 items (l'item sur le choix de l'hôpital étant exclu de ce décompte). Les programmes d'activité physique sont, en effet, appréciés par les patients (van Waart et al., 2020). Compte tenu de la littérature existante, un effet de la capacité de marche initiale comme modérateur du programme (une plus grande capacité de marche entraînant de meilleurs résultats) était attendu plutôt que des facteurs sociodémographiques (Buffart et al., 2017; Oberoi et al., 2018; Soucy et al., 2022; Sweegers et al., 2018). Il était également supposé qu'une fatigue initiale importante puisse entraîner de moins bons résultats par des difficultés de participation au programme à l'intensité recommandée qu'elle aurait pu engendrer.

Méthode

Design

Cette étude était une analyse rétrospective de données existantes.

Aucun groupe contrôle n'a été mis en place dans cette étude et l'aveuglement n'était pas applicable en raison du design rétrospectif de cette étude.

Conception et cadre de l'étude

Cette étude rétrospective a inclus les données du programme de réadaptation des HUG de 2017 à 2019, recueillies par les physiothérapeutes du service d'oncologie. Les données comprenaient des variables sociodémographiques et cliniques (âge, sexe, poids, taille, indice de masse corporelle (IMC), type de cancer et traitement, capacité de marche, fatigue et niveau de satisfaction). Ces données étaient collectées au cours de la première et de la dernière semaine du programme, par des physiothérapeutes.

Participants

Critères d'éligibilité

Pour participer au programme d'activité physique, les participants devaient être majeurs et avoir l'autorisation de leur oncologue (**Tableau 21**). Les traitements actifs du cancer (chimiothérapie, hormonothérapie, radiothérapie) ne constituaient pas un critère d'exclusion.

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
- Être âgé de 18 ans minimum - Être atteint d'un cancer - Avoir une ordonnance de l'oncologue autorisant la participation au programme de réadaptation des HUG	Être atteint de comorbidité limitant la participation au programme (métastase osseuse ou ostéoporose à risque de fracture, évaluée par un oncologue)

Tableau 21. Critères d'éligibilité pour la participation au programme. HUG = Hôpitaux Universitaires de Genève

Recrutement

Non applicable en raison du design rétrospectif de cette étude.

Considérations éthiques

La commission éthique de Genève a approuvé cette étude rétrospective (CCER de Genève – 2020-00402).

Description du programme

Le programme comprenait des séances bi-hebdomadaires de physiothérapie en groupe et trois séances éducatives. Les groupes étaient constitués de 10 à 15 participants. Le programme avait une durée de 12 semaines et était supervisé par deux physiothérapeutes.

Les séances éducatives comprenaient des présentations par des professionnels de la santé suivies de discussions avec les participants. Les sujets abordés étaient les suivants : activité physique et cancer, cancer et traitement, nutrition.

En ce qui concerne le programme d'activité physique, une session hebdomadaire comprenait un circuit d'entraînement visant un travail de la force, de la coordination et du contrôle postural. La deuxième session hebdomadaire portait sur la capacité d'endurance.

Les sessions de circuit d'entraînement duraient 60 min et comprenaient un échauffement de 15 min et un retour au calme de 15 min. L'entraînement en circuit était constitué de 15 stations d'1 min d'exercice et d'1 min de repos. Les exercices comprenaient des entraînements au poids du corps, avec des bandes élastiques et des poids libres qui variaient chaque semaine pour augmenter la motivation. Trois niveaux de difficulté étaient proposés.

Les séances d'endurance comprenaient soit une marche en extérieur de difficulté facile à modérée de 60 min, soit une marche de difficulté moyenne à difficile de 90 min, soit un entraînement en intérieur sur machines d'endurance (ergomètre stationnaire, tapis de marche, machine elliptique), selon les capacités des participants.

L'intensité visée du programme était d'atteindre un effort modéré à vigoureux (5/10 sur l'échelle de BORG, 0-aucun effort à 10-effort maximum) durant toutes les séances, tel que recommandé (Campbell et al., 2019). Chaque participant adaptait son effort à son état de santé et à ses capacités du jour.

Descriptions des outils d'évaluation

Paramètre primaire

Capacité de marche évaluée par le test de marche de 6 min (TM6)

Le TM6 était réalisé dans un corridor de l'hôpital de 30 m, gradué tous les 5 m, conformément aux lignes directrices des sociétés respiratoire européenne et thoracique américaine (Holland et al., 2014). Pour les propriétés de l'outil, se référer à l'**Annexe 1**. Les participants devaient effectuer des allers-retours dans un couloir de 30 m avec pour objectif de couvrir « la plus grande distance possible en 6 min ». Aucun encouragement n'était donné. Après 6 min, les

participants s'arrêtaient et la distance parcourue était mesurée à l'aide de marques placées au mur. Toutes les 2 min, la fréquence cardiaque (FC), la saturation en oxygène (SpO₂) mesurée à l'aide d'un oxymètre de pouls disposé au bout de l'index, l'intensité de l'effort (BORG) et la distance parcourue étaient enregistrées. Le temps de récupération de la FC et de la SpO₂ (retour aux valeurs initiales) a également été mesuré. Pour ce test, la MCID est établie à 42,70 m (Davies et al., 2016), 42 m ou 9,5 % d'amélioration (Granger, Holland, et al., 2015), 63,20 m (Foley et al., 2015) ou encore 62,50 m (Foley & Hasson, 2016) chez des personnes atteintes de cancer de la prostate, du poumon et du sein.

Paramètres secondaires

Fatigue évaluée par le questionnaire « Multidimensional Fatigue Inventory (MFI-20) »

Le MFI-20 est un questionnaire sur 20 points qui évalue l'influence du cancer sur la fatigue physique et mentale générale, l'activité et la motivation (Smets et al., 1996). Les scores aux sous-échelles varient de 4 à 20. Plus le score est élevé, plus la fatigue est importante. Ce questionnaire est validé en français ($r = 0,83$) et sa cohérence interne est bonne (coefficient alpha de Cronbach = 0,80) (Gentile et al., 2003; Smets et al., 1996). La MCID est établie à 2,06 pour la fatigue générale, 2,04 pour la fatigue physique, 2,39 pour l'activité réduite, 1,60 pour la diminution de la motivation et 1,36 pour la fatigue mentale (Purcell et al., 2010).

Questionnaire de satisfaction

Le questionnaire de satisfaction a été conçu par les HUG pour évaluer la satisfaction des participants à l'égard du programme de réadaptation. Il comprenait des questions sur l'hôpital, la procédure d'admission au programme et le programme. Une échelle de Likert de 1 (excellent) à 5 (faible) et 6 (ne sait pas) était utilisée pour répondre aux 14 questions. Ce questionnaire a été rempli à la fin du programme.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Stata V.15 (StataCorp, Texas, États-Unis, 2017).

Calcul de la taille d'échantillon

Non applicable en raison du design rétrospectif de cette étude.

Traitement et analyse des données

Le score des questionnaires MFI20 et de satisfaction ont été calculés. De même, les deltas des divers paramètres (résultat post programme – résultat pré programme) étaient calculés.

L'âge était catégorisé ainsi : < 45 ans, entre 45 et 54 ans, entre 55 et 64 ans, entre 65 et 74 ans, et ≥ 75 ans.

La capacité de marche initiale au TM6 était catégorisée entre ≤ 468 m et > 468 m. Une capacité haute (> 468 m) équivalait à 1,30 m/s soit la vitesse sécuritaire pour traverser une route (Middleton et al., 2015).

La fatigue générale initiale a été classée de la sorte : < 16/20 et $\geq 16/20$ correspondant au 75^e percentile de la distribution des données.

En cas de données manquantes, les autres données récoltées étaient tout de même traitées dans l'analyse statistique.

Normalité des données

La normalité et la symétrie de la distribution des différences (post-pré) des différents paramètres a été évaluée au moyen d'une analyse exploratoire des données.

Statistiques descriptives

Les statistiques descriptives sont présentées en fréquences et pourcentages pour les variables qualitatives (sexe, type de cancer, traitement et satisfaction). Les variables continues sont décrites sous la forme de moyennes $\pm$ écarts-types (âge, taille, poids, IMC, capacités fonctionnelles et résultats concernant la fatigue) ou de médianes et d'IQR.

Statistiques inférentielles

Pour répondre à l'objectif primaire, des tests-*t* appariés ont été appliqués pour évaluer l'évolution de la capacité de marche à la suite du programme (comparaison des valeurs pré / post). Des tailles d'effet de Cohen's *d* ont été calculées.

La même procédure a été utilisée pour l'évaluation de la fatigue. La satisfaction a été évaluée de façon descriptive uniquement car seul un temps de mesure existe.

Pour évaluer si les facteurs sociodémographiques, le niveau de capacité de marche initial et la fatigue initiale influençaient les effets du programme d'activité physique (comparaisons intergroupes), des régressions linéaires multiples ont été réalisées. Dans ces modèles, l'évolution de la variable dépendante (la capacité de marche ou la fatigue) était considérée en

fonction des valeurs initiales des paramètres (variable indépendante), avec l'âge et le sexe comme covariables. Les hypothèses du modèle, y compris la linéarité de la variable dépendante par rapport à la variable indépendante, la normalité et l'homoscédasticité des résidus, ont été vérifiées. Les analyses de régression linéaire multiple ont été privilégiées par rapport aux modèles mixtes, car ces derniers présentaient des tests de rapport de vraisemblance non significatifs, des variances minimales des effets aléatoires, ainsi que des valeurs plus élevées pour le critère d'information d'Akaike (AIC) et le critère d'information bayésien (BIC) par rapport aux régressions linéaires multiples.

Une valeur de $p < 0,05$ était considérée comme significative pour toutes les analyses.

Audit

Non applicable en raison du design rétrospectif de cette étude.

Résultats

Participants

Un total de 264 participants a réalisé l'évaluation initiale (**Tableau 22**). Le cancer du sein était de loin le cancer le plus représenté ($n = 134$, 51 %), suivi du cancer du poumon ($n = 23$, 9 %) et du cancer colorectal ($n = 18$, 7 %).

Tableau 22. Caractéristiques des participants						
	Tous les participants		Participants qui ont terminé le programme		Participants qui ont abandonné le programme	
Caractéristiques	Valeurs	n	Valeurs	n	Valeurs	n
Age, (années)	57,36 ± 12,43 (18-89)	263	58,21 ± 11,49 (31-89)	125	56,59 ± 13,22 (18-88)	138
Age femme	56,22 ± 12,17 (18-88)	188	56,63 ± 11,13 (31-81)	99	55,76 ± 13,28 (18-88)	89
Age homme	60,21 ± 12,69 (23-89)	75	64,23 ± 11,00 (40-89)	26	58,08 ± 13,11 (23-74)	49
Sexe, n (%)		264		125		139
Femme	189 (72)	189	99 (79)	99	90 (65)	90
Homme	75 (28)	75	26 (21)	26	49 (35)	49
Taille, (cm)	164,93 ± 9,61 (147-202)	149	163,17 ± 8,17 (147-186)	69	166,45 ± 10,51 (150-202)	80
Taille femme	160,76 ± 6,56 (147-178)	106	160,67 ± 6,43 (147-176)	55	160,84 ± 6,76 (150-178)	51
Taille homme	175,23 ± 8,05 (163-202)	43	173,00 ± 6,82 (163-186)	14	176,31 ± 8,48 (163-202)	29
Poids, (Kg)	73,63 ± 18,09 (42-174)	150	71,57 ± 16,42 (42-120)	69	75,38 ± 19,33 (43-174)	81
Poids femme	69,29 ± 16,24 (42-105)	107	67,80 ± 14,96 (42-102)	55	70,88 ± 17,50 (43-105)	52
Poids homme	84,41 ± 18,14 (60-174)	43	86,36 ± 13,62 (67-120)	14	83,47 ± 20,12 (60-174)	29
IMC, (Kg/m²)	27,04 ± 5,97 (16,16-58,14)	149	26,74 ± 5,13 (16,16-39,35)	69	27,30 ± 6,64 (17,16-58,14)	80
IMC femme	26,85 ± 6,02 (16,16-45,33)	106	26,21 ± 5,31 (16,16-39,35)	55	27,54 ± 6,70 (17,16-45,33)	51

IMC homme	27,52 ± 5,88 (19,82-58,14)	43	28,83 ± 3,82 (20,68-34,69)	14	0,440	26,89 ± 6,63 (19,82-58,14)	29	0,317
Type de cancer, n (%)		264		125			139	
Sein	134 (51)		76 (61)			58 (42)		
Poumon	23 (9)		8 (6)			15 (11)		
Colo-rectal	18 (7)		9 (7)			9 (7)		
Gynécologique	14 (5)		4 (3)			10 (7)		
Prostate	11 (4)		6 (6)			5 (4)		
Cerveau	9 (3)		3 (2)			6 (4)		
Lymphome	8 (3)		2 (2)			6 (4)		
Estomac	7 (3)		2 (2)			5 (4)		
ORL	6 (2)		2 (2)			4 (3)		
Pancréas	6 (2)		2 (2)			4 (3)		
Leucémie	4 (2)		3 (2)			1 (1)		
Peau	4 (2)		2 (2)			2 (2)		
Foie	3 (1)		1 (1)			2 (1)		
Rein	3 (1)		1 (1)			2 (1)		
Œsophage	2 (1)		0			2 (1)		
Thyroïde	2 (1)		0			2 (1)		
Vésicule biliaire	2 (1)		1 (1)			1 (1)		
Vessie	2 (1)		1 (1)			1 (1)		
Appendice	1 (< 1)		1 (1)			0		
Lymphome cerveau	1 (< 1)		0			1 (< 1)		
Médiastin	1 (< 1)		0			1 (1)		
Os	1 (< 1)		0			1 (1)		
Petit intestin	1 (< 1)		0			1 (1)		
Rate	1 (< 1)		1 (1)			0		
Thyroïde	2 (1)		0			2 (1)		
Thérapie, n (%)		232		105			127	
C	39 (15)		15 (14)			24 (19)		
C + Ch	26 (10)		10 (10)			16 (13)		
C + Ch + H	2 (1)		1 (1)			1 (1)		
C + Ch + H + R	9 (3)		6 (6)			3 (2)		
C + Ch + I	2 (1)		1 (1)			1 (1)		
C + Ch + I + R	5 (2)		2 (2)			3 (2)		
C + Ch + R	34 (13)		19 (18)			15 (12)		
C + H	4 (2)		2 (2)			2 (2)		
C + H + I	1 (< 1)		0			1 (1)		
C + H + R	10 (4)		5 (5)			5 (4)		
C + I	4 (2)		0			4 (3)		
C + I + R	2 (1)		1 (1)			1 (1)		
C + R	26 (10)		8 (8)			18 (14)		
Ch	13 (5)		9 (9)			4 (3)		
Ch + H	6 (2)		4 (4)			2 (2)		
Ch + H + I + R	1 (< 1)		1 (1)			0		
Ch + H + R	14 (5)		9 (9)			5 (4)		
Ch + I	1 (< 1)		0			1 (1)		
Ch + R	12 (5)		4 (4)			8 (6)		
H	4 (2)		2 (2)			2 (2)		
H + R	5 (2)		1 (1)			4 (3)		
I	8 (3)		3 (3)			5 (4)		
R	1 (< 1)		0			1 (1)		
Aucun	3 (1)		2 (2)			1 (1)		

Tableau 22. Caractéristiques socio-démographiques et cliniques des participants de l'étude rétrospective. Données exprimées en moyenne ± écart-type (min-max) ou n (%). IMC = Indice de masse corporelle, C = chimiothérapie, Ch = chirurgie, H = hormonothérapie, I = immunothérapie, IMC = indice de masse corporelle, ORL = otorhinolaryngologie, R = radiothérapie. En gras, valeur $p < 0,05$

Parmi les 264 participants, 125 (47 %) ont terminé le programme. Les données manquantes au deuxième test (139 participants) provenaient soit de l'abandon du programme par les participants (drop out) soit de problèmes méthodologiques (absence de données rapportées dans

la base de données). Il n'était pas possible de discerner les deux causes. Par ailleurs, les raisons d'abandon n'ont pas été recensées.

La distance initiale de marche des participants n'ayant pas terminé le programme n'était pas différente de celle des participants l'ayant terminé (moyenne $\pm$ écart type (min-max)) : $475,88 \pm 120,82$ (120 – 720) vs. $487,98 \pm 100,30$ (120 – 780), $p = 0,389$). Le même résultat a été observé pour la fatigue générale ($13,33 \pm 3,74$ (4 – 20) vs. $12,88 \pm 3,74$ (4 – 20), $p = 0,335$).

Comparaison de la capacité de marche (TM6) avant-après le programme d'activité physique

La distance de marche au TM6 était significativement améliorée de $41,63 \pm 91,00$ m ($n = 121$, $+9\%$, $p < 0,01$) après le programme (**Tableau 23**). Il n'y avait, en revanche, pas d'amélioration significative des valeurs de BORG, de FC et de SpO₂ ainsi que du temps de récupération après le programme.

Tableau 23. Résultats des capacités de marche et de fatigue

	Valeurs pré	n	Valeurs post	n	Différence	n	Taille d'effet	Valeur p
<i>Capacité de marche (TM6)</i>								
Distance 2 min, (m)	$163,40 \pm 29,10$ (90 - 250) 165 [150 - 180]	119	$176,72 \pm 33,89$ (90 - 290) 180 [150 - 195]	118	$13,46 \pm 26,61$ (-75 - 90) 15 [0 - 30]	118	0,43	< 0,001
Distance 4 min, (m)	$323,57 \pm 64,15$ (100 - 500) 330 [300 - 360]	119	$349,25 \pm 67,99$ (150 - 540) 360 [315 - 390]	118	$25,98 \pm 60,74$ (-180 - 210) 30 [0 - 60]	118	0,39	< 0,001
Distance 6 min, (m)	$487,98 \pm 100,30$ (120 - 780) 495 [445 - 545]	121	$529,60 \pm 102,56$ (180 - 835) 530 [480 - 590]	121	$41,63 \pm 91,00$ (-330 - 375) 40 [0 - 80]	121	0,41	< 0,001
BORG 6 min	$3,87 \pm 1,92$ (0,5 - 9) 4 [2 - 5]	108	$3,95 \pm 1,87$ (1 - 10) 4 [3 - 10]	57	$-0,12 \pm 2,18$ (-5 - 6) 0 [-2 - 1,75]	52	-0,06	= 0,704
SpO ₂ pré, (%)	$97,45 \pm 1,35$ (93 - 100) 98 [97 - 98]	121	$97,18 \pm 1,51$ (93 - 100) 97 [96 - 98]	120	$-0,25 \pm 1,62$ (-6 - 3) 0 [-1 - 1]	120	-0,18	= 0,094
SpO ₂ 2 min, (%)	$96,02 \pm 1,79$ (90 - 99) 96 [95 - 97]	121	$95,59 \pm 2,59$ (85 - 100) 96 [94 - 97]	120	$-0,41 \pm 2,69$ (-13 - 6) 0 [-2 - 1]	120	-0,18	= 0,099
SpO ₂ 4 min, (%)	$95,93 \pm 2,15$ (86 - 100) 96 [95 - 97]	121	$95,50 \pm 2,86$ (81 - 100) 96 [94 - 99]	121	$-0,43 \pm 3,19$ (-17 - 12) 0 [-2 - 1]	121	-0,17	= 0,141
SpO ₂ 6 min, (%)	$96,18 \pm 1,88$ (90 - 100) 96 [95 - 97]	121	$95,74 \pm 2,47$ (87 - 100) 96 [95 - 97]	121	$-0,44 \pm 2,76$ (-12 - 8) 0 [-2 - 1]	121	-0,20	= 0,083
FC pré, (bpm)	$81,64 \pm 13,60$ (51 - 123) 80 [71 - 90]	121	$86,60 \pm 13,49$ (57 - 120) 88 [77 - 97]	121	$4,96 \pm 12,71$ (-21 - 56) 4 [-3 - 14]	121	0,37	< 0,001
FC 2 min, (bpm)	$112,02 \pm 19,42$ (62 - 171) 113,50 [101,50 - 124]	120	$111,65 \pm 19,80$ (48 - 153) 115 [102 - 125]	120	$-0,49 \pm 23,56$ (-78 - 61) 2 [-7 - 10]	119	-0,03	= 0,822
FC 4 min, (bpm)	$114,05 \pm 19,25$ (60 - 173) 114 [103 - 125]	119	$115,43 \pm 19,59$ (62 - 156) 118 [109 - 127,50]	120	$0,92 \pm 19,26$ (-77 - 59) 2 [-7 - 11]	118	0,05	= 0,603
FC 6 min, (bpm)	$116,65 \pm 19,44$ (63 - 165) 115 [105 - 128]	121	$118,02 \pm 20,27$ (63 - 165) 119 [108 - 130]	121	$1,37 \pm 17,60$ (-86 - 58) 2 [-6 - 11]	121	0,07	= 0,393
Récupération SpO ₂ 6 min, (s)	$48,27 \pm 57,40$ (0 - 265) 30 [0 - 60]	115	$43,23 \pm 49,10$ (0 - 180) 30 [0 - 63]	115	$-3,62 \pm 73,62$ (-185 - 150) 0 [-38 - 50]	109	-0,18	= 0,608
Récupération FC 6 min, (s)	$123,54 \pm 59,83$ (0 - 360) 120 [90 - 180]	115	$109,19 \pm 54,22$ (0 - 180) 120 [71 - 150]	115	$-9,91 \pm 74,05$ (-360 - 180) 0 [-50 - 40]	109	-0,07	= 0,165
<i>Fatigue (MFI-20)</i>								
Fatigue générale	$12,88 \pm 3,74$ (4 - 20) 13 [10 - 16]	121	$10,87 \pm 3,74$ (4 - 20) 11 [8 - 13]	121	$-2,01 \pm 3,77$ (-11 - 6) -2 [-5 - 1]	121	-0,55	< 0,001
Fatigue physique	$12,45 \pm 4,32$ (4 - 20) 13 [8 - 16]	121	$9,91 \pm 4,07$ (4 - 20) 9 [7 - 13]	121	$-2,54 \pm 4,05$ (-14 - 11) -2 [-5 - 0]	121	-0,58	< 0,001
Activité réduite	$11,51 \pm 4,33$ (4 - 20) 12 [8 - 15]	121	$9,48 \pm 3,81$ (4 - 20) 9 [6 - 12]	121	$-2,03 \pm 3,89$ (-13 - 8) -2 [-4 - 0]	121	-0,48	< 0,001
Motivation réduite	$8,58 \pm 3,26$ (4 - 18) 8 [6 - 11]	121	$7,79 \pm 3,05$ (4 - 16) 7 [6 - 10]	121	$-0,79 \pm 3,10$ (-8 - 7) -1 [-3 - 1]	121	-0,24	= 0,008

Fatigue mentale	10,11 ± 4,29 (4 - 20) 10 [7 - 13]	121	9,03 ± 4,24 (3 - 20) 8 [5 - 12]	121	-1,07 ± 3,63 (-9 - 11) -1 [-3 - 1]	121	-0,24 = 0,003

Tableau 23. Résultats des capacités de marche et de fatigue. Données sous la forme de moyenne ± écart-type (min-max) médiane [IQR 25-75%]. FC = fréquence cardiaque, IQR = écart interquartile, SpO₂ = saturation, TM6 = test de marche de 6 min. En gras, valeur $p < 0,05$

Comparaison de la fatigue (MFI-20) avant-après le programme d'activité physique

Toutes les dimensions du questionnaire du MFI-20 étaient améliorées après le programme par rapport aux données initiales (**Tableau 23**). Les scores de fatigue générale et physique, de réduction de l'activité physique, de réduction de la motivation et de la fatigue mentale ont ainsi diminué de 16 %, 20 %, 18 %, 9 % et 11 % ($n = 121$, $p < 0,01$).

Comparaison de la capacité de marche (TM6) avant-après programme par sous-groupes

La variation de la distance de marche n'était pas influencée par l'âge ($p = 0,42$) ou le sexe ($p = 0,09$), mais elle variait en fonction de la distance initiale de marche ($p < 0,01$, **Tableau 24**). Selon l'analyse de régression linéaire multiple, pour chaque mètre supplémentaire de distance de marche initiale réalisée, la variation de la distance de marche après le programme diminuait de 0,43 mètre. La valeur p de la régression linéaire multiple était significative ($p < 0,01$). Ainsi, la distance au TM6 augmentait davantage au sein du sous-groupe ayant une distance de marche initiale égale ou en-dessous de 468 m ($n = 46$, augmentation de 80,11 m ± 86,16 m, +20 %) que chez les autres participants ($n = 75$, augmentation de 18,03 m ± 86,20 m, +3 %).

Tableau 24. Régressions linéaires						
	Coefficient de régression linéaire simple	IC 95%	Valeur p	Coefficient de régression linéaire multiple	IC 95%	Valeur p
<i>Modèle marche</i>						
Distance de marche initiale	-0,39	-0,54 à -0,24	< 0,001	-0,43	-0,59 à -0,27	< 0,001
Age	0,90	-0,55 à 2,35	0,222	-0,60	-2,06 à 0,86	0,415
Sexe	14,74	-27,10 à 56,58	0,487	34,27	-5,78 à 74,33	0,093
<i>Modèle fatigue</i>						
Fatigue générale initiale	-0,51	-0,67 à -0,35	< 0,001	-0,51	-0,67 à -0,34	< 0,001
Age	0,04	-0,02 à 0,10	0,198	0,01	-0,04 à 0,07	0,627
Sexe	0,46	-1,22 à 2,15	0,586	-0,26	-1,80 à 1,28	0,739

Tableau 24. Coefficients de régression linéaire, $n = 121$. IC = intervalle de confiance. En gras, valeur $p < 0,05$

Comparaison de la fatigue (MFI-20) avant-après programme par sous-groupes

La variation de la fatigue générale ne différait pas en fonction de l'âge ($p = 0,63$) ou du sexe ($p = 0,74$), mais elle différait en fonction de la valeur initiale de la fatigue générale ($p < 0,01$, **Tableau 24**). La variation du score de fatigue après le programme diminuait de 0,51 point pour chaque point supplémentaire du score initial de fatigue.

Les participants ayant un score de fatigue générale égal ou au-dessus de 16 présentaient une amélioration moyenne de fatigue générale de $-4,09 \pm 2,99$ (n = 34, -23 %) comparé à $-1,20 \pm 3,75$ (n = 87, -11 %) pour ceux ayant un score en-dessous de 16 de fatigue.

Satisfaction au programme

Les participants étaient satisfaits du programme que ce soit en termes de locaux, de procédure d'admission ou du programme en tant que tel (**Tableau 25**). Ainsi, 91 % des participants le recommanderaient " sans aucun doute " et 9 % " probablement ".

Tableau 25. Questionnaire de satisfaction

Choix	Moi	Mon médecin	Conseil d'un proche			
Choix de l'hôpital pour votre réadaptation (n = 111)	18 (16,22)	90 (81,08)	3 (2,70)			
Locaux	Excellent	Très bien	Bien	Passable	Mauvais	Je ne sais pas
Commodité d'accès au service de physiothérapie (n = 116)	69 (59,48)	38 (32,76)	7 (6,03)	1 (0,86)	1 (0,86)	0
Facilité à vous orienter autour et dans les bâtiments (n = 114)	63 (55,26)	38 (33,33)	13 (11,40)	0	0	0
Confort, propreté, éclairage, température de la pièce dans laquelle vous avez été traité(e) (n = 116)	69 (59,48)	30 (25,86)	14 (12,07)	3 (2,59)	0	0
Calme, intimité, ambiance reposante des salles de rééducation (n = 113)	59 (52,21)	38 (33,63)	16 (14,16)	0	0	0
Procédure d'admission						
Simplicité des formalités et temps nécessaire à obtenir votre premier rendez-vous (n = 114)	76 (66,67)	33 (28,95)	5 (4,39)	0	0	0
Amabilité, empressement du personnel à répondre à vos questions, à vos attentes (n = 116)	69 (59,48)	37 (31,90)	8 (6,90)	2 (1,72)	0	0
Votre traitement						
Capacité de votre physiothérapeute à vous mettre à l'aise et, le cas échéant, à vous rassurer (n = 115)	79 (68,70)	33 (28,70)	3 (2,61)	0	0	0
Explications que vous avez reçues concernant ce qui vous serait fait et ce qu'on attendait de vous (n = 116)	70 (60,34)	34 (29,31)	10 (8,62)	0	0	2 (1,72)
A la fin de votre physiothérapie, qualité des informations que vous avez reçues concernant votre avenir (n = 116)	49 (42,24)	37 (31,90)	18 (15,52)	1 (0,86)	0	11 (9,48)
Votre sentiment de sécurité à chaque moment de cette rééducation (n = 117)	78 (66,67)	33 (28,21)	6 (5,13)	0	0	0
Adaptation de votre rééducation à la spécificité de votre problème (n = 113)	55 (48,67)	40 (35,40)	18 (15,93)	0	0	0
Si vous deviez résumer votre traitement de physiothérapie en un mot (n = 111)	65 (58,56)	40 (36,04)	6 (5,41)			
Recommandation	Oui, sans aucun doute	Oui, probablement	Peut-être	Non, probablement pas	Non, en aucun cas	
Recommanderiez-vous notre Service à un de vos proches ? (n = 116)	105 (90,52)	11 (9,48)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	

Tableau 25. Résultats du questionnaire de satisfaction du programme de réadaptation des HUG de 2017 à 2019. Données sous la forme de n (%). N = 111 – 117

Discussion spécifique

Cette étude rétrospective a mis en évidence une amélioration de la distance de marche et des différentes dimensions de la fatigue à la fin du programme d'activité physique combiné à des séances éducatives, chez les personnes atteintes de différents types de cancer. Les participants étaient très satisfaits du programme. Les paramètres influençant l'efficacité du programme étaient essentiellement la capacité physique et/ou la fatigue initiales.

Une amélioration de la distance de marche au TM6 était constatée après le programme multimodal sans toutefois atteindre la MCID pour des patients atteints de divers cancers (Foley et al., 2015). De précédents travaux étaient arrivés à la même conclusion (Foley & Hasson, 2016; Soucy et al., 2022). Dans l'étude de Soucy et al. (2022), la MCID était atteinte chez moins d'un tiers des participants (Soucy et al., 2022).

Cependant, ce constat ne peut être appliqué à tous les participants du programme réalisé. En effet, ceux ayant une moindre distance de marche au test initial démontraient une amélioration conséquente de la distance réalisée au TM6 après le programme, dépassant cette fois-ci largement la MCID. Ceci pourrait être expliqué par une meilleure sensibilité du test aux changements fonctionnels en cas de capacités initiales moindres (Neder et al., 2023). Une autre explication concerne la marge de progression. Une capacité de marche initiale plus faible laisse un plus grand potentiel d'amélioration physiologique (Neil-Sztramko et al., 2019). Ainsi, dans une précédente étude évaluant les effets d'un programme communautaire chez des femmes atteintes d'un cancer du sein, une amélioration de la fonction physique, évaluée à l'aide du TM6, du TUG et du test de lever de chaise, était observée chez les personnes ayant des capacités initiales moindres (Soucy et al., 2022). Cela confirme la nécessité d'offrir des programmes d'activité physique personnalisés, conçus en fonction des capacités initiales de la personne et non en fonction des facteurs sociodémographiques. En effet, ces facteurs n'ont pas exercé d'influence sur l'amélioration de la distance de marche dans cette étude, comme dans une précédente méta-analyse (Buffart et al., 2017).

En plus de la considération des valeurs initiales, un programme d'activité physique en contexte oncologique devrait répondre aux principes de progression, de surcharge, de spécificité et de gains décroissants pour être efficace (Neil-Sztramko et al., 2019). Ainsi, les stimuli devraient être spécifiques aux objectifs visés, adaptés tout au long de l'intervention, suffisamment importants et de plus en plus conséquents. Dans le programme proposé, le travail des capacités d'endurance, de force, de contrôle postural et de coordination, toutes utiles pour la réalisation du TM6, répondaient au principe de spécificité. L'évolution de l'intensité de l'exercice selon

la sensation de l'effort perçu permettait une progression et une surcharge tout en étant adaptée à la forme du jour. Elle pourrait être complétée par une évaluation objective des capacités maximales pour une prescription précise de la charge adéquate (Neil-Sztramko et al., 2019), notamment chez les personnes ayant des capacités élevées au test initial. Ainsi, ces personnes, dont l'amplitude des gains est plus limitée, pourraient bénéficier de stimuli individualisés de façon plus objective (Neil-Sztramko et al., 2019) ou plus fréquents, comme recommandé (Campbell et al., 2019).

Cette étude a également mis en évidence une amélioration de la sensation de fatigue post programme d'activité physique. Comme énoncé dans les dernières revues systématiques et méta-analyses, l'activité physique peut améliorer la fatigue liée au cancer chez les personnes atteintes d'un cancer du sein (Gebruers et al., 2019; Montaña-Rojas et al., 2020), d'un cancer gynécologique (Maqbali et al., 2019), d'un cancer du poumon (Yang et al., 2020), d'un cancer du côlon (Dun et al., 2020; Lund et al., 2020; McGettigan et al., 2020) ou d'un cancer du pancréas (Luo et al., 2021). L'activité physique induit des effets anti-inflammatoires sur l'IL-6 qui peuvent réduire l'activité des cytokines pro-inflammatoires IL-1B et TNF-a, avec un effet positif sur la fatigue liée au cancer (Zhu et al., 2022). Dans cette étude, toutes les dimensions évaluées par le questionnaire de fatigue étaient améliorées, à savoir la fatigue générale, la fatigue physique, l'activité physique, la motivation et la fatigue mentale, mais seule l'évolution de la fatigue physique dépassait la MCID. L'évolution de la fatigue générale était également très proche de la MCID (Purcell et al., 2010). Selon une méta-analyse, une activité physique réalisée au cours d'un traitement cytotoxique permet d'améliorer spécifiquement la fatigue générale et la fatigue physique (Penna et al., 2023). Par conséquent, l'activité physique semble améliorer ces dimensions de fatigue, en particulier.

L'activité physique semblait particulièrement bénéfique pour les personnes présentant une fatigue initiale importante. Ces personnes affichaient, en effet, une amélioration plus conséquente du score MFI20 à la fin du programme. En revanche, l'âge et le sexe n'exerçaient aucune influence sur l'effet du programme sur la fatigue, contrairement à ce qui avait été observé dans l'étude de portée de Covington et al. (2019) (Covington et al., 2019). Savoir qu'un programme d'activité physique accompagné de séances éducatives peut réduire la fatigue liée au cancer, et d'autant plus en cas de fatigue importante, est particulièrement encourageant pour les personnes atteintes de cancer et les cliniciens. La perspective d'améliorations pourrait stimuler la pratique d'une activité physique (Elshahat et al., 2021).

Il est particulièrement difficile de remplir les recommandations en termes d'activité physique lors d'un cancer, en raison des multiples barrières qui se dressent dès l'annonce de la maladie. En effet, les effets secondaires des traitements, les complications médicales, la progression de la maladie, les nombreux rendez-vous comptent parmi les principaux obstacles à la pratique de l'activité physique (Covington et al., 2019). Dans cette étude, un nombre important de données manquantes était présent lors de la seconde évaluation, potentiellement en lien avec un taux élevé d'abandons. Celui-ci pourrait être lié au fait que certains participants suivaient un traitement oncologique actif, tel que la chimiothérapie, en parallèle du programme d'activité physique. Étant donné les bienfaits de l'activité physique pour atténuer bon nombre d'effets indésirables de la maladie et des traitements (Rodríguez-Cañamero et al., 2022), faciliter la participation des patients à l'activité physique et les aider ainsi à remplir les recommandations paraît primordial. La haute satisfaction rapportée par les participants confirme cette nécessité. Une éducation thérapeutique de qualité dispensée par des soignants formés, la réorganisation des structures de santé, la diversification des modalités du programme individualisé offert (à domicile, en groupe, différents types d'activité physique, différents horaires, *etc.*) ou la mise en place de l'activité physique comme partie intégrante du traitement des personnes atteintes de cancer, sont de possibles solutions (Elshahat et al., 2021).

Limites

Cette étude était fondée sur des données rétrospectives, avec les limites liées à ce type de design. Par conséquent, certaines données démographiques ainsi que certains résultats manquaient (**Tableaux 22 et 23**). Des informations supplémentaires, par exemple, concernant l'activité physique pratiquée avant le début et en parallèle du programme ou l'adhésion à celle-ci en termes de quantité et d'intensité de l'effort effectué auraient apporté des précisions pertinentes. La mesure d'autres capacités physiques affectées par le cancer, comme la force ou le contrôle postural, auraient fourni des renseignements supplémentaires sur les effets d'un programme d'activité physique dans ce contexte. Par ailleurs, des évaluations répétées auraient permis de prendre en compte la variabilité individuelle quotidienne (Soucy et al., 2022). Des évaluations effectuées à différentes temporalités auraient amélioré la précision des résultats, par la connaissance de leur évolution tout au long du programme (Neil-Sztramko et al., 2019). Ensuite, il aurait été utile de pouvoir discerner la raison des données manquantes lors de la deuxième évaluation (erreur méthodologique ou abandon du programme) afin de connaître les points d'attention lors de la mise en place d'un futur programme d'activité physique. De même, il aurait été intéressant de connaître les raisons d'abandon du programme. Enfin, la taille de l'échantillon empêchait de réaliser d'autres analyses, par exemple par type de cancer. Toutefois,

des études antérieures n'ont pas démontré d'influence de celui-ci sur les effets du programme d'activité physique sur la fonction physique (Buffart et al., 2017) ou la fatigue (Oberoi et al., 2018).

Implications pratiques

Cette étude rétrospective a mis en évidence une amélioration de la capacité de marche et de la fatigue après un programme d'activité physique en milieu hospitalier ambulatoire pour les personnes atteintes d'un cancer. Les bienfaits les plus importants ont été observés chez les participants dont la capacité de marche était moindre ou la fatigue initiale élevée. L'individualisation des programmes d'activité physique en fonction de l'état initial de la personne tout en respectant les principes de spécificité, de surcharge, de progression et d'évolution des gains pourrait en accroître l'efficacité. Par ailleurs, la haute satisfaction rapportée par les participants souligne l'importance de proposer des programmes d'exercices physiques adaptés, même lors de la phase active des traitements. Concevoir des stratégies visant à éviter la perte de données auprès des cliniciens et des mesures pour limiter les abandons devraient faire partie des priorités lors de la construction d'un programme d'activité physique en contexte oncologique.

Conclusion

Cette étude a permis de mettre en évidence que :

- ❖ La capacité de marche et la fatigue des participants atteints de cancer étaient améliorées après un programme d'activité physique et de séances éducatives.
- ❖ Seule l'amélioration de la fatigue physique dépassait la MCID.
- ❖ Les personnes démontrant de faibles capacités physiques ou une importante fatigue au test initial présentaient des améliorations plus conséquentes de la distance de marche ou de la fatigue après le programme.
- ❖ Une satisfaction importante des participants a été relevée.
- ❖ Une attention particulière devrait être portée aux stratégies visant à limiter les données manquantes ainsi qu'à diminuer le taux d'abandon lors de l'élaboration d'un programme d'activité physique.

IVd. Étude 4 : faisabilité et validité de tests de marche utilisés en oncologie

Introduction

Dans le programme d'activité physique étudié, la capacité de marche était évaluée à l'aide du TM6, test usuellement pratiqué et validé dans ce contexte (K. Schmidt et al., 2013). Ce test peut, cependant, s'avérer trop sollicitant pour des personnes atteintes de cancer ayant des capacités physiques réduites et une fatigabilité élevée (White et al., 2019). De plus, le TM6 expose les patients ayant des troubles de l'équilibre à un risque de chutes plus important, du fait de l'apparition de fatigue. Surtout, sa relativement longue durée (*c.-à-d.* environ 15 min incluant le temps de préparation et de récupération (Granger, Denehy, et al., 2015)) réduit le temps disponible pour la mesure d'autres capacités motrices affectées par la pathologie. Des tests de plus courte durée comme le TM2 pourraient, dès lors, être pertinents.

Le TM2 est de plus en plus utilisé en oncologie pour évaluer l'effet d'une intervention (Lauwick et al., 2009; Rodà et al., 2017) ou évaluer les changements fonctionnels après une intervention (de Souza et al., 2012). Deux guidelines recommandent son utilisation (Davies et al., 2016; Fisher et al., 2015). Toutefois, sa validité en contexte oncologique n'a pas encore été étudiée.

Le test de marche de 10 m pourrait également être une alternative intéressante. Différents auteurs soutiennent qu'il pourrait remplacer des tests plus longs aux contraintes matérielles plus importantes (Amatachaya et al., 2014; Dalgas et al., 2012; DePew et al., 2013; Duncan et al., 2017; Kamiya et al., 2018; van Hedel et al., 2007). Ce test pourrait, de plus, être réalisé au domicile du patient pour le suivi à distance de celui-ci. Toutefois, la mesure dans laquelle le test de marche de 10 m mesure les mêmes capacités fonctionnelles que le TM2 ou le TM6 doit encore être investiguée en contexte oncologique. Seules les études d'Eden et al. (2018) et de Kim et al. (2023) ont rapporté une corrélation modérée à forte entre le test de 10 m et le TM6 chez des personnes ayant un cancer de la tête et du cou ou des poumons (Eden et al., 2018; Kim et al., 2023, *Annexe 2I*). Ces études portaient sur des types de cancer spécifiques et n'incluaient pas le TM2. Par ailleurs, la version autotest n'a encore pas été évaluée en contexte oncologique.

Ainsi, différents tests de marche évaluant la capacité fonctionnelle de marche sont utilisés en clinique. Malgré leur utilisation, les propriétés de certains de ces outils (validité du TM2 en contexte oncologique) ainsi que le concept partagé entre les différents tests (TM2-TM6-test de 10 m) restent à déterminer.

La question de recherche de cette étude était :

« Quelle est la faisabilité, la validité de critère et la validité de construit convergente du TM2 et du test de marche de 10 m en contexte oncologique ? »

Objectifs et hypothèses

Objectif primaire

L'objectif principal était d'évaluer la faisabilité des tests TM2, TM6 et test de marche de 10 m chez des personnes atteintes d'un cancer.

L'hypothèse était que leur bonne faisabilité leur permettrait d'être utilisés en contexte oncologique. En effet, leur courte durée, leur caractère sécuritaire et leur facilité de réalisation en pratique clinique devraient contribuer à leur bonne faisabilité (Scalzitti et al., 2018).

Objectifs secondaires

- L'étude visait également à évaluer la validité des différents tests ;
- Une analyse exploratoire par sous-groupes d'âge était également effectuée, l'âge ayant une influence significative sur la capacité de marche (Wu & Zhao, 2021) ;
- Enfin, l'étude avait pour objectif de déterminer la faisabilité d'une version auto-testée du test de 10 m ainsi que sa validité comparée au test de 10 m usuel, évalué par un thérapeute.

L'hypothèse était que la vitesse de marche de chaque test serait modérément à fortement corrélée (coefficient de corrélation au-dessus ou égal à 0,40) (Schober et al., 2018). En effet, des corrélations modérées à excellentes entre les résultats des trois tests de marche ont été mises en évidence dans de précédentes études avec diverses populations (enfants, adultes, atteintes de pathologies pulmonaire, neurologique, musculosquelettique ou de troubles psychiques *cf. Chapitre 2, Introduction ; Annexe 3 et 21*). Concernant l'autotest, l'hypothèse était que cette version du test de 10 m puisse être utilisée chez des personnes atteintes de cancer, compte tenu de sa facilité d'utilisation. Les résultats du test de 10 m en autotest seraient fortement corrélés aux résultats du test de 10 m avec thérapeute, étant donné leur procédure similaire.

Méthode

Design

Le design était une étude de propriétés d'outils (étude de validation).

Conception et cadre de l'étude

Cette étude transversale de validité s'est déroulée de février à mars 2021 aux HUG.

Participants

Critères d'éligibilité

Pour participer à l'étude, les personnes devaient remplir les critères d'éligibilité ci-dessous (**Tableau 26**) :

Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
• Être atteint d'une maladie oncologique • Être âgé de plus de 18 ans • Être capable de marcher pendant 6 min sans moyen auxiliaire • Être capable de donner son consentement écrit • Avoir une autorisation médicale pour réaliser les évaluations	• Avoir une contre-indication empêchant la réalisation des tests de marche (troubles cardiaques instables, <i>p. ex.</i>) • Avoir une douleur > 2 / 10 à la marche • Avoir des effets secondaires trop importants pour suivre la procédure de test (fatigue intense, <i>p. ex.</i>) • Être incapable de réaliser les tests à cause de difficultés de compréhension des consignes ou de problèmes psychologiques

Tableau 26. Critères d'inclusion et d'exclusion utilisés pour évaluer l'éligibilité des patients de l'étude de propriétés d'outils

Recrutement

Les patients étaient recrutés consécutivement aux HUG lors d'un rendez-vous de suivi en ambulatoire avec leur oncologue. Après avoir vérifié leur admissibilité, une personne qui n'était pas impliquée dans leur prise en charge leur fournissait les informations relatives à l'étude. Ces informations comprenaient le but de l'étude, les procédures, les avantages et les risques. Ils recevaient ensuite une lettre d'information (**Annexe 22**) et pouvaient poser toutes les questions souhaitées. Les participants devaient ensuite donner leur consentement écrit pour pouvoir participer à l'étude.

Considérations éthiques

L'étude a été examinée et approuvée par la Commission d'éthique de Genève (CCER de Genève – 2020-00126).

Procédure d'évaluation

Quatre tests de marche (TM6, TM2, test de 10 m, test de 10 m en autotest) et un test de caractérisation (test d'équilibre unipodal) ont été administrés par une même évaluatrice, dans un ordre aléatoire. L'ordre des tests était défini avant les évaluations par un tirage au sort à l'aide d'une enveloppe opaque. Le participant débutait par une période de repos assis lors de laquelle ses constantes (fréquence cardiaque (FC, bpm), saturation (SpO₂, %)), sa fatigue et sa sensation de l'effort évaluée sur une échelle BORG de 0 à 10 (Borg, 1982) étaient mesurées. Le premier test de marche était ensuite expliqué. Les différents tests étaient réalisés à la suite, entrecoupés d'une période de repos assis. La durée de la phase de repos était adaptée à la FC, à la SpO₂ ainsi qu'à l'intensité de l'effort selon l'échelle de BORG du participant. Ainsi, la période de repos était interrompue lorsque les valeurs étaient revenues aux valeurs mesurées avant les tests. Les tests ont été effectués dans le service de réadaptation des HUG par trois physiothérapeutes familières des tests de marche de terrain. Des séances de standardisation des tests ont été organisées pour s'assurer du respect des procédures de test par les évaluatrices.

Au vu des contraintes pratiques (connaissances du test réalisé par le participant et l'évaluatrice), l'aveuglement n'était pas utilisé dans cette étude.

Description des outils d'évaluation

Test de marche de 6 min (TM6)

Le TM6 était réalisé selon la méthodologie décrite dans l'**Étude 3**. Pour cette étude, les participants étaient, en revanche, encouragés avec des phrases types standardisées (ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories., 2002). La distance parcourue à 2 et 6 min était retenue. La FC, la SpO₂ et l'intensité de l'effort avant le test, à 2, 4 et 6 min étaient mesurées. La FC et la SpO₂ étaient évaluées à l'aide d'un oxymètre à doigt (Onyx® Vantage 9590, 2020, Nonin, Minneapolis, États-Unis), considéré comme une technique fiable pour détecter une baisse notable de la fonction respiratoire. Le seuil préoccupant était fixé à 80 % de saturation (Agarwala & Salzman, 2020; Nitzan et al., 2014). L'intensité de l'effort et la fatigue étaient recueillies en demandant aux participants d'évaluer leur sensation entre 0 (pas d'effort ou de fatigue) à 10 (effort ou fatigue maximum) (Gries et al., 2018). Le TM6 était interrompu en cas de douleur > 2/10 sur l'échelle d'évaluation

numérique (NRS) pendant la marche, de désaturation $< 80\%$ de SpO_2 ou de risque important de chute.

Test de marche de 2 min (TM2)

Le TM2 était réalisé selon la procédure du TM6 (Holland et al., 2014). La FC, la SpO_2 , la sensation de l'effort et la fatigue étaient enregistrées avant et après le test de 2 min. Les propriétés de l'outil sont décrites dans l'*Annexe 1*.

Test de marche de 10 m

Le test de marche de 10 m consistait à parcourir une distance de 10 m à vitesse confortable puis rapide dans un couloir droit de l'hôpital. Le temps nécessaire pour parcourir cette distance était mesuré à l'aide d'un chronomètre. La mesure au chronomètre est une mesure valide pour établir la vitesse de marche. Sa validité comparée à un chronométrage automatique a été attestée ($0,99 < ICC < 1$) (Peters et al., 2013).

Le test était effectué sur une distance de 14 m pour obtenir 2 m d'accélération et 2 m de décélération (Gafner & Bruyneel, 2022). La procédure était répétée trois fois (Eden et al., 2018). À l'aide d'une courte vidéo expliquant comment effectuer le test, les participants étaient invités à « marcher à leur vitesse habituelle, comme pour se rendre aux commissions, jusqu'à la ligne blanche » puis à « marcher aussi vite que possible jusqu'à la ligne blanche ». Les participants et l'évaluatrice mesuraient simultanément le temps de marche sur 10 m. La mesure effectuée par le participant et la vidéo explicative visaient à évaluer la faisabilité d'effectuer le test de manière autonome à domicile. Les propriétés du test de marche de 10 m sont détaillées à l'*Annexe 1*.

Test unipodal

Le test d'équilibre unipodal a été réalisé afin d'apporter des informations sur les caractéristiques de la population, soit la capacité de maintien de l'équilibre unipodal. Il a été effectué les yeux ouverts, du côté du membre inférieur choisi par le participant, les membres supérieurs relâchés sur les côtés (Michikawa et al., 2009). L'essai était interrompu au-delà de 60 s. Le meilleur des deux essais était retenu (Michikawa et al., 2009). Les propriétés du test se trouvent à l'*Annexe 1*.

Analyses statistiques

Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel Stata V.15 (StataCorp, Texas, États-Unis, 2017).

Calcul de la taille d'échantillon

Selon les recommandations du Consensus-based Standards for the Selection of Health Measurement Instruments (COSMIN), un minimum de 50 participants était requis (de Vet et al., 2011).

Traitement et analyse des données

Le taux d'inclusion a été calculé. De même, la moyenne des trois essais du test de marche de 10 m a été calculée. Puis, la durée mesurée des tests TM6, TM2 et test de 10 m a été convertie en vitesse selon la formule suivante :

$$\text{Vitesse de marche} = \frac{\text{distance (m)}}{\text{temps (s)}}$$

En cas de données manquantes, les données précédemment collectées étaient considérées.

Normalité des données

L'évaluation de la normalité des données a été réalisée à l'aide d'une analyse exploratoire des données.

Statistiques descriptives

Des pourcentages pour les variables catégorielles et des moyennes $\pm$ écart-types pour les variables continues ont été calculés.

Statistiques inférentielles

Faisabilité

La faisabilité des tests TM6, TM2, test de 10 m, test de 10 m en autotest était déterminée en fonction :

- de la sûreté de l'essai (désaturation $< 80\%$ SpO₂) ;
- des effets indésirables (douleurs impactant la marche $> 2/10$ sur la NRS, nombre de chutes) ;
- de l'espace requis pour le test ;

- des éléments apportés dans l'étude de Tyson et Connell (2009), soit le temps nécessaire à l'administration et à l'interprétation de l'outil, l'équipement et la formation requis, le coût et la portabilité de l'outil de mesure (Tyson & Connell, 2009).

Une note de 9/10 était requise pour recommander l'utilisation de l'outil en pratique clinique (Tyson & Connell, 2009).

Validité

Des corrélations de Pearson ont été employées pour évaluer la validité de critère du TM2 comparé au TM6. Un graphique de Bland-Altman a également été réalisé pour visualiser la concordance entre le TM2 et les 2 premières minutes du TM6. Les limites de concordance, en anglais, « *limits of agreement* » (LOA95%) ont été calculées (différence moyenne entre les deux tests $\pm 1,96$ * écart-type de la différence entre les tests).

Concernant la validité de construit convergente du test de marche de 10 m comparé au TM6 et TM2, des corrélations de Pearson ont été utilisées.

Compte tenu de l'âge, de l'hétérogénéité des patients atteints de cancer et de l'effet de l'âge sur la capacité de marche (Wu & Zhao, 2021), des analyses exploratoires selon l'âge des participants (< 65 ans et ≥ 65 ans) ont été ajoutées. Ainsi, des corrélations selon les sous-groupes d'âge ont été effectuées.

La validité de critères concurrente du test de marche de 10 m en autotest comparé à la version usuelle a été évaluée à l'aide des corrélations de Pearson et d'un graphique de Bland-Altman.

Une corrélation de 0,90 était considérée comme très forte, de 0,70 à 0,89 forte, de 0,40 à 0,69 moyenne, de 0,10 à 0,39 faible et de moins de 0,10 négligeable (Schober et al., 2018). Pour toutes les analyses, le niveau de significativité de la valeur p était fixé à $p < 0,05$.

Audit

Des audits internes ont été effectués pour s'assurer du respect du protocole par les différentes évaluatrices.

Résultats

Participants

Tous les participants ont été recrutés et testés entre février et mars 2021. Le taux d'inclusion s'élevait à 25,38 %. La principale raison du refus était le trop grand nombre de rendez-vous déjà prévus. Les autres raisons étaient l'impossibilité d'effectuer les tests sans moyens auxiliaires à la marche, le refus de participer à l'étude, la douleur $> 2/10$ pouvant impacter la marche, le fait de ne pas comprendre le français, une fatigue trop élevée pour participer ainsi que les déficiences cognitives (incapacité à comprendre les consignes).

Tous les participants ont terminé la procédure de test, sauf une personne qui a ressenti des douleurs à un membre inférieur $> 2/10$ au cours du TM6. Par conséquent, les données de 56 participants ont été analysées pour tous les tests, sauf pour le TM6 ($n = 55$).

Les participants étaient âgés de $65,50 \pm 11,90$ ans et le type de cancer le plus fréquent était le lymphome/leucémie, suivi du cancer du poumon et du côlon. La plupart des participants a reçu une chimiothérapie (*Tableau 27*).

Caractéristiques des participants (N = 56)	
Caractéristiques	Résultats
Age (années)	$65,50 \pm 11,90$ (36 - 90)
Taille (cm)	$170,60 \pm 8,90$ (150 - 192)
Poids (Kg)	$71,30 \pm 14,30$ (41,50 - 118)
IMC (Kg/m ²)	$24,50 \pm 4,40$ (14,70 - 42,30)
Femmes, n (%)	17 (30)
Temps depuis le diagnostic (année)	$3,70 \pm 4,10$ (0 - 16)
Type de cancer, n (%)	
Lymphome, leucémie	12 (21)
Poumon	9 (16)
Colon	5 (9)
Rectum	3 (5)
Sein	3 (5)
Ovaires	3 (5)
Prostate	2 (4)
Foie	2 (4)
Pancréas	2 (4)
Œsophage	2 (4)
Oropharynx	2 (4)
Vessie	2 (4)
Cerveau	2 (4)
Myélome	1 (2)
Peau	1 (2)
Sarcome	1 (2)
Rein	1 (2)
Petit intestin	1 (2)
Erdheim Chester	1 (2)
Vésicule biliaire	1 (2)
Carcinome d'origine inconnue	1 (2)

Métastase, n (%)	
Oui	25 (45)
Non	31 (55)
Intention de traitement	
Curatif	30 (55)
Palliatif	16 (29)
Autres (en rémission)	9 (16)
Traitement actuel	
Chimiothérapie	14 (25)
Immunothérapie	9 (16)
Thérapie ciblée	5 (9)
Hormonothérapie	3 (5)
Chimiothérapie + radiothérapie	2 (4)
Chimiothérapie + thérapie ciblée	2 (4)
Chimiothérapie + radiothérapie	2 (4)
Hormonothérapie + radiothérapie	1 (2)
Immunothérapie + thérapie ciblée	1 (2)
Aucun	17 (30)
Capacité d'équilibre	
Temps unipodal (s)	32,60 ± 22,20 (0,70 - 60)
Sous-groupe < 65 ans	
Age (années)	53,90 ± 6,50 (36 - 63)
Taille (cm)	172,00 ± 9,20 (158 - 185)
Poids (Kg)	72,70 ± 16,40 (45 - 118)
IMC (Kg/m ²)	24,60 ± 5,50 (17,80 - 42,30)
Femme, n (%)	3 (13)
Sous-groupe ≥ 65 ans	
Age (années)	73,70 ± 6,90 (65 - 90)
Taille (cm)	169,60 ± 8,70 (150 - 192)
Poids (Kg)	70,40 ± 12,90 (41,50 - 92)
IMC (Kg/m ²)	24,40 ± 3,50 (14,70 - 29,80)
Femme, n (%)	14 (42)

Tableau 27. Caractéristiques liées au cancer des participants inclus. Données sous la forme de moyenne ± écart-type (min-max) ou n (%). N = 56 excepté pour le TM6 (n = 55), une donnée manquante. N = 23 pour le sous-groupe < 65 ans et n = 33 pour le sous-groupe ≥ 65 ans. IMC = indice de masse corporelle

Résultats des tests de marche

Les résultats obtenus aux différents tests de marche sont présentés dans le **Tableau 28**.

Paramètre	TM2	TM6	Test de 10 m
Groupe entier			
Vitesse (m/s)	1,34 ± 0,31 (0,76 – 2,38)	1,31 ± 0,33 (0,70 – 2,17)	1,26 ± 0,26 (0,74 – 1,93)
Vitesse 2 premières min (m/s)	-	1,31 ± 0,30 (0,71 – 2,12)	-
Vitesse 4 dernières min (m/s)	-	1,30 ± 0,36 (0,59 – 2,19)	-
Vitesse rapide (m/s)	-	-	1,67 ± 0,36 (0,92 – 2,46)
Autotest vitesse confortable (m/s)	-	-	1,27 ± 0,27 (0,73 – 1,93)
Autotest vitesse rapide (m/s)	-	-	1,69 ± 0,37 (0,96 – 2,49)
Distance 2 min (m)	160,60 ± 37,30 (91,00 – 285,00)	157,50 ± 36,10 (85,00 – 254,00)	-
Distance 6 min (m)	-	469,90 ± 117,10 (252,00 – 780,00)	-
BORG (/10)			
Pré	1,80 ± 1,60 (0,00 – 6,00)	1,30 ± 1,50 (0,00 – 5,00)	-
2 min	4,10 ± 1,80 (1,00 – 8,00)	3,60 ± 1,60 (0,00 – 6,00)	-
4 min	-	4,00 ± 1,70 (0,00 – 8,00)	-
6 min	-	4,60 ± 1,60 (1,00 – 8,00)	-
SpO₂ (%)			

Pré	97,70 ± 0,90 (95,00 – 100,00)	97,80 ± 1,00 (96,00 – 100,00)	-
2 min	96,00 ± 2,70 (84,00 – 100,00)	96,10 ± 2,20 (90,00 – 99,00)	-
4 min	-	95,90 ± 3,00 (84,00 – 100,00)	-
6 min	-	95,60 ± 3,60 (80,00 – 99,00)	-
FC (bpm)			
Pré	80,20 ± 14,90 (61,00 – 141,00)	79,00 ± 14,00 (56,00 – 144,00)	-
2 min	102,00 ± 16,60 (45,00 – 136,00)	103,30 ± 15,60 (65,00 – 145,00)	-
4 min	-	105,00 ± 16,50 (64,00 – 149,00)	-
6 min	-	107,40 ± 15,30 (79,00 – 159,00)	-
Fatigue (/10)			
Pré	3,00 ± 2,10 (0,00 – 8,00)	2,80 ± 2,10 (0,00 – 8,00)	-
Post	3,60 ± 2,20 (0,00 – 8,00)	3,80 ± 2,10 (0,00 – 8,00)	-
Récupération SpO₂, (n, %)			
< 60 s	30 (54)	33 (60)	-
60-180 s	23 (41)	17 (31)	-
> 180 s	3 (5)	5 (9)	-
Récupération FC (sec)			
< 60 s	15 (27)	6 (11)	-
60-180 s	31 (55)	28 (52)	-
> 180 s	10 (18)	20 (37)	-
Pause			
N participant avec pause (n, %)	0	2 (4)	-
Durée des pauses (sec)	0,00	47,30 ± 36,50 (8,00 – 80,00)	-
Sous-groupe < 65 ans			
Vitesse (m/s)	1,41 ± 0,29 (0,96 – 2,04)	1,47 ± 0,32 (0,90 – 2,20)	1,35 ± 0,27 (0,90 – 1,93)
Vitesse rapide (m/s)	-	-	1,85 ± 0,34 (1,31 – 2,46)
Sous-groupe ≥ 65 ans			
Vitesse (m/s)	1,29 ± 0,32 (0,76 – 2,38)	1,19 ± 0,28 (0,70 – 1,76)	1,20 ± 0,24 (0,74 – 1,61)
Vitesse rapide (m/s)	-	-	1,55 ± 0,33 (0,92 – 2,11)

Tableau 28. Résultats obtenus aux TM2, TM6 et test de 10 m. Les données sont présentées sous la forme de moyenne ± écart-type (min-max) ou n (%). FC = fréquence cardiaque, SpO₂ = saturation, TM6 = test de marche de 6 min, TM2 = test de marche de 2 min. N = 56 sauf pour le TM6, n = 55, n = 54 pour la fatigue et la récupération de la FC du TM6, deux données manquantes

Faisabilité des différents tests

Aucun problème de sécurité n'a été relevé, à l'exception du participant ayant dû arrêter le TM6 en raison de douleurs à un membre inférieur > 2/10. Deux participants ont dû prendre une pause durant les 4 dernières minutes du TM6 en raison de l'intensité de l'effort. Tous les participants ont pu effectuer le test de 10 m et le TM2 sans problèmes de sécurité ni événements indésirables. Selon l'échelle de Tyson et Connell, les TM2, TM6 et test de 10 m étaient réalisables (note ≥ 9/10, cf. **Tableau 29** pour plus de détails). Toutefois, le test de 10 m nécessitait moins d'espace (14 m par rapport à 34 m). La version autotest du test de 10 m était également réalisable, à l'exception des instructions par vidéo. En effet, les explications ont dû être répétées par les examinatrices pour la majorité des participants.

	TM2	TM6	Test de 10 m / test de 10 m en autotest
Temps nécessaire pour administrer, analyser et interpréter le test	3	2	3

Coût	3	3	3
Matériel spécifique et formation nécessaire	2	2	2
Portabilité de l'outil de mesure	2	2	2
Total	10	9	10

Tableau 29. Scores pour la faisabilité des tests selon les items de Tyson and Connell (2009). TM2 = test de marche de 2 min, TM6 = test de marche de 6 min

Validité de critère et de construit

En ce qui concerne la validité de critère du TM2 par rapport au TM6, les résultats du TM2 étaient fortement à très fortement corrélés aux résultats du TM6 pour l'ensemble du groupe et les deux sous-groupes d'âge ($0,82 \leq r \leq 0,94$, $p < 0,01$, **Tableaux 30 et 31, Figure 17**). Le diagramme de Bland-Altman n'a montré aucune erreur systématique entre les résultats du TM2 et les 2 premières minutes du TM6 (**Figure 18**). De plus, la dispersion des différences était homogène sur l'ensemble des valeurs de moyenne. La différence moyenne était de $2,50 \pm 15,10$ m, avec une LOA95% supérieure de 32,10 m et une LOA95% inférieure de 27,10 m.

	TM2	2 min TM6	TM6	Test de 10 m vitesse confortable	Test de 10 m vitesse rapide	Test de 10 m autotest
TM2		0,92	0,84	0,64	0,68	-
2 min du TM6	0,92		0,91	0,69	0,74	-
TM6	0,84	0,91	-	0,61	0,71	-
Test de 10 m vitesse confortable	0,64	0,69	0,61	-	-	0,99
Test de 10 m vitesse rapide	0,68	0,74	0,71	-	-	0,99
Test de 10 m autotest	-	-	-	0,99	0,99	-

1,00 - 0,90	0,89 - 0,70	0,69 - 0,40	0,39 - 0,10	< 0,10

Coefficient de corrélation de Pearson (r)

Tableau 30. Coefficients de corrélation de Pearson. La significativité était $< 0,001$ pour toutes les analyses. TM6 = test de marche de 6 min, TM2 = test de marche de 2 min. $N = 56$ sauf pour les résultats du TM6, $n = 55$

Sous-groupe < 65 ans						
	TM2	2 min TM6	TM6	Test de 10 m vitesse confortable	Test de 10 m vitesse rapide	Test de 10 m autotest
TM2	-	0,94	0,82	0,58	0,66	-
2 min du TM6	0,94	-	-	-	-	-
TM6	0,82	-	-	0,47	0,56	-
Test de 10 m vitesse confortable	0,58	-	0,47	-	-	1,00
Test de 10 m vitesse rapide	0,66	-	0,56	-	-	0,99
Test de 10 m autotest	-	-	-	1,00	0,99	-
Sous-groupe ≥ 65 ans						
	TM2	2 min TM6	TM6	Test de 10 m vitesse confortable	Test de 10 m vitesse rapide	Test de 10 m autotest
TM2	-	0,93	0,90	0,66	0,68	-

2 min du TM6	0,93	-	-	-	-
TM6	0,90	-	-	0,65	0,71
Test de 10 m vitesse confortable	0,66	-	0,65	-	0,99
Test de 10 m vitesse rapide	0,68	-	0,71	-	0,99
Test de 10 m autotest	-	-	-	0,99	0,99

1,00 - 0,90	0,89 - 0,70	0,69 - 0,40	0,39 - 0,10	< 0,10

Coefficient de corrélation de Pearson (r)

Tableau 31. Coefficients de corrélation de Pearson par sous-groupes d'âge. Valeur $p < 0,001$ pour toutes les analyses sauf celles en italiques où la p valeur $< 0,05$. TM6 = test de marche de 6 min, TM2 = test de marche de 2 min. $N = 56$ sauf pour les résultats du TM6, $n = 55$

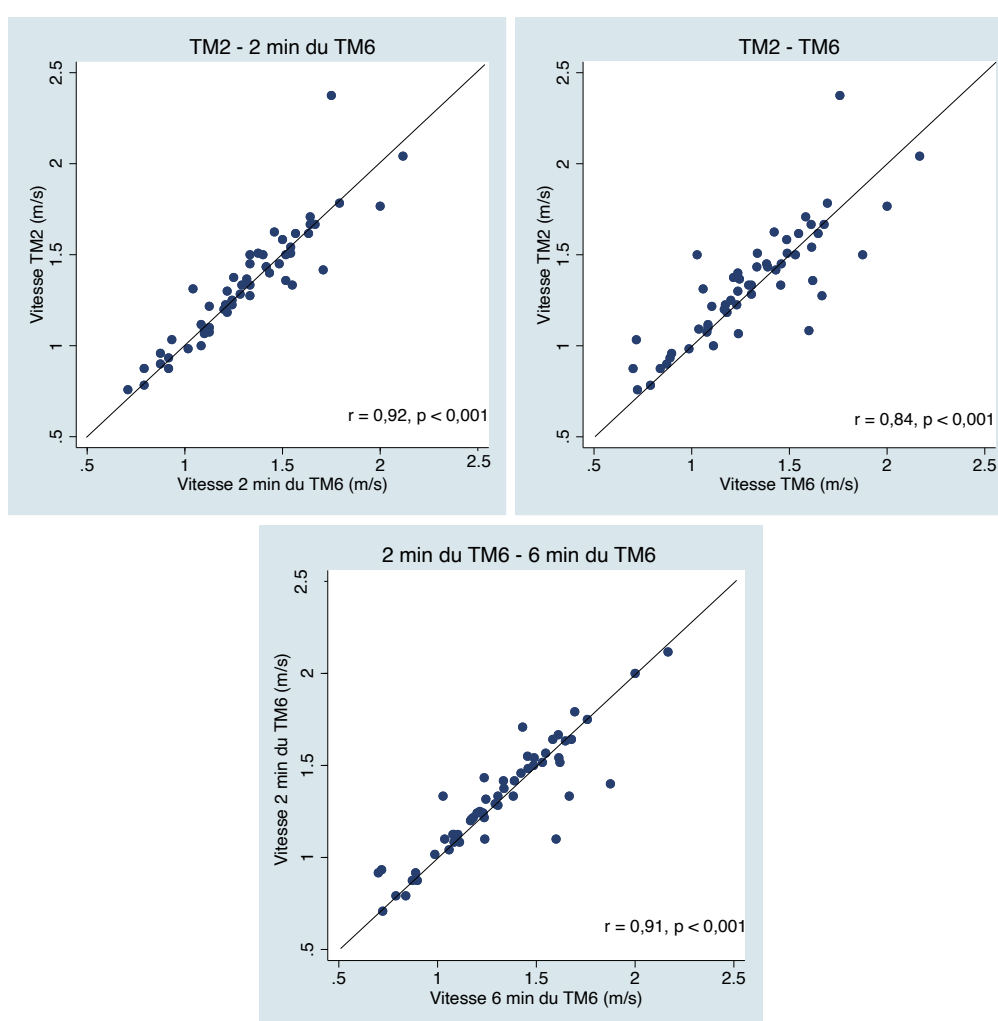


Figure 17. Corrélation de Pearson entre le TM2 et les 2 premières minutes du TM6, le TM2 et le TM6 et les 2 premières minutes du TM6 et le TM6. Ligne continue = ligne de corrélation parfaite théorique. p = valeur p , r = corrélation, TM2 = test de marche de 2 min, TM6 = test de marche de 6 min. $n = 55$

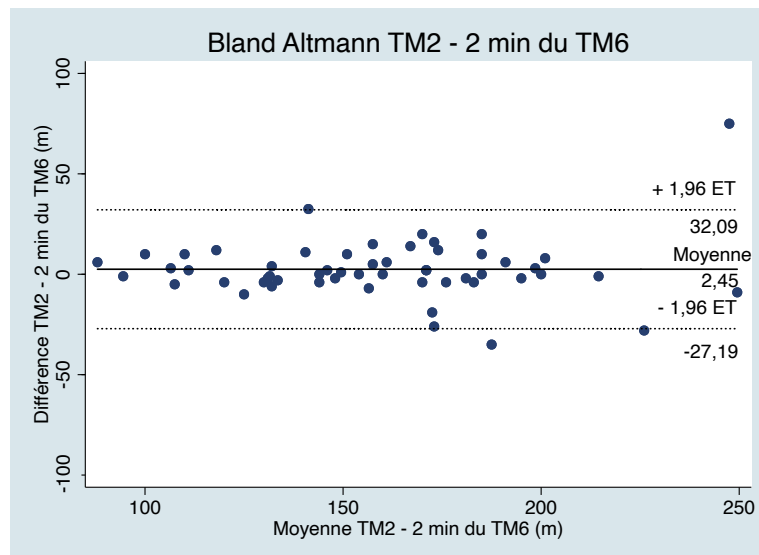


Figure 18. Graphique Bland Altman du TM2 et des 2 premières minutes du TM6. Ligne continue = différence moyenne. Ligne pointillée = différence moyenne $\pm 1,96$ écart-type. ET = écart-type, TM2 = test de marche de 2 min, TM6 = test de marche de 6 min. $n = 55$

Concernant la validité de construit convergente du test de 10 m par rapport au TM6, les résultats du test de 10 m étaient modérément à fortement corrélés aux résultats du TM6 pour les vitesses confortable et rapide ($0,61 \leq r \leq 0,71$, $p < 0,01$, **Tableau 30, Figure 19**). Les coefficients de corrélation entre ces tests étaient plus élevés chez les participants ≥ 65 ans par rapport aux plus jeunes à vitesses confortable ($r = 0,65$, $p < 0,01$ vs. $r = 0,47$, $p = 0,03$) et rapide ($r = 0,71$, $p < 0,01$ vs. $r = 0,56$, $p < 0,01$, **Tableau 31**).

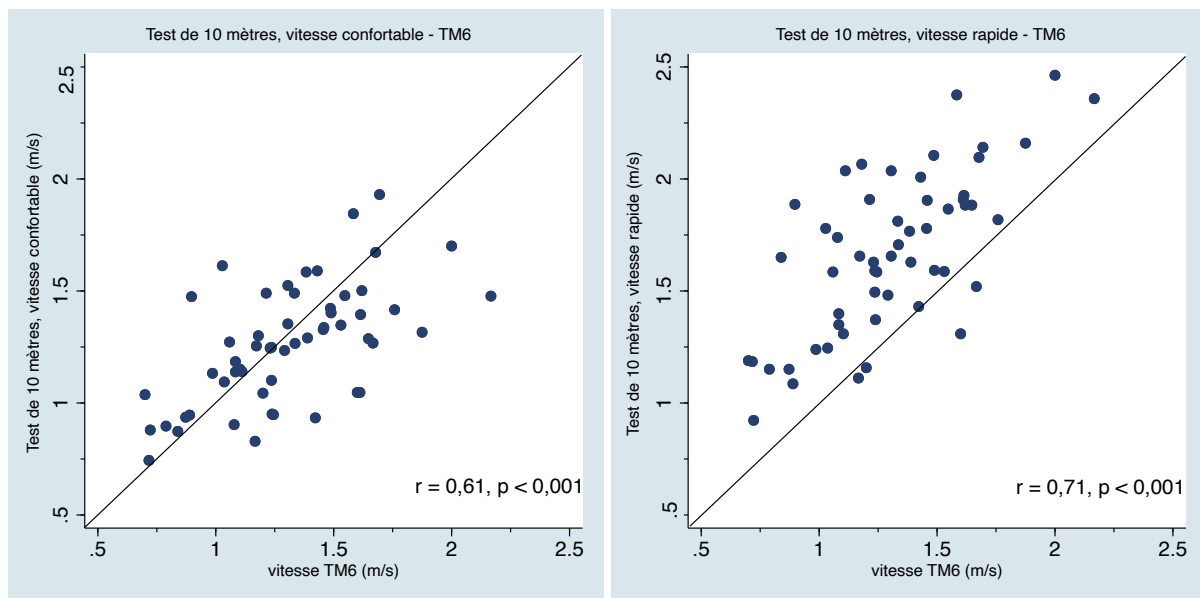


Figure 19. Corrélations de Pearson entre le test de 10 m et le TM6 à vitesse confortable et rapide. Ligne continue = ligne de corrélation parfaite théorique. p = valeur p , r = corrélation, TM6 = test de marche de 6 min. $n = 55$

Pour la validité de construit du test de marche de 10 m comparé au TM2, des corrélations modérées ont été observées entre les résultats des deux tests pour la marche confortable et la marche rapide, dans l'ensemble du groupe et des sous-groupes ($0,58 \leq r \leq 0,68$, $p < 0,01$, **Tableaux 30 et 31**).

Concernant la validité de critère convergente entre le test de 10 m en autotest et la version avec thérapeute, des corrélations fortes entre les deux tests étaient observées, à la fois pour les vitesses confortable et rapide. Ces résultats étaient retrouvés dans le groupe entier et dans les sous-groupes d'âge ($0,99 \leq r \leq 1,00$, $p < 0,01$, **Tableaux 30 et 31, Figure 20**). Les graphiques de Bland-Altman ne montraient aucune différence systématique entre les tests (**Figure 21**). La différence moyenne était de $0,01 \pm 0,03$ m pour la marche confortable avec une LOA95% supérieure de 0,05 m et une LOA95% inférieure de 0,07 m. Pour la marche rapide, la différence moyenne était $0,02 \pm 0,05$ m avec une LOA95% supérieure de 0,08 m et une LOA95% inférieure de 0,12 m.

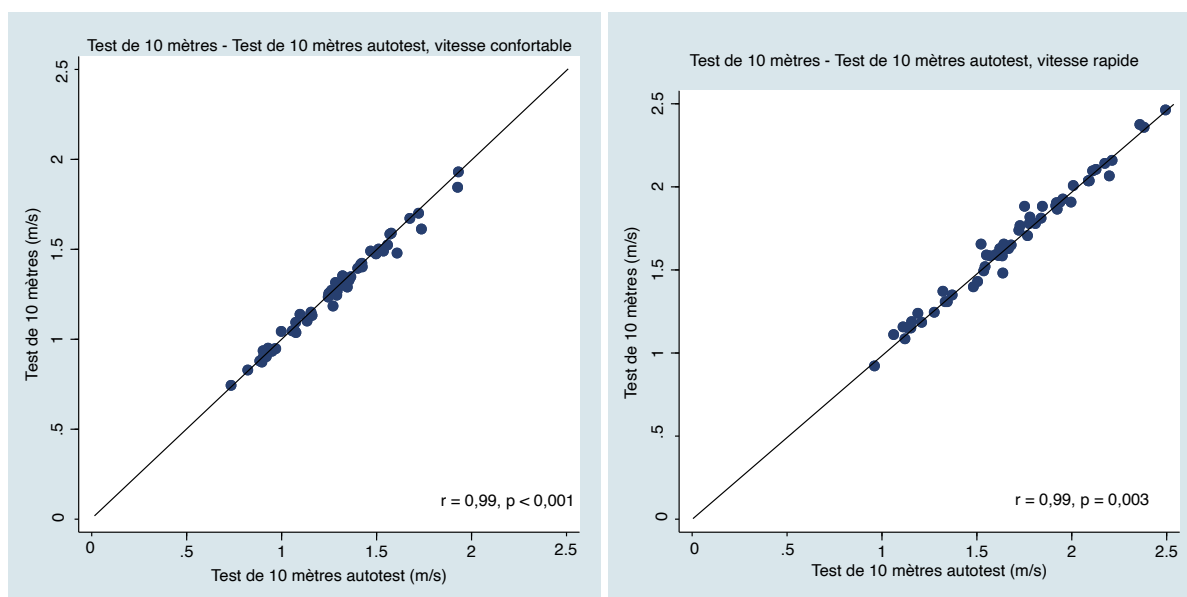


Figure 20. Corrélations de Pearson entre le test de 10 m et le test de 10 m en autotest à vitesse confortable et rapide. Ligne continue = ligne de corrélation parfaite théorique. p = valeur p , r = corrélation. $n = 55$

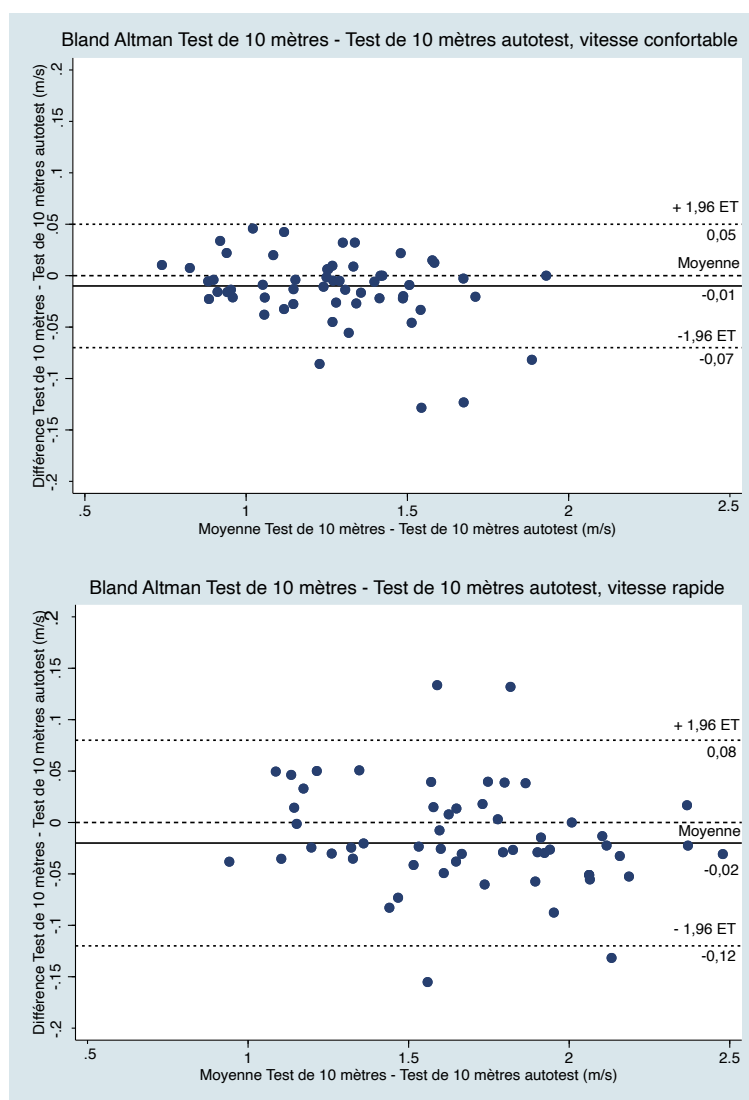


Figure 21. Graphiques Bland Altman du test de 10 m et du test de 10 m en autotest. Ligne continue = différence. Ligne pointillée = différence moyenne $\pm 1,96$ écart-type. ET = écart-type. $n = 55$

Discussion spécifique

Les différents tests de marche (TM2, TM6 et test de 10 m) étaient tous faisables auprès des personnes atteintes de cancer. Les résultats des trois tests étaient modérément à très fortement corrélés les uns aux autres. En outre, la validité concurrente de la version autotest du test de 10 m avec la version évaluée par le thérapeute était excellente. Par rapport au TM6, le TM2 et le test de 10 m permettaient aux cliniciens de tester facilement la capacité de marche des participants avec moins de contraintes.

En plus d'être moins chronophages, le TM2 et le test de 10 m étaient facilement réalisés par les participants. Les tests plus courts semblent avantageux dans un contexte oncologique. Selon Davies et al. (2016), le TM2 est davantage faisable que le TM6 en cas de forte fatigue, de faiblesse musculaire ou de difficultés à la marche (Davies et al., 2016). Concernant

l'enseignement par vidéo, au vu du nombre de participants ayant eu besoin d'une explication à l'oral et d'une démonstration, il serait préférable de privilégier un enseignement en présentiel avant d'envisager la version par vidéo pour permettre une standardisation adéquate. A ce jour, il semble qu'un nombre restreint d'études ait fait usage de la vidéo comme moyen d'instruction du test de marche de 10 m (Saito et al., 2022; Salbach et al., 2021) et aucune n'a évalué la faisabilité de ce moyen d'instruction.

Les résultats du TM2 étaient fortement corrélés à ceux du TM6 chez les personnes atteintes de cancer, comme cela avait été établi chez de nombreuses populations (Bohannon et al., 2014; W. L. S. Chan & Pin, 2019; Connelly et al., 2009; Kosak & Smith, 2005; Leung et al., 2006; Scalzitti et al., 2018). Les vitesses de marche obtenues lors des deux tests se sont avérées être fortement similaires, représentant davantage une vitesse confortable qu'une vitesse maximale, malgré l'instruction de marcher le plus loin possible (et donc à la vitesse la plus élevée possible). Les valeurs faibles à modérées de dyspnée, de FC et de SpO₂ à la fin des tests en témoignent. Les performances du TM2 et du TM6 étant proches, le TM2 pourrait être suffisant pour démontrer ce que le TM6 évalue (*c.-à-d.* les réactions des différents systèmes -pulmonaire, cardiovasculaire et neuromusculaire, sans différenciation entre ces systèmes- impliqués dans l'effort sous-maximal) (ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories., 2002). Ainsi, ce test informe sur la tolérance à l'activité par un effort d'endurance sous-maximal (Eden et al., 2018). Il permet également de prédire la survie de patients atteints de cancer du poumon, comme démontré précédemment (Jones et al., 2012). Selon ce qui a été observé, le TM2 pourrait être utilisé en lieu et place du TM6, ce dernier ne semblant pas fournir d'information supplémentaire en contexte oncologique.

Contrairement à la majorité des études antérieures (Adonis & Taylor, 2016; Andersson et al., 2011; W. L. S. Chan & Pin, 2019; Dalgas et al., 2012; Flansbjer et al., 2005; Forrest et al., 2014; Kamiya et al., 2018; Scalzitti et al., 2018; van Hedel et al., 2007) (**Annexe 21**), seules des corrélations modérées ont été observées entre les résultats du test de 10 m et ceux du TM2 ou du TM6. Ces différences pourraient provenir des populations étudiées. En effet, la plupart des études ont été réalisées sur des personnes atteintes de pathologies neurologiques dont les conséquences de la pathologie sont plus susceptibles d'impacter négativement la vitesse de marche (Dalgas et al., 2012).

Conformément à l'étude de Winters-Stone et al. (2019), les personnes atteintes de cancer ne présentaient pas de vitesse de marche altérée au test de 10 m (Winters-Stone et al., 2019). Les vitesses étaient dans la norme des personnes du même âge (Bohannon & Andrews, 2011). Au contraire, les résultats obtenus au TM6 étaient en-dessous des valeurs normatives (Bohannon,

2017; Zhang et al., 2017). Ainsi, les corrélations modérées pourraient être liées à une performance d'un test plus fortement altérée que celle de l'autre test, chez les personnes atteintes de cancer.

Ces résultats concordent avec ceux de l'étude d'Eden et al. (2018), qui a démontré des écarts aux valeurs normatives plus importants pour le TM6 que pour le test de 10 m (Eden et al., 2018). Les participants pourraient avoir eu plus de difficultés à effectuer le test d'endurance en raison de problèmes d'équilibre (Monfort et al., 2017), d'une moindre motivation, de limitations cardiorespiratoires (Squires et al., 2018), d'une fatigue centrale affectant la performance motrice (Kisiel-Sajewicz et al., 2013) ou d'adaptations musculaires (atrophie des fibres I, augmentation du temps de fixation de la myosine dans les fibres I, diminution de la densité mitochondriale et passage à des fibres IIa/IIx plus rapides et plus puissantes) qui surviennent en présence d'un cancer (Toth et al., 2013, 2016).

Ces corrélations modérées entre les résultats du test de 10 m et ceux du TM6 et du TM2 confirment que le test effectué sur 10 m représente davantage une mesure de la capacité fonctionnelle générale et de l'état de santé d'une personne (Middleton et al., 2015) qu'un test d'endurance et de tolérance à l'activité (Eden et al., 2018). Le test de 10 m donne un aperçu rapide de la fragilité physique et mentale (faiblesse musculaire, troubles de la mobilité, déclin cognitif ou chutes) ou du risque de survenue d'événement négatif (incapacité dans les activités de la vie quotidienne, hospitalisation ou mortalité) (Abellan Van Kan et al., 2009; Binotto et al., 2018). Il ne reflète pas le niveau de désaturation ou les réactions du système cardiopulmonaire (Andersson et al., 2011).

Bien que l'âge ait exercé une influence mineure sur les forces de corrélation entre TM2 et TM6, une corrélation plus importante entre le test de 10 m, le TM6 et le TM2 a été observée chez les participants de 65 ans et plus comparé aux plus jeunes. Chez les sujets plus âgés, une mobilité réduite et une altération de la fonction musculaire (Izquierdo et al., 2021) peuvent avoir eu une incidence sur les deux tests et avoir mené à une corrélation plus forte.

Avec l'utilisation croissante de la télé-réadaptation, le suivi des personnes à domicile au moyen d'autotests présente un intérêt et permettrait d'évaluer à moyen terme les progrès de la personne sans avoir à se rendre à l'hôpital. D'après Houchen-Wolf et al. (2020), la vitesse de marche serait le meilleur paramètre pour mesurer la capacité d'effort lors d'évaluations cardio-respiratoire à distance (Houchen-Wolloff et al., 2020). La vitesse de marche est, par ailleurs, considérée comme le sixième signe vital par sa capacité à prédire certains événements de santé

(perte d'autonomie, mortalité, ...) (Middleton et al., 2015). Dans cette étude, la bonne concordance entre l'autotest et sa version usuelle a confirmé qu'un test de vitesse de marche pourrait servir à évaluer la capacité de marche à distance, comme également démontré dans l'étude de Saito et al. (2022) avec des personnes âgées (Saito et al., 2022). Ainsi, le patient pourrait autoévaluer sa progression et transmettre le résultat à un professionnel de santé pour adapter la prise en charge sans avoir besoin de se déplacer. Ceci pourrait être avantageux pour des habitats difficiles d'accès, des populations peu mobiles ou dans certains contextes de santé spécifiques (Houchen-Wolloff et al., 2020). Toutefois, le test a été mené en conditions standardisées (sol plat non glissant de l'hôpital, distance pré-mesurée, avec l'attention et le soutien d'un professionnel de santé). D'autres études en milieu écologique devraient confirmer la possibilité d'utiliser ce test (Houchen-Wolloff et al., 2020). Il convient notamment d'étudier si le test peut être réalisé à domicile en termes d'environnement, de respect du protocole établi et si son exécution est sécuritaire.

Limites

Seuls des patients externes pouvant marcher sans moyens auxiliaires et se sentant suffisamment aptes pour effectuer les tests de marche ont été inclus dans cette étude. Ces résultats ciblent donc cette population mais ils rejoignent de précédents résultats ayant évalué la validité du TM2 chez des personnes âgées vivant dans un centre de soin utilisant, pour la plupart, un moyen auxiliaire à la marche (Connelly et al., 2009). Ensuite, l'échantillon était composé principalement de personnes atteintes d'un lymphome, un cancer qui n'est pas l'un des quatre cancers les plus fréquents (Office fédéral de la Statistique, 2021). Ceci pourrait réduire la validité externe de l'étude, bien que la prévalence du lymphome dans la population reste élevée (Office fédéral de la Statistique, 2021).

Conforme aux recommandations (de Vet et al., 2011), la taille de l'échantillon était toutefois relativement petite. Une taille plus importante aurait permis l'analyse de sous-groupes supplémentaires, par exemple, selon les symptômes ou les capacités initiales.

Comme il était demandé aux participants de se chronométrer tout en effectuant le test de 10 m, la double tâche pourrait avoir entraîné une légère diminution de la vitesse de marche (Krasovsky et al., 2021; Monfort et al., 2019b). De plus, elle obligeait les participants à regarder les marques au sol. Compte tenu des résultats obtenus, cette limite ne semble pas avoir été un problème pour les participants testés.

Perspectives

La validité du TM2 chez des personnes atteintes de cancer hospitalisées et/ou marchant avec un moyen auxiliaire pourrait être évaluée. De futures études en milieux écologiques seraient également pertinentes pour évaluer l'intérêt du test de marche de 10 m en autotest.

Implications pratiques

Les différents tests de marche étaient faisables pour une population de patients externes atteints de cancers. En raison de la forte corrélation entre les résultats du TM2 et du TM6 ainsi que des performances similaires observées, le TM2 pourrait être utilisé en lieu et place du TM6 pour évaluer la capacité de marche. Ce test pourrait être particulièrement indiqué lors de fatigabilité importante, de capacités physiques réduites, de difficultés à la marche ou en cas de multiples capacités motrices à évaluer pour le suivi fonctionnel.

A la différence du TM2, le test de marche de 10 m ne partageait qu'en partie le concept de capacité de marche des TM2 et TM6 chez les patients ambulatoires atteints d'un cancer. Il ne peut, de ce fait, être utilisé de façon interchangeable. Ce test pourrait être considéré comme une évaluation générale permettant de donner une première indication sur la capacité de marche, aisément et rapidement. Outre sa praticité, il offre la possibilité de réaliser ce test au domicile du patient, notamment en autotest. Une excellente validité de critère était observée entre les résultats de la version autotest et la version usuelle.

Conclusion

Les points clés de cette étude étaient :

- ❖ La faisabilité du TM2, du test de marche de 10 m et du test de 10 m en autotest pour évaluer la capacité de marche en contexte oncologique est attestée.
- ❖ Le TM2 pourrait remplacer le TM6 en contexte oncologique ambulatoire car les résultats obtenus aux différents tests étaient fortement corrélés.
- ❖ En revanche, le test de 10 m ne peut être considéré comme une alternative aux TM2 et TM6 car il ne partage qu'en partie le même construit de capacité de marche.
- ❖ Le choix du test à utiliser dépend du paramètre à observer, des contraintes de temps, des contraintes environnementales et des capacités du patient.
- ❖ Le test de 10 m en autotest a montré des résultats prometteurs mais de futures études en milieu écologique sont nécessaires pour évaluer la validité de ce test dans sa condition d'utilisation.

V. Discussion générale

Les quatre études proposées ont apporté une compréhension plus approfondie des troubles du contrôle postural et des effets d'un programme de soins de support pour les patients en contexte oncologique. En effet, la littérature existante avait identifié des troubles du contrôle postural suite à la mise en place d'une chimiothérapie neurotoxique sans que les tests proposés ne permettent d'identifier les composantes sensorielles les plus affectées. De plus, les tests de marche les plus utilisés en pratique clinique n'avaient pas fait l'objet d'une évaluation de faisabilité et de validité pour ces patients pouvant avoir des atteintes combinant des troubles sensoriels, des déficits de capacités fonctionnelles (force et contrôle postural), de la fatigue et d'autres causes, telles que les troubles cognitifs ou la dépression. Enfin, si les programmes d'exercices avaient montré des effets bénéfiques dans des essais randomisés contrôlés qui mettent en évidence un effet moyen pour un groupe, aucune étude n'avait testé les effets de ces soins de support en milieu écologique ou avec des designs robustes permettant l'individualisation des soins. Ce travail doctoral, composé de quatre études, a apporté des connaissances complémentaires sur ces différents points. Ainsi, les résultats ont permis :

- De constater un contrôle postural quasi-statique et un schéma de marche altérés par la chimiothérapie par taxanes chez des femmes atteintes de cancer du sein.
- De mettre en évidence des stratégies d'adaptations du contrôle postural quasi-statique modifiant le poids porté aux différentes entrées sensorielles et sollicitant davantage les mécanismes pro-actifs ainsi que le contrôle supra-segmentaire.
- De cibler les causes possibles des troubles posturaux chimio-induits comprenant : les déficits somatoproprioceptifs liés à la CIPN, l'inactivité physique, la fatigue, les troubles cognitifs et les perturbations motrices.
- D'observer qu'un programme de soins de support permettait de stabiliser les capacités de contrôle postural et donc de limiter les effets négatifs des chimiothérapies.
- De mettre en évidence une fonction physique et une fatigue améliorées après un programme multimodal chez des personnes atteintes de divers types de cancer. Les personnes présentant des capacités initiales réduites et une fatigue plus prononcée bénéficiaient le plus des effets de ce programme.
- D'identifier les axes d'amélioration pour les futures prises en charge, incluant la personnalisation des soins et la mise en place de mesures visant à réduire les données manquantes ainsi que le taux d'abandon.
- De mettre en évidence que le TM2 et le test de marche de 10 m sont adaptés et faisables en contexte oncologique.

Va. Répercussions de la chimiothérapie neurotoxique sur la fonction physique

1. Quelles sont les répercussions d'une chimiothérapie neurotoxique sur la fonction physique des femmes atteintes de cancer du sein traitées par taxanes et quelles pourraient être les causes sous-jacentes ?

La chimiothérapie par taxanes induit une altération du contrôle postural ainsi que des perturbations du schéma de marche chez des personnes atteintes de cancer du sein. Étant donné l'absence de troubles pré-chimiothérapie, ces altérations seraient bien la conséquence des chimiothérapies neurotoxiques, comme précédemment démontré par une étude ayant inclus un groupe contrôle (Müller et al., 2020). Dans la première étude réalisée, 80 % des participantes présentaient des troubles du contrôle postural (déclarés ou objectivement mis en évidence) post chimiothérapie neurotoxique. Les instabilités posturo-dynamiques observées peuvent être expliquées par différentes causes :

a) Cause somatosensorielle

Les troubles du contrôle postural quasi-statiques étaient caractérisés par une détection plus tardive de l'instabilité. Ils pourraient être liés à des troubles de perception et de transmission de l'information somatoproprioceptive. En effet, les taxanes entraînaient des déficits somatoproprioceptifs avec des hyposensibilités superficielles et vibratoires, perturbant la détection de l'information. Des altérations des réflexes, reflétant une transmission altérée étaient également observées. Ces modifications étaient la conséquence d'altération des récepteurs cutanés, de dégénérescence axonale, de dégradation de la structure cellulaire et d'atrophie des ganglions de la racine dorsale induites par les taxanes, préalablement démontrées dans la littérature (Cho et al., 2021; Zajączkowska et al., 2019).

En condition quasi-dynamique, le déplacement antéro-postérieur avait tendance à être plus limité que celui médio-latéral, ce qui pourrait être lié à l'hyposensibilité distale chimio-induite (Argyriou et al., 2021), limitant les retours proprioceptifs et donc l'appui sur les orteils. Toutefois, les différences n'étaient pas statistiquement significatives.

Concernant la marche, un schéma de marche plus précautionneux, caractérisé par une réduction de la vitesse de marche et de la longueur du pas ainsi qu'un temps en double appui allongé, était observé. Ces observations, réalisées dans le cadre de l'étude interventionnelle en cas uniques, rejoignent les données existantes de la littérature, soit le développement d'une marche plus sécuritaire (A. B. Wang et al., 2021). Ce schéma de marche pourrait être un mécanisme

d'adaptation pro-actif conscient afin de limiter les risques de déséquilibres. Ce même schéma est retrouvé chez les personnes âgées et vise à stabiliser la tête et le bassin en limitant leurs accélérations (Menz, 2003).

Toutefois, d'autres hypothèses explicatives modèrent cette prédominance somatosensorielle comme origine des troubles posturaux. Il y avait, certes, des dysfonctions sensorielles diverses sous forme d'hyposensibilité superficielle, vibratoire et réflexe dans les membres inférieurs à la suite de la chimiothérapie. Cependant, il n'y avait pas d'instabilités posturales plus conséquentes chez les personnes ayant développé des troubles sensoriels plus importants. Malgré une dégradation plus importante observée dans le groupe de femmes ayant des CIPN plus sévères après chimiothérapie, les capacités de contrôle postural entre les groupes de CIPN n'étaient pas significativement différentes.

De plus, la plupart des paramètres utilisés pour évaluer le contrôle postural n'étaient pas associés aux CIPN. Similairement, l'étude de Kneis et al. (2016) ne pouvait pas lier la perturbation du réflexe de Hofmann post chimiothérapie aux troubles du contrôle postural (corrélations faibles retrouvées dans l'article) (Kneis et al., 2016). D'autres études n'ont, de même, pas pu établir de lien entre déficits somatoproprioceptifs et les troubles du contrôle postural quasi-statique (Müller et al., 2020; Varedi et al., 2018) ou de la marche (Monfort et al., 2019a; Suzuki et al., 2023; Zahiri et al., 2019). La kinesthésie, évaluée par la capacité d'atteindre précisément une cible avec la main n'était également pas impactée par la chimiothérapie chez des patients traités par oxaliplatine (A. B. Wang et al., 2022).

Si la contribution des perturbations de l'entrée somatoproprioceptive dans les troubles du contrôle postural ne peut être omise, les autres entrées sensorielles sont à considérer.

Ainsi, selon certains, l'altération de la vision à faibles contrastes induite par les traitements pourrait contribuer aux troubles du contrôle postural post chimiothérapie (Wampler et al., 2007; Winters-Stone et al., 2011). Toutefois, les instabilités majorées en condition yeux fermés et les stratégies d'équilibration sollicitant la vision de manière prépondérante suggèrent une implication moindre de ce système dans les troubles du contrôle postural post chimiothérapie. D'autres études ont également mis en évidence des instabilités posturales plus importantes lorsque cette entrée était perturbée (yeux fermés ou cible visuelle en mouvement) (Evans et al., 2021; Monfort et al., 2019b; Schmitt et al., 2017; Wampler et al., 2007), limitant son implication dans les troubles du contrôle postural.

Ensuite, les instabilités posturales observées majorées yeux fermés, notamment sur mousse, pourraient également évoquer une implication du système vestibulaire dans les troubles du contrôle postural chimio-induits. Dans ces conditions, la repondération sensorielle induit une sollicitation accrue des informations provenant des afférences vestibulaires et somatoproprioceptives (Monfort et al., 2019b). Plusieurs études (Monfort et al., 2016, 2017, 2019b; Wampler et al., 2007; Winters-Stone et al., 2011) ont également suggéré que l'ototoxicité provoquée par les agents neurotoxiques puisse induire une instabilité posturale. Toutefois, l'étude de Kneis et al. (2000) n'a pas mis en évidence de dysfonction vestibulaire en lien avec les troubles posturaux (Kneis, Straub, et al., 2020). Il convient également de souligner que ce système est particulièrement difficile à étudier isolément, complexifiant la compréhension de sa contribution aux instabilités posturales post taxanes (Monfort et al., 2019b).

b) Cause motrice : force

Bien que les taxanes soient connues pour des déficits majoritairement sensoriels (Argyriou et al., 2019), une augmentation des symptômes moteurs a été observée lors du suivi des participantes (sensation de faiblesse musculaire, difficultés motrices, crampes) post taxanes. La force de préhension avait tendance à être diminuée sans que les résultats soient statistiquement significatifs. Il est pourtant connu que les chimiothérapies (AC - taxanes) dans le cancer du sein induisent des diminutions de masse musculaire, de force maximale, de puissance et de tolérance à l'activité (Kokkonen et al., 2017; Mallard et al., 2021). La qualité musculaire est également détériorée (myostéatose, diminution de l'activité, de la taille et du nombre de fibres musculaires) entraînant une diminution de force (Mallard et al., 2021). Celle-ci, associée aux CIPN pourrait majorer les difficultés des patients à développer des stratégies posturo-dynamiques adéquates lors du contrôle postural et de la marche (Kokkonen et al., 2017; Mallard et al., 2021). Toutefois, aucune association entre la force et le contrôle postural n'a été observée dans nos analyses exploratoires, tout comme dans l'étude de Müller et al. (2021) où la capacité de force isométrique du quadriceps n'était pas associée aux perturbations posturales (Müller, Kreutz, et al., 2021). Il serait judicieux d'évaluer plus précisément et objectivement la force des muscles sagittaux de la cheville ainsi que des muscles frontaux de hanche car ce sont les muscles prédominants dans les stratégies de maintien de l'équilibre (Winter, 1995).

c) Cause motrice : commande motrice

En revanche, il est possible que les instabilités posturales soient en lien avec une commande motrice insuffisamment précise. En effet, la capacité à atteindre une force exacte et précise avec

la main basée sur des informations somatoproprioceptives était altérée après un traitement par oxaliplatine (A. B. Wang et al., 2022). Bien que l'étude de Wang et al. (2022) ait été réalisée sur le membre supérieur et que des travaux spécifiques soient nécessaires, une génération de force inadaptée à la tâche en termes d'intensité pourrait avoir entraîné l'augmentation des valeurs maximales et de variabilité de la FRS observées. En effet, si la commande n'est pas adaptée aux besoins, des pics de force plus importants et plus variables peuvent être retrouvés, augmentant le coût énergétique lié à la posture. Cette hypothèse devra être étudiée ultérieurement.

d) Inactivité physique prolongée

Un faible taux de participation à l'activité physique était observé durant la chimiothérapie par taxanes. Ainsi, plus d'un tiers des participantes n'effectuait aucune activité physique spécifique durant la période de chimiothérapie. Cette inactivité pourrait avoir influencé l'évolution du contrôle postural post chimiothérapie, comme mis en évidence par l'association entre le faible nombre d'heures de pratique d'activité physique légère à modérée et les instabilités posturales sur mousse. En effet, un déconditionnement neuromusculaire est observé lorsque la pratique d'activité physique est insuffisante (Toth et al., 2016). Le maintien de la posture yeux fermés sur surface instable est une position exigeante qui nécessite un contrôle neuromusculaire important, ayant pu faire défaut en cas de déconditionnement. Sur sol rigide, aucune association entre l'activité physique pratiquée auto-rapportée et l'évolution du contrôle postural n'a pu être observée, comme dans une précédente étude (Müller, Kreutz, et al., 2021). Les moindres sollicitations du système neuromusculaire sur sol rigide pourraient expliquer cette divergence.

Dans l'étude réalisée, la mesure du nombre d'heures d'activité physique pratiquée était réalisée selon la méthode du nombre d'heures d'activité physique auto-rapporté et des MET attribués correspondant à chaque activité. Cette méthode, basée sur l'appréciation subjective des participantes, pouvait être difficile à appréhender, notamment lorsqu'il s'agissait de quantifier les activités ménagères. Ainsi, une grande variabilité dans les réponses obtenues a été remarquée dans ce travail de thèse. Si l'association mondiale de physiothérapie recommande l'utilisation de cette méthode pour quantifier l'activité physique (WCPT, s. d.), d'autres auteurs suggèrent de mesurer le niveau d'activité physique en oncologie par un outil objectif (Müller, Weiler, et al., 2021). L'utilisation de capteurs inertiels portés sur plusieurs jours ou la réalisation d'un journal de bord, par exemple, pourraient permettre de réaliser un suivi du contrôle postural et prodiguer des conseils adaptés.

e) Fatigue

La fatigue constitue une autre cause potentielle des troubles du contrôle postural chimio-induits. Une fatigue majorée était observée lors de l'évaluation post chimiothérapie. Cette sensation de fatigue aurait pu impacter les capacités de contrôle postural car elle perturbe les capacités cognitives d'attention et de mémoire de travail (Lange et al., 2019). Ces difficultés cognitives limitent l'automatisation des processus de contrôle postural, alors compensé par l'activation de ressources cognitives supplémentaires (Gebel et al., 2022). De même, lors de fatigue périphérique, des ressources cognitives supplémentaires sont requises pour le maintien de la posture. La fatigue provoque une diminution des afférences sensorielles des fuseaux neuromusculaires des fibres de type Ia et II, une altération des réflexes spinaux et une augmentation des co-contractions musculaires, détériorant le traitement des informations afférentes et la sortie motrice (Gebel et al., 2022).

Bien que la fatigue ait pu encourager l'utilisation des mécanismes supra-segmentaires, aucune différence de capacité de contrôle postural entre les participantes selon les niveaux de fatigue n'a été constatée. Ces résultats diffèrent d'une précédente étude qui considérait la fatigue, évaluée par la sensation de vitalité, comme prédicteur d'oscillations posturales dans le plan AP post traitement pour un cancer du sein (Wechsler et al., 2022). Les principales différences entre les deux méthodologies résident dans le délai d'évaluation (15 jours post chimiothérapie en moyenne dans ce travail de thèse *vs.* 3,5 ans dans l'étude de Wechsler et al. (2022)) et la manière d'évaluer la fatigue (NRS *vs.* sous-échelle vitalité du SF-36). Si les deux manières d'évaluer la fatigue sont considérées comme valides (Joly et al., 2019), il est possible que le délai d'investigation ait pu influencer les résultats. Avec le temps, les troubles du contrôle postural s'amenuisent, probablement au travers de stratégies de compensations posturales développées et d'une remise au mouvement (Müller, Kreutz, et al., 2021). La fatigue peut rester présente et altérer les mécanismes de compensation, notamment ceux supra-segmentaires, mais cela reste à confirmer.

f) Troubles cognitifs

Parmi les personnes traitées par chimiothérapie, notamment par taxanes, 10 à 70 % ont un diagnostic de déficits cognitifs objectifs avec des altérations de la vitesse de traitement, des fonctions exécutives, de la mémoire de travail, de l'attention et des capacités visuospatiales (Ahles & Saykin, 2007; Demos-Davies et al., 2024; Jim et al., 2012). Ces troubles cognitifs pourraient perturber le contrôle supra-segmentaire, altérant le traitement de l'information sensorielle et induisant une commande motrice inadéquate (Divandari et al., 2023). Sans avoir investigué précisément les capacités cognitives, une augmentation majeure des instabilités

posturales post chimiothérapie lorsqu'une seconde tâche cognitivo-motrice était ajoutée était observée. Ainsi, le fait d'écrire un message sur un smartphone impactait fortement les capacités des participantes à gérer leur équilibre, ce qui était particulièrement visible lors des tests après traitement de chimiothérapie. La tâche motrice primaire, soit le contrôle postural, était ainsi perturbée par l'interférence cognitive (Plummer & Eskes, 2015). Des résultats similaires lors de la marche en double tâche, associés à des fonctions exécutives moindres ont été observés (A. B. Wang et al., 2021). Les difficultés à réaliser une action en double tâche peuvent engendrer des répercussions considérables sur le quotidien car la majorité de nos actions sont effectuées simultanément : regarder son téléphone en attendant un transport public, se diriger avec l'aide d'un système de guidage, entretenir une discussion en marchant, réfléchir à sa liste de courses en réalisant des commissions, pour ne citer que quelques exemples.

g) Traitements antérieurs et concomitants

Certains traitements antérieurs tels qu'une chimiothérapie par anthracyclines et cyclophosphamide, usuellement utilisée avant les taxanes, pourraient encourager la survenue de troubles du contrôle postural. Des instabilités posturales étaient observées lors du test initial de l'*Étude 1*, réalisé entre la chimiothérapie par anthracyclines/cyclophosphamide et celle par taxanes. Ainsi, les valeurs obtenues dépassaient les valeurs de référence pour des personnes âgées (Bruyneel et al., 2021). Les traitements par anthracyclines et cyclophosphamide peuvent engendrer de la fatigue, une sensation de faiblesse, des vertiges, des troubles sensoriels (dysesthésies et hypoesthésies), des troubles de la vision ainsi que diverses douleurs (musculaires, articulaires) pouvant altérer la capacité de contrôle postural (Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé, 2024; Compendium HCI solutions Suisse, 2024). Toutefois, l'étude de Monfort et al. (2017) n'a pas mis en évidence de lien entre les traitements antérieurs et le contrôle postural (Monfort et al., 2017).

D'autres traitements antérieurs pourraient, en revanche, avoir eu des effets non négligeables. Une mastectomie, qu'elle soit totale ou partielle, de par son impact potentiel conséquent sur la perception corporelle et la féminité pourrait entraîner des altérations au niveau du contrôle postural, comme démontré précédemment (Głowacka et al., 2016). L'impact des prises en charges antérieures n'a pas pu être investigué dans ce travail de thèse par manque d'informations récoltées sur ces paramètres (type d'opération, volume mammaire retiré, etc.).

Les traitements concomitants aux taxanes tels que les chimiothérapies par sels de platines (carboplatine) ou cyclophosphamide ainsi que les traitements par immunothérapie

(trastuzumab, pertuzumab et pembrolizumab) pourraient également avoir engendré des répercussions sur le contrôle postural via leurs effets secondaires. Ainsi, la fatigue, la sensation de faiblesse, l'anxiété, les vertiges, les troubles de la vision, les myalgies, les arthralgies, les céphalées, les troubles du sommeil, les troubles de la sensibilité (hypoesthésie, paresthésie) et les CIPN potentiels auraient également pu avoir un impact (Compendium HCI solutions Suisse, 2024) mais un nombre insuffisant de participantes a empêché de réaliser des analyses spécifiques. De futures études nécessitant des échantillons plus conséquents permettront de répondre à la question.

Ainsi, les troubles du contrôle postural et de la stabilité à la marche résultent de causes complexes et multifactorielles. Les instabilités posturales post chimiothérapie neurotoxique ne se cantonnent pas qu'aux répercussions de la CIPN et des troubles somatosensoriels mais comprennent divers facteurs devant être intégrés dans l'interprétation des résultats des tests. Au vu de ce qui a été observé dans les différentes études et dans la littérature existante, il semblerait que les atteintes des entrées sensorielles, principalement somatoproprioceptives, associées à une commande motrice approximative, un déconditionnement physique, une fatigue et des déficits cognitifs puissent favoriser les instabilités posturales post chimiothérapie. Ainsi, tout le processus de contrôle postural (perception de l'information – transmission – traitement – commande motrice en lien) pourrait être affecté par la chimiothérapie neurotoxique et entraîner des perturbations posturales. La **Figure 22** recense les différents effets de la chimiothérapie neurotoxique pouvant avoir des répercussions sur la fonction physique.

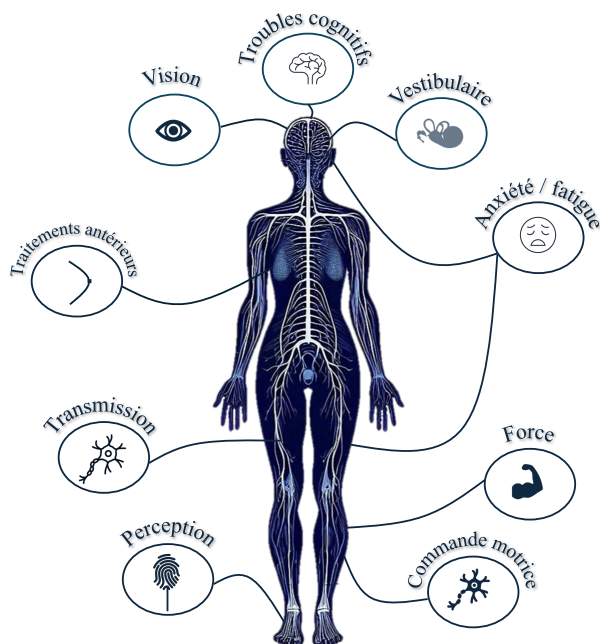


Figure 22. Schéma des différentes causes possibles pouvant engendrer des perturbations de la fonction physique après une chimiothérapie neurotoxique. Image générée par Copilot AI [réalisée le 3 octobre 2024]

2. Quelles sont les stratégies d'adaptation du contrôle postural mises en place par les personnes atteintes de cancer après chimiothérapie ?

L'évaluation du contrôle postural dans diverses conditions, avec et sans perturbations somatosensorielles ainsi qu'en double tâche a permis d'appréhender un peu plus les stratégies d'adaptation du contrôle postural après chimiothérapie.

Des difficultés prédominantes ont été observées dans les conditions intégrant une perturbation visuelle. Ces résultats mettent en avant qu'une stratégie d'adaptation par dépendance visuelle accrue se développe à la suite de la chimiothérapie. Ces observations confirment les conclusions de précédents travaux ayant souligné une repondération du poids porté aux informations sensorielles avec une augmentation de l'attention donnée aux informations visuelles et vestibulaires aux dépens de celles somatoproprioceptives (Kneis, Wehrle, et al., 2020a; Monfort et al., 2019b; Wechsler & Wood, 2021). Cette dominance d'une des entrées sensorielles peut induire des conflits sensoriels et engendrer des comportements posturaux inadaptés lorsque cette entrée prédominante est perturbée (N. Duclos et al., 2017).

Les participants ont également démontré des difficultés accrues en situation de double tâche. La double tâche augmente la charge cognitive avec la réalisation de la tâche cognitivo-motrice conjointe (Quijoux, Nicolaï, Chairi, et al., 2021). Or, les déficits somatosensoriels exercent également une charge supplémentaire avec une exigence attentionnelle accrue pour le contrôle postural. En effet, le contrôle postural devient cognitivement plus coûteux en cas d'afférences somatosensorielles limitées, car moins propice à l'utilisation des mécanismes de contrôle segmentaire (Quijoux, Nicolaï, Chairi, et al., 2021). Ainsi, l'augmentation des instabilités en condition de double tâche post chimiothérapie pourraient révéler un mécanisme d'adaptation avec un contrôle supra-segmentaire augmenté. Une précédente étude avait, de même, démontré une diminution des capacités de contrôle postural lors d'adjonction d'une tâche cognitive (décompte sept par sept) en situation de contrôle postural sur sol stable yeux ouverts (Evans et al., 2021).

De plus, l'augmentation du contrôle supra-segmentaire pourrait également se manifester par des co-contractions musculaires. Ainsi, il a été suggéré que les modifications des paramètres du CP indiquent un contrôle neural actif plus important avec une stratégie de co-contractions musculaires visant à anticiper les perturbations de l'équilibre. Cette hypothèse va dans le sens d'une précédente étude qui a démontré des mécanismes anticipatoires plus importants chez les patients ayant développé des troubles de l'équilibre post chimiothérapie (Kneis, Wehrle, et al.,

2020a). Cette même équipe a également mis en évidence des co-contractions musculaires mesurées à l'électromyogramme chez des patientes ayant reçu un traitement de taxanes pour un cancer du sein, en vue de faciliter le maintien de l'équilibre (Kneis et al., 2016).

Ces mécanismes adaptatifs (visuo-dépendance, mécanismes supra-segmentaires et pro-actifs plus prédominants) visent à maintenir un contrôle postural efficient malgré les troubles induits par la chimiothérapie, mais il en résulte plusieurs inconvénients :

Tout d'abord, ils ont un coût énergétique élevé rendant le contrôle postural et la stabilité de la marche moins efficaces (Monfort et al., 2019a; A. B. Wang et al., 2021). Le fait d'augmenter les déplacements de la projection du centre de masse, de surcroît à plus grande vitesse et dans des excursions plus élevées, entraîne une dépense énergétique accrue (Maatar, 2016). La sollicitation du système neuromusculaire est ainsi majorée.

De même, le fait de marcher à vitesse moindre engendre une plus grande excursion ML du centre de masse qui nécessite un travail musculaire plus conséquent pour maintenir la stabilité (van Mierlo et al., 2023). Ces mécanismes, diminuant l'efficacité du contrôle postural et de la stabilité dynamique, sont favorables à l'apparition d'une fatigue précoce, déjà fréquente dans ce contexte (Joly et al., 2019).

Par ailleurs, la visuo-dépendance est un mécanisme adaptatif limitant les informations somatoproprioceptives (Kneis, Wehrle, et al., 2020a) qui peut devenir problématique en situation de pénombre ou lorsque l'environnement est en mouvement (N. Duclos et al., 2017). Ensuite, les caractères potentiellement plus rigides de la posture et de la marche limitent la capacité d'adaptabilité et de développement d'ajustements rétroactifs efficaces lors de situations d'instabilités extrinsèques (*p. ex.*, être bousculé dans la rue ou marcher sur un sol glissant).

Malgré la mise en place de stratégies pour favoriser la stabilisation, la population étudiée semblait particulièrement à risque de chutes. En effet, toute personne incapable de tenir les yeux fermés sur mousse augmente de six fois le rapport de cotes de chuter (Wagner 2021). Les résultats obtenus post chimiothérapie correspondaient plus à des valeurs de références de personnes de 15 à 40 ans plus âgées (Monfort et al., 2016; Müller et al., 2020; Schmitt et al., 2017).

Ainsi, les stratégies d'adaptation mises en place suite au développement de troubles du contrôle postural semblent inadaptées (Kneis, Wehrle, et al., 2020a). Les difficultés accrues à réaliser

l'évaluation du contrôle postural après chimiothérapie, traduites par un nombre croissant de participantes en difficultés lors du test sur mousse yeux fermés avec un besoin accru de sécurisation des participantes, le confirment. Plus qu'un processus adaptatif positif du SNC cherchant davantage d'informations pour une posture plus précise, l'augmentation des valeurs mesurées semble donc résulter d'une information sensorielle limitée ou retardée associée à un traitement de l'information potentiellement altéré, au coût énergétique défavorable. Les stratégies mises en place seraient donc plus des mécanismes de protection d'urgence plutôt que des mécanismes adaptatifs compensatoires de gestion du contrôle postural. Cela démontre un besoin bien réel de prise en charge, rejoignant les propos des patients (E. Y. Kim & Hong, 2023).

3. Comment évaluer la fonction physique dans ce contexte ?

Toute évaluation du contrôle postural et de la marche doit être accompagnée d'une compréhension fine du contexte du patient, sans quoi l'interprétation des résultats n'est pas faisable et le risque de développer une stratégie thérapeutique inadaptée est élevé. Une anamnèse ciblée comprenant, entre autres, des questions sur :

- les symptômes de la CIPN, de la sphère psycho-cognitive (fatigue, anxiété, détresse psychologique), des systèmes visuel et vestibulaire,
- les capacités dans les activités de la vie quotidienne (habillage, marche, escaliers),
- les effets secondaires des traitements antérieurs/concomitants,
- l'activité pratiquée (type, volume et intensité),

apporte des informations pertinentes sur le choix des évaluations complémentaires à inclure dans le bilan. Ainsi, un patient sous chimiothérapie n'étant plus capable de mettre ses chaussettes debout sans se tenir, descendre les escaliers sans appui ou ayant des difficultés à la marche indique un besoin d'investigations supplémentaires du contrôle postural (Streckmann, communication personnelle, 2023). Ces quelques questions simples sur des activités prépondérantes de la vie quotidienne permettent, en quelques instants, d'attirer l'attention sur des troubles potentiels.

À la suite de cette compréhension contextuelle, une évaluation quantifiée du contrôle postural et de la marche est essentielle.

Cette évaluation peut être réalisée par la mesure du CP et de la FRS sur plateforme de force pour le contrôle postural quasi-statique. Cette mesure, considérée comme faisable, valide et fiable (*cf. Annexe I*) est fréquemment utilisée pour évaluer le contrôle postural après une

chimiothérapie neurotoxique en recherche clinique (cf. *Annexe 2*). Elle offre, en effet, l'avantage de pouvoir tester des personnes pouvant être limitées au niveau fonctionnel (Ezzatvar et al., 2021; Niederer et al., 2014), grâce à l'absence d'effet plancher (Edginton Bigelow & Berme, 2011; Worthen-Chaudhari et al., 2018). Les capacités fonctionnelles des personnes atteintes de cancer pouvant être particulièrement hétérogènes (M. H. Huang et al., 2019), elle présente également l'avantage de ne pas présenter d'effet plafond (Worthen-Chaudhari et al., 2018). Cette mesure, objective, reproductible et sensible aux changements, permet de mesurer le contrôle postural de manière extemporanée et pas uniquement une performance finale ce qui permet d'évaluer les stratégies utilisées par les patients dans différentes conditions d'évaluation (Chen et al., 2021; Edginton Bigelow & Berme, 2011; Quijoux, Nicolaï, Aflalo, et al., 2021; Worthen-Chaudhari et al., 2018).

Cependant, la difficulté à interpréter les paramètres et l'incapacité à identifier les causes des problèmes détectés peuvent limiter son utilisation (Boulgarides et al., 2003; Palmieri et al., 2002; Pinsault, 2009; Quijoux, Nicolaï, Aflalo, et al., 2021; Vaillant, 2004, 2004).

Si l'étude menée ne visait pas à évaluer les qualités psychométriques des tests, largement démontrées pour d'autres populations, l'analyse des perturbations dans différentes conditions permet de suggérer des modalités d'évaluation optimales pour le suivi des patients en oncologie, dans un contexte de traitement par chimiothérapie. Ces observations sont détaillées dans le **Tableau 32** avec des compléments issus de la littérature scientifique.

<i>Paramètre</i>	<i>Proposition</i>	<i>Source</i>
Durée d'un essai	30 s à 1 min selon fatigabilité	(Pinsault & Vuillerme, 2009)
Nombre d'essais	Trois	(Pinsault & Vuillerme, 2009)
Position des membres supérieurs	Membres supérieurs le long du corps	(Paillard & Noé, 2015)
Position des membres inférieurs	Bipodale, pieds écartés à largeur naturelle	(Fino et al., 2019)
Cible	Semi-tandem à considérer	(Paillard & Noé, 2015)
	A hauteur des yeux, forme à disposer au mur à une distance de 0,90 m	(Scheibel et al., 2017)
Sol	A minima sur sol rigide	<i>Étude 1</i>
	Sol mousse	
Yeux	A minima yeux fermés	<i>Étude 1</i>
	Yeux ouverts	
Double tâche	Tâche cognitive ou cognitivo-motrice à ajouter	<i>Étude 1</i> , (Paillard & Noé, 2015)
Durée totale	Maximum 20 min	
Consigne	« Restez la plus immobile possible »	(Pinsault & Vuillerme, 2009)
Paramètres à évaluer	CP : moyenne quadratique totale et AP, longueur (ou vitesse moyenne) totale et AP	<i>Étude 1</i>
	FRS : force max ML	
	Vitesse maximale, force maximale V et AP, variabilité de la force à considérer en complément	
	Paramètres fréquentiels à considérer	(Warnica et al., 2014)

Fréquence d'échantillonnage	≥ 100 Hz	(Ruhe et al., 2010)

Tableau 32. Paramètres suggérés pour une prise de mesure de contrôle postural en contexte de chimiothérapie. AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, FRS = force de réaction du sol, ML = médio-latéral, V = vertical

Le contrôle postural devrait être investigué dans différentes conditions d'évaluation soit en condition de référence (yeux ouverts sur sol rigide) et avec une perturbation visuelle (yeux fermés sur sol rigide) pour évaluer le poids de l'information visuelle dans le contrôle postural. Cette condition est particulièrement pertinente dans ce contexte car elle empêche la sur-sollicitation du système visuel observée et discutée précédemment.

Une évaluation sur mousse pourrait également être ajoutée dans l'objectif d'évaluer les stratégies du contrôle postural lors de contraintes sur le système proprioceptif. En effet, grâce à sa composition viscoélastique, la mousse engendre des mouvements rapides et répétés des articulations qui stimulent l'activité du système somatoproprioceptif ainsi que l'activité musculaire posturale (Sozzi et al., 2021; Sozzi, Ghai, et al., 2022). Via une diminution de la raideur articulaire passive par thixotropie (Lakie & Campbell, 2019), ces mouvements augmentent la contribution du contrôle actif neural dans le maintien de la posture (Sozzi et al., 2021). Cette condition peut être ardue yeux fermés selon les patients, notamment si leur niveau d'activité physique est faible, s'ils présentent des troubles posturaux liés à des déficits somatoproprioceptifs ou si leur contrôle neural actif est déjà sollicité. Dans l'*Étude 1*, un tiers des participantes ne pouvait réaliser le test sans sécurisation accrue.

Dans cette même étude, la possibilité d'évaluer les stratégies posturales en ajoutant des vibrations tendineuses a été investiguée. La vibration engendre l'activation des fibres afférentes, principalement Ia, qui transmettent leurs informations excitatrices aux niveaux segmentaire et supra segmentaire (Souron et al., 2017; Teasdale et al., 2017). Les informations corticales permettent l'activation des aires corticales usuellement stimulées lors de contractions musculaires tandis que la stimulation segmentaire provoque un réflexe de vibration tonique (Souron et al., 2017). Bien qu'utilisée pour évaluer l'implication du système somatoproprioceptif dans le contrôle postural des adultes (Capiciková et al., 2006), des personnes âgées ayant chuté (Bekkers et al., 2014), des patients atteints d'une maladie de Parkinson ou d'une arthrose débutante (Mahmoudian et al., 2016), la vibration tendineuse n'a pas montré de réel intérêt pour les personnes traitées par une chimiothérapie neurotoxique. Il est possible que les altérations de transmission de l'information sensorielle afférente (dysfonctionnements moléculaires et cellulaires induits par la chimiothérapie sur les fibres Ia

(Burgess et al., 2021)) aient limité l'impact de la vibration. Ce test ne paraît donc pas prioritaire dans ce contexte.

Au contraire, une évaluation en double tâche devrait être systématiquement intégrée dans le bilan pour apprécier la charge cognitive de la posture (Quijoux, Nicolai, Aflalo, et al., 2021). Outre le fait qu'elle soit un mécanisme potentiel de troubles de la posture, la double tâche peut considérablement perturber les activités de la vie de tous les jours. Son évaluation permet donc d'indiquer les potentielles répercussions et construire un programme de rééducation spécifique.

Les évaluations dans les différentes conditions pourront être réalisées en position naturelle des pieds. Cette dernière reflète davantage l'organisation posturale naturelle des personnes qu'avec une position des pieds standardisée. Pour cette raison, plusieurs études recommandent la position naturelle des pieds, qui permet, de surcroît, une adaptation à la composition corporelle de la personne (Krewer et al., 2018; Schmidle et al., 2022).

Selon les observations réalisées, les paramètres de moyennes quadratiques totale et AP, de longueurs ou vitesses moyennes et dans la direction AP ainsi que de force maximale ML semblent les plus pertinents pour mettre en évidence les perturbations du contrôle postural secondaire à une chimiothérapie. Ils sont, par ailleurs, fiables et non redondants (Pinsault, 2009; Pinsault & Vuillerme, 2009; Wampler et al., 2007). L'ajout des paramètres fréquentiels pourraient faciliter l'identification des stratégies de compensation par co-contractions actives (Warnica et al., 2014) tandis que les techniques d'analyses fondées sur l'entropie pourraient informer sur la complexité et la régularité du signal au sein d'une série temporelle, indiquant une posture plus rigide et moins adaptative (Veronez et al., 2024). L'inclusion de l'évaluation des caractéristiques transitoires initiales soit des premières secondes après la perturbation sensorielle pourrait permettre de caractériser les réponses initiales du contrôle postural (Reed et al., 2020).

Néanmoins, dans un contexte de pratique clinique où le traitement des données est plus difficilement réalisable et l'accès à une plateforme de force est potentiellement restreint, l'évaluation des longueurs totale et AP par plateforme stabilométrique pourrait tout de même être adaptée pour identifier l'évolution du contrôle postural au cours de la chimiothérapie. La plateforme stabilométrique est considérée comme un outil valide, lorsque comparée à une plateforme de force (Dias et al., 2011).

Ces évaluations du contrôle postural pourront être complétées par des tests de stabilité dynamique et l'évaluation de la marche.

Pour l'évaluation des stabilités quasi-dynamique et dynamique des personnes traitées par taxanes pour un cancer du sein, plusieurs auteurs ont proposé l'évaluation fonctionnelle par le Fullerton Balance Advanced Scale (M. H. Huang et al., 2019; Wampler et al., 2007). Ce test intègre des composantes d'ajustements posturaux anticipatoires, d'orientation sensorielle, de contrôle postural réactif et de marche dynamique tout en étant valide (corrélation modérée avec le SOT, $p < 0,01$) et fiable (fiabilité intra-évaluateur $ICC = 0,92$, inter-évaluateurs $ICC = 0,98$). Les résultats de ce test étaient, de plus, corrélés à ceux de l'évaluation du contrôle postural sur plateforme dans une étude portant sur des femmes atteintes de cancer du sein et étant traitées par taxanes (Vollmers et al., 2018).

L'évaluation de la marche peut être réalisée par une analyse des paramètres spatio-temporels qui informe sur les modifications du schéma de marche, fréquentes chez les personnes traitées par une chimiothérapie neurotoxique (A. B. Wang et al., 2021). Cette évaluation est considérée comme faisable, valide et fiable (*cf. Annexe 1*). D'autres activités comme l'utilisation des escaliers pourraient être considérées (A. B. Wang et al., 2021).

La mesure des capacités de marche, soit ce que le patient est capable de réaliser en termes de marche, pourrait compléter les évaluations (Mate & Mayo, 2020). Ainsi, dans l'optique d'évaluer la tolérance à l'activité et les capacités d'endurance, le TM2 pourrait être employé. Ses excellentes faisabilité et validité de critère comparé au TM6, tout en permettant un gain de temps et d'énergie en font un test de choix. Le test de marche de 10 m, plus facile à réaliser en milieux écologiques, pourrait apporter un aperçu pertinent de la capacité fonctionnelle générale et de l'état de santé d'une personne (fragilité, risque de détérioration de l'état de santé général) (Abellan Van Kan et al., 2009; Binotto et al., 2018; Middleton et al., 2015).

Dans une optique de suivi du patient à distance afin de limiter les trajets, le temps passé à l'hôpital et faciliter le suivi de programmes de réadaptation, des variantes à domicile des tests de marche pourraient être envisagées. Le test de marche de 10 m en auto-test serait une option intéressante au vu de son excellente validité de critère avec la version usuelle. Une autre possibilité serait de réaliser le TM2 sur une distance restreinte, par exemple sur 6 m, plus facilement réalisable à domicile. Si une étude a montré des résultats prometteurs concernant le TM6 sur 6 m chez des personnes atteintes de sclérose en plaque (Ferchichi-Barbey, 2021), d'autres études permettront de préciser la pertinence du TM2 sur une distance restreinte, en

contexte oncologique. De manière générale, les tests pertinents pour l'évaluation de la fonction physique à domicile en contexte oncologique en autonomie doivent encore être précisés.

La réalisation d'une évaluation spécifique et systématique des capacités de contrôle postural ainsi que de la marche en cours de traitement permet la détection des troubles fonctionnels de façon anticipée. Les conséquences négatives sur le plan fonctionnel peuvent ainsi être limitées et des prises en charge adaptées peuvent être instaurées.

4. Quel programme d'exercices réaliser pour limiter les effets des chimiothérapies neurotoxiques sur les troubles du contrôle postural ou de la marche ?

Les programmes d'exercices sensorimoteurs sont particulièrement indiqués en prévention des troubles du contrôle postural ou des déficits somatosensoriels. Malgré une fatigue croissante ressentie au fil de l'étude et des signes et symptômes de CIPN développés durant la phase d'observation, le contrôle postural des participantes de l'*Étude 2* restait stable. La stabilisation du contrôle postural associé à l'amélioration possible des paramètres de marche constituent un résultat prometteur. En effet, étant donné la dégradation observée au cours de la chimiothérapie, le maintien des capacités de contrôle postural et de marche pendant le traitement pourrait fortement aider les patientes dans leurs tâches quotidiennes et limiter les effets sur la qualité de vie. De plus, la participation à ces programmes stimule la mise au mouvement chez des personnes qui, la plupart du temps, sont en manque d'activité physique. Ces résultats rejoignent la littérature existante sur la prise en charge des troubles du contrôle postural quasi-statique et dynamique après la chimiothérapie (Streckmann et al., 2022).

Similairement, les signes et symptômes de la CIPN évoluaient favorablement (stabilisation) durant la phase d'intervention malgré l'évolution usuelle croissante de la CIPN (Y.-J. Wang et al., 2021). D'autres études ont également démontré une amélioration des signes (sensation de brûlures, douleurs) et symptômes (sensibilité superficielle et profonde) ainsi que de l'incidence de la CIPN dans le groupe interventionnel (Bahar-Ozdemir et al., 2020; Streckmann, 2014; Streckmann et al., 2024). Ces améliorations seraient liées à des mécanismes de régénération nerveuse et de neuroplasticité tels qu'une augmentation de la densité des récepteurs, une activation des neurones désafférentés en augmentant le métabolisme, un abaissement du seuil d'excitabilité ou à l'apprentissage supra-spinal (Streckmann et al., 2022). Les exercices sensorimoteurs pourraient donc jouer un rôle décisif dans les adaptations nerveuses centrales et périphériques.

Pour être efficaces, les exercices doivent respecter les principes de surcharge, de progression, de considération des valeurs initiales du patient, de gains décroissants, de spécificité et de réversibilité (Neil-Sztramko et al., 2019).

Les évaluations du contrôle postural sur plateforme de force évaluant une stratégie spontanée plus qu'une performance, les principes de surcharge, de progression et de réversibilité des gains peuvent être adressés par l'utilisation d'échelle de perception de l'effort, comme réalisé dans l'**Étude 2**. Ainsi, les stimuli seront suffisamment importants, de plus en plus conséquents tout en restant adaptés au patient.

La spécificité sera respectée par le choix d'exercices pertinents, permettant de cibler les déficits préalablement observés. Ainsi, des exercices yeux fermés semblent indispensables pour lutter contre la sursollicitation du système sensoriel visuel dans la stratégie posturale. De même, des exercices en double tâche visant à limiter l'usage du système neural actif devraient faire partie du programme. Les exercices en double tâche contraignant la stabilisation par la vision (*p. ex.*, écrire un message ou lire une notice) sont spécifiquement indiqués car ils permettent également de travailler la repondération sensorielle (stimulation de l'utilisation du système somatoproprioceptif potentiellement déficient). Ces exercices seront, de surcroît, directement transférables au quotidien, les rendant particulièrement écologiques. L'ajout d'une composante motrice en double tâche peut également être pertinent et défini selon les besoins/activités habituelles du patient. Afin d'être le plus fonctionnel possible et couvrir le plus de gestes du quotidien, des exercices quasi-statique, quasi-dynamique et dynamique doivent être considérés.

Les exercices pourront être réalisés sur sol rigide, dans un premier temps, puis sur différentes surfaces (tapis, mousse, herbe, *etc.*) pour stimuler les capacités somatoproprioceptives. Selon les capacités initiales de contrôle postural et les effets secondaires développés durant la chimiothérapie, la mousse pourrait être trop sollicitante au vu des contraintes mécaniques qu'elle entraîne et pourrait nécessiter une sécurisation accrue. Il est toutefois important de préciser que ces exercices sensorimoteurs sont considérés comme sûrs avec peu de risques ou d'effets indésirables, comme constaté dans l'étude réalisée et dans la littérature (Streckmann et al., 2022).

Le choix des paramètres FITT à prendre en compte est fondé sur la littérature existante (**Tableau 33**), actuellement en pleine expansion (+2000 % d'études publiées/année).

Paramètre	Recommandation	Source
Fréquence	Au moins deux fois par semaine	(Streckmann et al., 2022)
Intensité	Modérée soit minimum 3/5	(Müller, Weiler, et al., 2021)
Durée	20 à 40 s par exercice	(Streckmann et al., 2022)
Nombre d'exercice	Maximum cinq	(Streckmann et al., 2022)
Pause	Suffisante entre les exercices	(Streckmann et al., 2022)
Durée du programme	Minimum quatre semaines	(Streckmann et al., 2022)

Tableau 33. Paramètres FITT recommandés pour la création d'un programme d'exercices adaptés en prévention de la CIPN et des répercussions fonctionnelles. Échelle d'intensité définie comme 1 = très facile, 2 = facile, 3 = modéré, 4 = difficile, 5 = très difficile

Grâce à l'évaluation rétrospective des données d'un programme existant, les informations devant apparaître dans le dossier ont pu être précisées. Ainsi, les caractéristiques socio-démographiques du patient, les caractéristiques du cancer, le mode de vie, les antécédents/comorbidités, l'entièreté des données des tests cliniques réalisés, le détail du programme réalisé, les adaptations réalisées, l'adhésion à celui-ci, les difficultés ressenties par les patients et les effets indésirables du programme devraient apparaître ; faute de quoi, des informations pourraient manquer pour de futures analyses rétrospectives. En cas d'abandon du patient, la raison devrait être spécifiée.

Une attention particulière devrait être portée pour limiter les données manquantes lors des prises de données au quotidien. En effet, un nombre conséquent de données manquantes a été remarqué lors des analyses rétrospectives sur le programme existant, provenant soit d'un manque de rigueur méthodologique (données perdues ou non collectées) ou d'un abandon conséquent au programme.

Adaptés et spécifiques au contexte dans lequel ils sont implémentés, les programmes d'exercices adaptés pourront être profitables aux patients traités par des chimiothérapies neurotoxiques ainsi qu'aux cliniciens.

5. Quels sont les bénéfices des programmes d'exercices sensorimoteurs visant à limiter les troubles du contrôle postural ou de la marche chimio-induits ?

Comme vu précédemment, les CIPN et les troubles fonctionnels chimio-induits sont décrits comme des effets indésirables épuisants voire insupportables par les patients (E. Y. Kim & Hong, 2023; Schwab & Visovsky, 2022). Leur impact sur la qualité de vie est considérable (H. L. Cheng et al., 2020).

De plus, ils augmentent le risque de modification voire de l'arrêt du protocole chimiothérapeutique lorsqu'ils deviennent trop handicapants (Velasco-González & Coffeen, 2022). Près d'un tiers des participantes de la première étude réalisée a dû voir son protocole de traitement modifié en raison de CIPN. Ces modifications du schéma thérapeutique sont des décisions difficiles à prendre pour la patiente et le clinicien et sont sources d'anxiété (E. Y. Kim & Hong, 2023). Les cliniciens disent se sentir parfois désemparés et incompetents face à ces effets indésirables, difficiles à appréhender (Tanay et al., 2022).

Une fois les troubles développés, les alternatives thérapeutiques sont peu nombreuses, complexifiant la prise en charge de ces patients (Gu et al., 2022). C'est pourquoi, il est important de proposer des moyens de prévention afin d'assurer la continuité des traitements et maintenir une qualité de vie satisfaisante. Dans cette optique, les programmes d'exercices sensorimoteurs ont toute leur importance.

En effet, les programmes d'exercices sensorimoteurs permettent la préservation de la fonction physique tout au long du parcours de soin. Cette préservation de la fonction physique est essentielle pour le maintien de l'autonomie et des interactions sociales, contribuant au bien-être de la personne touchée par le cancer (Duregon et al., 2018; Henke et al., 2014). Que ce soit dans le cadre privé ou professionnel, le niveau fonctionnel est, en effet, étroitement lié aux relations sociales (Jiao et al., 2022).

Une fonction physique préservée influence également le retour au travail. Alors que les personnes atteintes de cancer ont 1,4 fois plus de risques d'être sans emploi, les interventions d'activité physique seules ou associées à des mesures multidisciplinaires (conseils, éducation) sont les plus efficaces pour faciliter la reprise professionnelle (de Boer et al., 2015, 2024). Cette dernière exerce un effet conséquent sur la sensation d'utilité des patients dans la société (Beerda et al., 2022) ce qui devrait être un moteur non négligeable de préservation de la fonction physique.

L'activité physique permet, par ailleurs, le maintien des activités de loisirs, source de bien-être et d'épanouissement (Engels et al., 2021). Les programmes d'activité physique sous forme d'exercices sensorimoteurs contribuent donc au maintien de la qualité de vie des patients (*cf. Figure 23*) (Streckmann et al., 2022). Dans ce projet de thèse, la pratique d'activité physique était assimilée à une possibilité de s'évader, de reléguer la maladie au second plan un instant, de se sentir bien, confirmant les conclusions d'une précédente étude (Husebø et al., 2014). De plus, le fait d'être dans une posture de personne qui s'entraîne et non de « malade » améliore la sensation d'auto-efficacité et de contrôle sur sa vie (Husebø et al., 2014). L'activité physique

sous forme d'exercices adaptés est ainsi considérée, par les patients, comme un des besoins primordiaux en soins de support en France, selon une récente étude (Scotté et al., 2024).

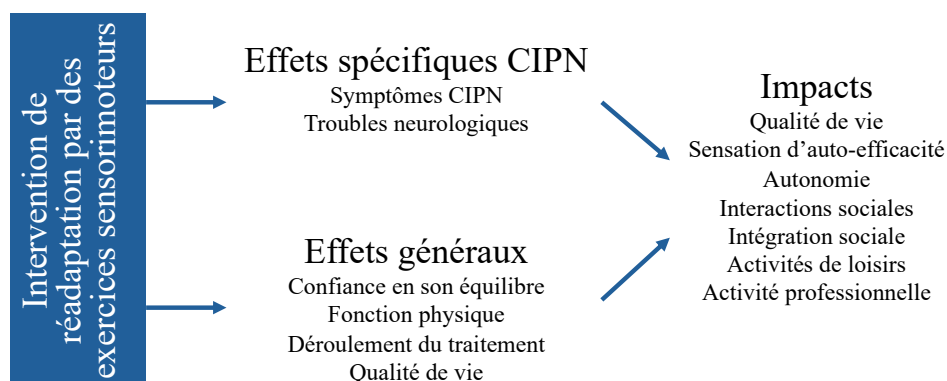


Figure 23. Effets des interventions d'activité physique inspiré de (Park et al., 2022) (traduction libre)

Étant donné leurs nombreux bénéfices sur les aspects physiques et psycho-sociaux, ainsi que sur le déroulement du traitement, leur innocuité et leur relative facilité d'implémentation en pratique clinique, les programmes de soins de support sous forme d'exercices sensorimoteurs devraient être recommandés aux patients durant la phase active de leurs traitements.

6. Quelles difficultés peuvent être rencontrées lors de l'implémentation des programmes d'exercices adaptés ayant pour objectif de limiter les troubles fonctionnels ?

La mise en place de programmes sensorimoteurs ou d'activité physique plus généraux requiert du temps, que ce soit de la part des thérapeutes et des patients. Cet aspect chronophage pourrait constituer une barrière à leur implémentation en clinique. Les cliniciens peuvent, en effet, considérer les CIPN et les troubles fonctionnels comme non prioritaires au vu de certains autres effets indésirables vitaux ou aigus et limiter le temps consacré à ceux-ci (Tanay et al., 2022). Plusieurs études ont soulevé la difficulté des cliniciens à prescrire l'activité physique en cas de CIPN par manque de connaissances, de confiance (Dennett et al., 2020), de temps ou de programme spécifique auquel référer (Ligibel et al., 2019).

Ces programmes nécessitent donc des physiothérapeutes formés ayant un certain temps à disposition pour la réalisation des tests et le suivi des patients. Ce qui n'est pas toujours compatible avec des journées de soins chargées.

De même, les patients font face à un programme thérapeutique dense, mené parfois de front avec une vie familiale et professionnelle. L'idée de passer plus de temps à l'hôpital peut également rebuter. Malgré ces difficultés, le programme proposé dans l'*Étude 2* a été bien accueilli par les participantes, comme attesté par la bonne participation et la satisfaction. Néanmoins, la motivation avait tendance à baisser au fil des semaines, comme cela avait également été rapporté précédemment (Müller, Weiler, et al., 2021). C'est pourquoi, l'étude des barrières à l'activité physique est nécessaire. Une récente étude française a, ainsi, recensé les principales difficultés évoquées par les patients, limitant leur participation aux soins de support (Scotté et al., 2024). Cette dernière a mis en évidence que le fait de ne pas connaître l'offre disponible, ne pas savoir à qui s'adresser, d'engager des frais et réaliser des déplacements constituaient les principales barrières. Selon l'Association francophone des soins oncologiques de support, 40 % des patients seraient exclus des soins de support pour des raisons d'accessibilité et de coûts (Thibert, 2024).

7. Quelles pistes peuvent-être envisagées pour faciliter la participation à l'activité physique durant le parcours de soins ?

Différentes pistes peuvent être envisagées pour faciliter la pratique d'activité physique visant à limiter les troubles chimio-induits.

Connaissance de l'étendue de l'offre et personne référente

Tout d'abord, une meilleure connaissance des possibilités en soins de support encouragerait la pratique d'activité physique. Les patients expriment une volonté d'avoir accès à de plus amples informations sur les soins de support liés à la CIPN et de manière plus individualisée (C. W. Chan et al., 2023). Ils souhaiteraient que ce contenu soit prodigué par un expert (oncologue ou spécialiste du mouvement) ayant les connaissances suffisantes pour renseigner les patients (Avancini et al., 2020; Kanzawa-Lee et al., 2024). Des entretiens avec des soignants spécialisés et des patients partenaires, associés à des feuillets informatifs devraient encourager la littératie en santé afin que le patient puisse définir ses besoins et prendre des décisions éclairées. De manière générale, les conseils délivrés par les professionnels de santé pendant les traitements sont sources importantes de motivation (Avancini et al., 2020; Husebø et al., 2014). Par ailleurs, l'intégration formelle de l'activité physique dans le parcours de soin pourrait encourager l'accès à ces soins de support non pharmacologiques (Kanzawa-Lee et al., 2024).

Coût des interventions

L'amélioration du financement de ces interventions facilitera l'accès à celles-ci. Le développement des structures de soins de support en hôpital de jour en France pourrait jouer un rôle crucial, car ces structures intègrent l'activité physique dans la prise en charge globale des patients. De manière plus globale, un investissement dans la prévention, à ce jour encore marginale dans les stratégies de santé publique (Guéniat, 2021; Jean & Millet, 2022), pourrait apporter de nombreuses opportunités. En plus de la prévention des troubles fonctionnels et de la CIPN, une diminution de l'incidence des maladies chroniques, une limitation des effets secondaires de la maladie et des traitements ainsi que du risque de récurrence pourraient être observées. Un euro investi dans l'activité physique rapporte 1,7 euros de bénéfice (OMS, 2023).

Offre distante du domicile

Pour faciliter l'accès à l'activité physique, différentes pistes peuvent être imaginées allant de la diversification de l'offre aux adaptations environnementales.

Pour commencer, l'augmentation du nombre de spécialistes du mouvement, formés au contexte oncologique, permettrait d'encourager la pratique d'activité physique. Ces spécialistes ont pour rôle de sensibiliser les patients en les initiant au mouvement et en les guidant vers une activité adéquate. Selon l'étude de Frikket et al. (2020), 53 % des patients ayant un cancer avancé n'éprouvent aucun intérêt pour la pratique de l'activité physique (Frikket et al., 2020). Il devient, dès lors, essentiel de trouver le type d'activité le plus adapté aux besoins du patient tout en répondant aux objectifs visés.

Pour les personnes peu motivées par l'activité physique traditionnelle, des pratiques mêlant l'art au mouvement telles que des interventions de danse (Abu-Odah et al., 2024) ou des parcours museaux adaptés (Bruyneel & Pichonnaz, 2021) peuvent être proposées. Ces activités améliorent les capacités de contrôle postural des patients ayant reçu une chimiothérapie neurotoxique, tout en étant plus favorables au maintien de la motivation sur le long terme (Worthen-Chaudhari et al., 2019, 2024). L'aspect ludique est, en effet, particulièrement apprécié par les participants (Henriksson et al., 2016). De plus, ces activités offrent la possibilité d'inclure la participation de proches, source également de motivation (Adamsen et al., 2017; Avancini et al., 2020). De manière générale, le patient adhèrera à la pratique que s'il en perçoit les bienfaits (Elshahat et al., 2021).

La télé-réadaptation pourrait également faciliter l'accès et la pratique de l'activité physique (Qiu et al., 2023). Elle a montré de bons résultats en contexte oncologique pour limiter les

instabilités posturales (*Étude 2*), tout en étant faisable et sécuritaire (Qiu et al., 2023). Pour être efficace, l'outil devra être accessible, convivial, n'entraînant pas de charge sur le personnel soignant aux dépens d'autres soins et permettant les échanges entre les participants (Forbes et al., 2024). En considérant le programme d'exercices sensorimoteurs proposé précédemment, une application pourrait être envisagée pour faciliter les explications (déroulement, descriptions des exercices détaillés en vidéo) et le suivi du programme (progression, adaptation de la charge, gestion des effets indésirables des traitements), tout en permettant les échanges entre les participants et/ou thérapeutes (forum, contacts facilités).

Surtout, il semble de plus en plus indispensable de rendre l'activité physique plus abordable pour tout un chacun dans le vécu quotidien. Son intégration dans la vie de tous les jours pourrait encourager la confiance dans le mouvement et faciliter son automatisation (Cheval & Boisgontier, 2020). Pour les patients ayant maintenu une activité professionnelle, cela limiterait les contraintes de temps (Henriksson et al., 2016), de fatigue (Husebø et al., 2014) ou de charge d'investissement. Le décloisonnement des pratiques devrait s'accompagner d'une réflexion sur les adaptations des environnements de vie afin qu'ils encouragent le mouvement. Ainsi, le développement des déplacements actifs et des activités extérieures par la sécurisation des infrastructures, la création d'espaces verts, la diminution de la pollution de l'air ou l'incitation au mouvement sont des pistes à poursuivre (*Figure 24*) (OCDE, 2023).



Figure 24. Propositions pour encourager l'activité physique tirées de l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE, 2023) (traduction libre). En gras, les mesures adaptées au contexte de ce travail

Enfin, des prises en charge multidisciplinaires associant déterminants physiques, psychiques et sociaux accompagneraient au mieux la personne atteinte de cancer. Si des études sont encore nécessaires dans le contexte de la CIPN (Tanay et al., 2021), des effets concluants sur les paramètres fonctionnels, psychologiques et sur l'adhésion du patient au traitement ont été observés dans le cadre de réadaptation post opératoire du cancer du sein (Hou et al., 2024). Un accompagnement multidisciplinaire permettrait de rejoindre les quatre principaux besoins en soins de support évoqués par les patients que sont la prise en charge des effets indésirables des traitements du cancer, le soutien psychologique, la pratique de soins complémentaires (sophrologie, hypnose, méditation, acupuncture) et l'activité physique (Scotté et al., 2024).

Développement de recommandations pour l'implémentation des actions liées à l'activité physique

L'implémentation de l'activité physique pourrait être facilitée par la création d'un parcours standardisé pouvant être adapté à chaque institution. Modèle d'entretien, contenu de l'évaluation initiale, propositions de modalités FITT selon les besoins, évaluation type de suivi pourraient contribuer à faciliter l'implémentation de la pratique d'activité physique. Si la base de la recommandation peut être commune, il est primordial que des facteurs d'individualisation soient ajoutés.

Le patient pourrait ainsi être accompagné par un thérapeute dès le diagnostic de son cancer puis tout au long de son parcours de soin afin qu'il puisse pratiquer des exercices physiques adaptés correspondant à ses attentes et besoins, tout en développant son autonomie (**Figure 25**).

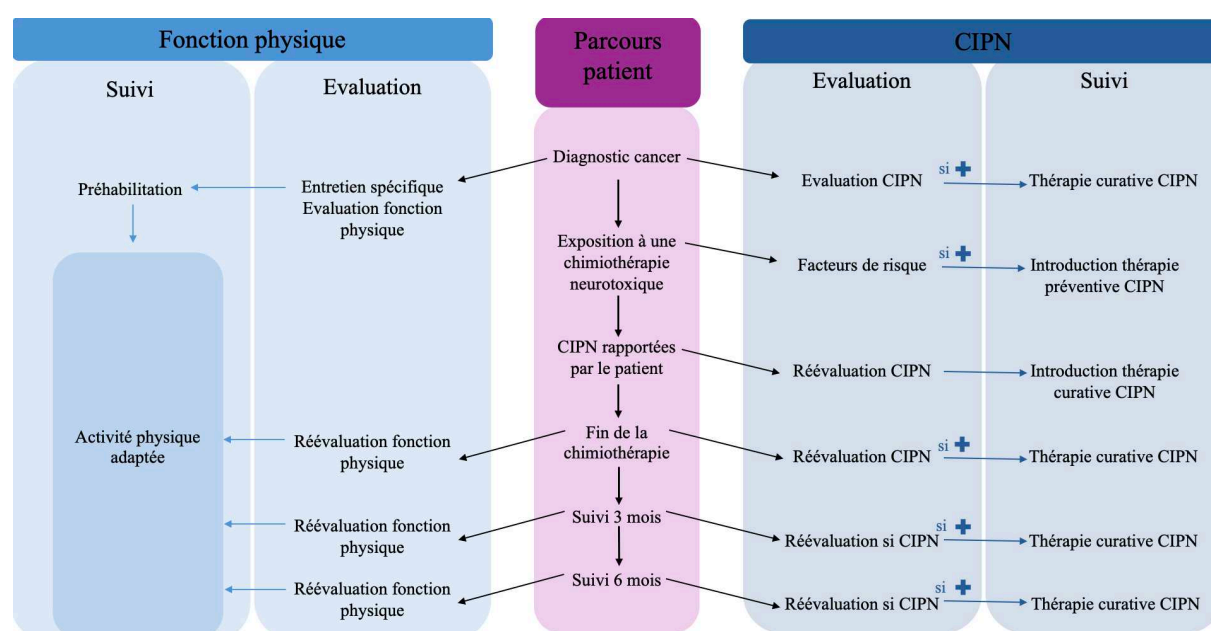


Figure 25. Proposition de suivi durant le parcours de soin adapté de (Stoller et al., 2023). CIPN = neuropathies périphériques induites par chimiothérapie

Pour finir, pour qu'un patient puisse prendre part aux activités physiques, différents facteurs doivent être comblés. Ces facteurs comprennent une connaissance de l'offre disponible passant par une bonne littératie en santé, une activité accessible, un type d'activité adapté aux objectifs ciblés et aux préférences du patient, un soutien social encourageant la pratique et une autonomie dans le mouvement.

Vb. Implications cliniques

Un algorithme décisionnel ayant pour objectif de faciliter l'identification ainsi que la prise en charge des troubles fonctionnels et de la CIPN est proposé à la **Figure 26**. Cet algorithme a été conçu sur la base des observations réalisées au cours de ce travail de thèse.

Par une anamnèse simple, composée de quelques questions sur les symptômes de la CIPN (engourdissements, fourmillements, picotements, douleurs, hyposensibilité) dans les extrémités et les difficultés rencontrées dans les activités de la vie quotidienne (habillage, escaliers, marche), l'oncologue pourra définir le besoin d'évaluations complémentaires. Ces évaluations complémentaires pourront être réalisées par l'oncologue ou le physiothérapeute qui effectuera une évaluation courte des signes et symptômes de la CIPN et de la fonction physique afin de mettre en évidence le besoin d'évaluations plus approfondies. Les modalités des évaluations ont été précédemment précisées dans ce travail.

En cas de CIPN suspectée ou de troubles de la fonction physique détectés, une prise en charge par des exercices sensorimoteurs sera proposée, selon les modalités définies dans ce travail. Si le patient ne présente ni symptômes ni signes de CIPN ni troubles fonctionnels, il pourra être redirigé vers une prise en charge d'activités physiques plus générale, adaptée à ses besoins et ses objectifs. Le processus décisionnel sera répété au fur et à mesure du déroulement de la chimiothérapie, par exemple, lors des rendez-vous de suivi ou à chaque cycle.

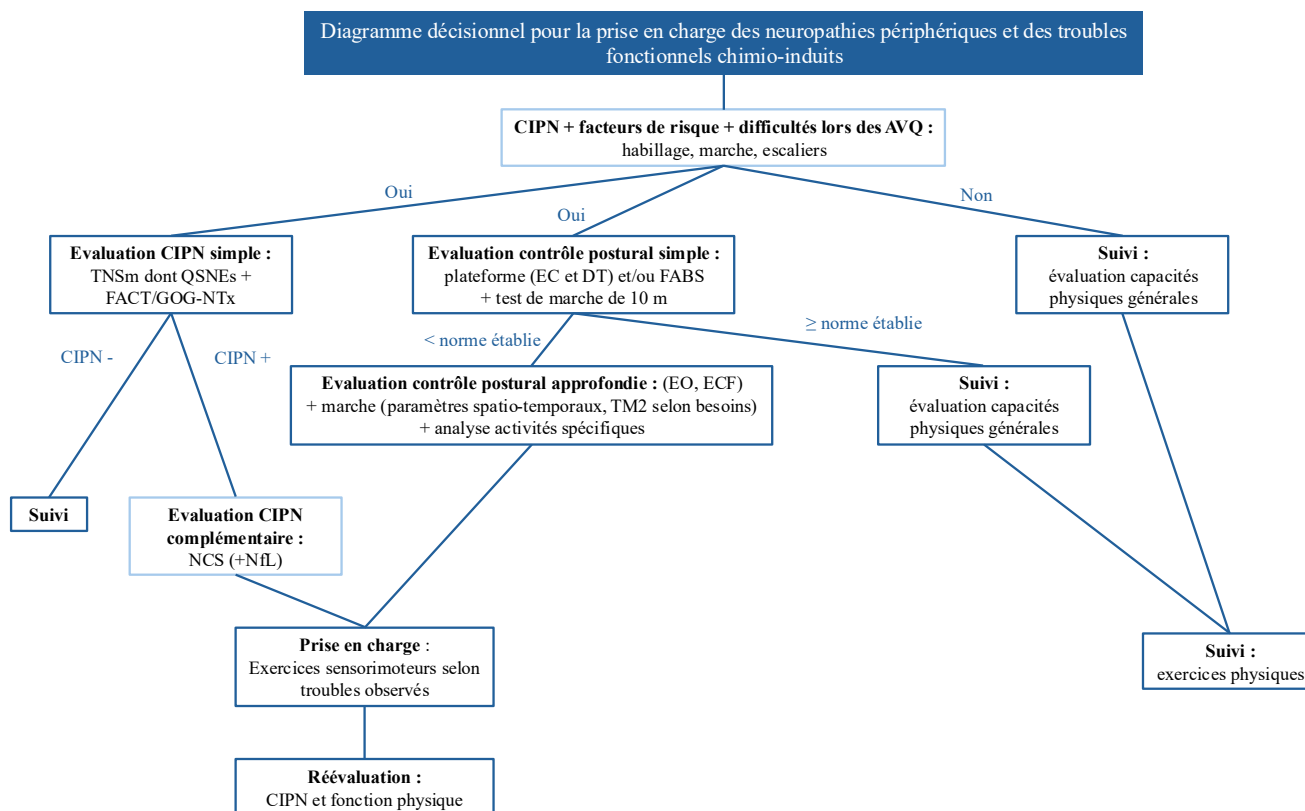


Figure 26. Algorithme décisionnel pour la prise en charge des CIPN et des troubles fonctionnels chimio-induits. En bleu clair = évaluation par l'oncologue, en bleu foncé = proposition d'évaluation / prise en charge par le physiothérapeute. AVQ = activités de la vie quotidienne, CIPN = neuropathies périphériques induites par chimiothérapie, DT = double tâche, EC = yeux fermés, EO = yeux ouverts, F = mousse, FABS = fullerton advanced balance scale, FACT = functional assessment of cancer therapy, GOG-Ntx = gynecologic oncology group-Neurotoxicity, NCS = évaluation de la conduction nerveuse, NfL = taux sérique de chaînes légères des neurofilaments, QSNEs = évaluation neurologique sensorielle quantitative, TM2 = test de marche de deux minutes, TNSm = total neuropathy score modifié

La prise en charge d'exercices sensorimoteurs devra débuter dès l'apparition de signes ou symptômes de la CIPN ou de toute perturbation de la fonction physique. Pour encourager la pratique d'activité physique, des mesures devraient, d'emblée, être envisagées. Celles-ci comprendront : un soutien d'une personne référente spécialiste du mouvement, des discussions pour stimuler un comportement quotidien actif dans un parcours de soin bien rempli ainsi qu'une sensibilisation des proches du patient concernant l'importance de l'activité physique et la possibilité de partager ces instants.

En clarifiant les rôles et les investigations à réaliser, cet algorithme pourra faciliter la mise en place d'évaluations systématiques de détection des troubles chimio-induits afin de proposer des prises en charge adaptées.

Vc. Limites et perspectives

Toute étude évaluant l'activité physique fait face au risque de biais de sélection (Preobrazenski et al., 2024). En effet, les personnes ayant un état général plus favorable ou manifestant un intérêt pour l'activité physique sont plus enclines à participer aux interventions proposées, ce qui peut limiter la généralisation des résultats. Des études de phase IV, reflétant la pratique clinique sont donc d'autant plus importantes (Onken et al., 2014).

Ensuite, la CIPN est particulièrement difficile à diagnostiquer car aucun outil ne répond actuellement aux besoins des patients et de la clinique (McCrary et al., 2017). Ainsi, des divergences existent entre les résultats obtenus selon l'outil utilisé, comme soulevé dans l'*Étude 1*. La concordance relativement faible observée entre les différents outils pourrait être liée à des évaluations réalisées à des temporalités différentes (durant le traitement vs. après), aux critères utilisés pour l'évaluer (subjectifs vs. mixtes) et aux dimensions ciblées par les outils. En effet, les études d'analyses factorielles et d'analyse en composante principale manquent pour discerner les composantes évaluées dans le FACT/GOG-Ntx (H. L. Cheng et al., 2020). Seule une analyse exploratoire de données à six mois post chimiothérapie principalement par taxanes (45 %) pour un cancer du sein (51 %) a identifié une structure en trois facteurs. Les trois facteurs ciblaient les problèmes moteurs et sensoriels du membre supérieur ainsi que les problèmes d'audition et de faiblesse corporelle, loin des signes et symptômes majoritairement mesurés dans les études de cette thèse (*c.-à-d.* hyporéflexie, hyposensibilité vibratoire du membre inférieur) et des répercussions principales des taxanes (Albany et al., 2021; Argyriou et al., 2019; Velasco-González & Coffeen, 2022; Wang & Molassiotis, 2022). De plus, l'analyse réalisée ne peut être appliquée à une temporalité différente, dont celle utilisée dans nos études (*p. ex.*, post chimiothérapie) (H. L. Cheng et al., 2020). Une meilleure standardisation des protocoles d'évaluations mixtes (subjectifs et objectifs) associée à l'ajout d'un biomarqueur tel que le taux sérique de chaînes légères des neurofilaments (neurofilament light chain en anglais, NfL) pourrait faciliter la mise en évidence de cette pathologie (Cavaletti et al., 2023; Huehnchen et al., 2022; Meregalli et al., 2020).

D'autre part, des périodes d'investigation plus longues permettraient d'étudier l'évolution naturelle des CIPN/troubles de la fonction physique post chimiothérapie ainsi que la réversibilité et les effets à long termes de l'activité physique dans ce contexte. De futures études pourront apporter de précieuses informations à ce sujet pour préciser les besoins des patients.

Par ailleurs, une évaluation plus approfondie des perceptions des patients sur leurs difficultés fonctionnelles et les répercussions sur leur quotidien, par l'intermédiaire d'entretiens individuels (étude qualitative), permettrait de mieux cibler les attentes et besoins des patients. Un partenariat avec des patients partenaires aurait pu apporter de précieuses précisions sur ces besoins et affiner les protocoles des différentes études (Bourmaud et al., 2022).

Ensuite, un accent plus important sur l'identification des freins et des moteurs au mouvement, des attentes et objectifs du patient semble nécessaire pour la préservation de la motivation à la pratique d'activité physique sur le moyen et long terme, point évoqué par les participantes du programme d'exercices sensorimoteurs.

Enfin, une recherche approfondie interdisciplinaire devrait être portée sur la compréhension des mécanismes d'action de l'activité physique pour améliorer les signes et symptômes de la CIPN ou des troubles fonctionnels. Une évaluation des mécanismes potentiels (neuroplasticité, régénération nerveuse) (Streckmann et al., 2022) devrait être ajoutée aux futurs projets, tout en étant conscients que ces évaluations s'éloignent des préférences des patients atteints de CIPN concernant leur propension à participer aux essais cliniques sur le sujet (*c.-à-d.* peu d'évaluations invasives, durée limitée à 30 min, utilisation préférentielle des PROMs, *etc.*) (Knoerl et al., 2022).

Une meilleure compréhension des effets bio-psycho-sociaux des soins de support permettrait d'identifier les patients plus répondants (Park et al., 2022), d'individualiser la prise en charge et de pouvoir l'intégrer de façon plus pérenne dans les parcours des patients.

VI. Conclusion

Les CIPN et les répercussions fonctionnelles induites par la chimiothérapie exercent un sérieux impact sur le bien-être de la personne et sur le déroulement de ses traitements. Proposer des évaluations concrètes et réalisables en clinique répond donc à une demande et permet d'anticiper une plainte, celle de répercussions conséquentes sur le quotidien, l'autonomie et la qualité de vie. Toutefois, la prise en charge en pratique clinique de la CIPN et des troubles de la fonction physique chimio-induits est actuellement limitée par manque de temps et de ressources.

La pratique d'activité physique en cette période de chimiothérapie pourrait néanmoins contribuer positivement à leur bien-être grâce à la limitation des effets indésirables provoqués par la chimiothérapie permettant le maintien des loisirs, de la vie sociale et professionnelle. Ainsi, la recherche commune d'exercices physiques adaptés, correspondant aux objectifs visés

et aux préférences des patients, pourrait les conduire vers un mode de vie plus actif, bénéfique en tous points.

Les résultats obtenus dans ce travail de thèse démontrent l'intérêt et l'importance de la mise en place de prises en charge spécifiques pour les CIPN et les troubles fonctionnels chimio-induits. Ces prises en charge devraient être directement intégrées dans le parcours de soin. Pour cela, elles pourront profiter de l'essor des soins de support.

Dans un contexte de prévalence en constante augmentation de personnes vivant avec les répercussions du cancer, l'optimisation du parcours de soin par un accompagnement spécifique et adapté paraît primordial.

VII. Références

- Abellan Van Kan, G., Rolland, Y., Andrieu, S., Bauer, J., Beauchet, O., Bonnefoy, M., Cesari, M., Donini, L. M., Gillette-Guyonnet, S., Inzitari, M., Nourhashemi, F., Onder, G., Ritz, P., Salva, A., Visser, M., & Vellas, B. (2009). Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 13(10), 881-889. <https://doi.org/10.1007/s12603-009-0246-z>
- Abouassaly, M., Bastasi, D., Bellefeuille, C., Conway, K., Girling, S., Grant, C., Harris, D., Holmgren, L., Kalra, M., Stevens, A., MacKay-Lyons, M., Hill, K., Katsios, L., Lang, M., Lovatt, N., Meredith, J., Muir, A., Parks, K., Strickey, S., ... Winegard, D. (2018). *IWalk-A Guide to an Evidence-Informed Approach to Using the 10-metre and 6-minute walk tests post-stroke*.
- Abrahámová, D., Mancini, M., Hlavačka, F., & Chiari, L. (2009). The age-related changes of trunk responses to Achilles tendon vibration. *Neuroscience Letters*, 467(3), 220-224. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.10.041>
- Abu-Odah, H., Wang, M., Su, J. J., Collard-Stokes, G., Sheffield, D., & Molassiotis, A. (2024). Effectiveness of dance movement therapy and dance movement interventions on cancer patients' health-related outcomes : A systematic review and meta-analysis. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 32(4), 235. <https://doi.org/10.1007/s00520-024-08431-4>
- Adamsen, L., Andersen, C., Lillelund, C., Bloomquist, K., & Møller, T. (2017). Rethinking exercise identity: A qualitative study of physically inactive cancer patients' transforming process while undergoing chemotherapy. *BMJ Open*, 7(8), e016689. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2017-016689>
- Adonis, A., & Taylor, G. P. (2016). Assessing Walking Ability in People with HTLV-1-Associated Myelopathy Using the 10 Meter Timed Walk and the 6 Minute Walk Test. *PLoS ONE*, 11(6), e0157132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157132>
- Agarwala, P., & Salzman, S. H. (2020). Six-Minute Walk Test. *Chest*, 157(3), 603-611. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.10.014>
- Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé. (2024). *Accueil—Base de données publique des médicaments*. <https://base-donnees-publique.medicaments.gouv.fr/>
- Ahles, T. A., & Saykin, A. J. (2007). Candidate mechanisms for chemotherapy-induced cognitive changes. *Nature Reviews. Cancer*, 7(3), 192-201. <https://doi.org/10.1038/nrc2073>
- Albany, C., Dockter, T., Wolfe, E., Le-Rademacher, J., Wagner-Johnston, N., Einhorn, L., Lafky, J. M., Smith, E., Pachman, D., Staff, N., Ma, C., Loprinzi, C. L., & Costello, B. A. (2021). Cisplatin-associated neuropathy characteristics compared with those associated with other neurotoxic chemotherapy agents (Alliance A151724). *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 29(2), 833-840. <https://doi.org/10.1007/s00520-020-05543-5>
- Amatachaya, S., Naewla, S., Srisim, K., Arrayawichanon, P., & Siritaratiwat, W. (2014). Concurrent validity of the 10-meter walk test as compared with the 6-minute walk test in patients with spinal cord injury at various levels of ability. *Spinal Cord*, 52(4), 333-336. <https://doi.org/10.1038/sc.2013.171>
- Andersen, H. H., Vinther, A., Lund, C. M., Paludan, C., Jørgensen, C. T., Nielsen, D., & Juhl, C. B. (2022). Effectiveness of different types, delivery modes and extensiveness of exercise in patients with breast cancer receiving systemic treatment—A systematic review and meta-analysis. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 178, 103802. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2022.103802>
- Andersen, L. K., Knak, K. L., Witting, N., & Vissing, J. (2016). Two- and 6-minute walk tests assess walking capability equally in neuromuscular diseases. *Neurology*, 86(5), 442-445. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002332>
- Andersson, M., Moberg, L., Svantesson, U., Sundbom, A., Johansson, H., & Emtner, M. (2011). Measuring walking speed in COPD : Test-retest reliability of the 30-metre walk test and comparison with the 6-minute walk test. *Primary Care Respiratory Journal: Journal of the General Practice Airways Group*, 20(4), 434-440. <https://doi.org/10.4104/pcrj.2011.00082>
- Andrade, M. S., Honorato, M. P., Vargas, J. P., de los Angeles Galvez, M., & Rojas, M. R. (2023). Comparison of two handgrip dynamometers in older adults before elective surgery. *Perioperative Medicine*, 12(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s13741-023-00334-y>
- Argyriou, A. A., Desai, A., & Loprinzi, C. (2021). Natural History of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. In M. Lustberg & C. Loprinzi (Éds.), *Diagnosis, Management and Emerging Strategies for Chemotherapy-Induced Neuropathy : A MASCC Book* (p. 1-18). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78663-2_1

Argyriou, A. A., Park, S. B., Islam, B., Tamburin, S., Velasco, R., Alberti, P., Bruna, J., Psimaras, D., Cavaletti, G., & Cornblath, D. R. (2019). Neurophysiological, nerve imaging and other techniques to assess chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity in the clinical and research settings. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, jnnp-2019-320969. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2019-320969>

Armand, S., Bonnefoy-Mazure, A., De Coulon, G., & Hoffmeyer, P. (2015). Analyse quantifiée de la marche : Mode d'emploi. *Rev Med Suisse*, 490, 1916-1920.

ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. (2002). ATS Statement. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 166(1), 111-117. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.166.1.at1102>

Aune, D., Markozannes, G., Abar, L., Balducci, K., Cariolou, M., Nanu, N., Vieira, R., Anifowoshe, Y. O., Greenwood, D. C., Clinton, S. K., Giovannucci, E. L., Gunter, M. J., Jackson, A., Kampman, E., Lund, V., McTiernan, A., Riboli, E., Allen, K., Brockton, N. T., ... Chan, D. S. M. (2022). Physical Activity and Health-Related Quality of Life in Women With Breast Cancer : A Meta-Analysis. *JNCI Cancer Spectrum*, 6(6), pkac072. <https://doi.org/10.1093/jncics/pkac072>

Avancini, A., Tregnago, D., Rigatti, L., Sartori, G., Yang, L., Trestini, I., Bonaiuto, C., Milella, M., Pilotto, S., & Lanza, M. (2020). Factors Influencing Physical Activity in Cancer Patients During Oncological Treatments : A Qualitative Study. *Integrative Cancer Therapies*, 19, 1534735420971365. <https://doi.org/10.1177/1534735420971365>

Bahar-Ozdemir, Y., Akyuz, G., Kalkandelen, M., & Yumuk, P. F. (2020). The Effect of Therapeutic Exercises on Balance, Quality of Life, and Pain in Patients Who Were Receiving Neurotoxic Chemotherapy. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 99(4), 291-299. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001324>

Bahcaci, U., & Demirbukan, I. (2019). Effects of chemotherapy process on postural balance control in patients with breast cancer. *Indian Journal of Cancer*, 56(1), 50-54. https://doi.org/10.4103/ijc.IJC_47_18

Barata, A. T., Santos, C., Cravo, M., Vinhas, M. do C., Morais, C., Carolino, E., Mendes, L., Roldão Vieira, J., & Fonseca, J. (2017). Handgrip Dynamometry and Patient-Generated Subjective Global Assessment in Patients with Nonresectable Lung Cancer. *Nutrition and Cancer*, 69(1), 154-158. <https://doi.org/10.1080/01635581.2017.1250923>

Beerda, D. C. E., Zegers, A. D., van Andel, E. S., Becker-Commissaris, A., van der Vorst, M. J. D. L., Tange, D., Duijts, S. F. A., & Brom, L. (2022). Experiences and perspectives of patients with advanced cancer regarding work resumption and work retention : A qualitative interview study. *Supportive Care in Cancer*, 30(12), 9713-9721. <https://doi.org/10.1007/s00520-022-07436-1>

Bekkers, E. M. J., Dockx, K., Heremans, E., Vercruyse, S., Verschueren, S. M. P., Mirelman, A., & Nieuwboer, A. (2014). The contribution of proprioceptive information to postural control in elderly and patients with Parkinson's disease with a history of falls. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 939. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00939>

Bennett, S. E., Bromley, L. E., Fisher, N. M., Tomita, M. R., & Niewczyk, P. (2017). Validity and Reliability of Four Clinical Gait Measures in Patients with Multiple Sclerosis. *International Journal of MS Care*, 19(5), 247-252. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2015-006>

Benton, M. J., Spicher, J. M., & Silva-Smith, A. L. (2022). Validity and reliability of handgrip dynamometry in older adults : A comparison of two widely used dynamometers. *PLoS ONE*, 17(6), e0270132. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270132>

Binotto, M. A., Lenardt, M. H., & Rodríguez-Martínez, M. D. C. (2018). Physical frailty and gait speed in community elderly : A systematic review. *Revista Da Escola De Enfermagem Da U S P*, 52, 1-16. <https://doi.org/10.1590/S1980-220X2017028703392>

Bland, K. A., Kirkham, A. A., Bovard, J., Shenkier, T., Zucker, D., McKenzie, D. C., Davis, M. K., Gelmon, K. A., & Campbell, K. L. (2019). Effect of Exercise on Taxane Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy in Women With Breast Cancer : A Randomized Controlled Trial. *Clinical Breast Cancer*, 19(6), 411-422. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2019.05.013>

Blosch, C., Schäfer, R., Marées, M. de, & Platen, P. (2019). Comparative analysis of postural control and vertical jump performance between three different measurement devices. *PLOS ONE*, 14(9), e0222502. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222502>

Bohannon, R. W. (2017). Normative reference values for the two-minute walk test derived by meta-analysis. *Journal of Physical Therapy Science*, 29(12), 2224-2227. <https://doi.org/10.1589/jpts.29.2224>

Bohannon, R. W., & Andrews, A. W. (2011). Normal walking speed : A descriptive meta-analysis. *Physiotherapy*, 97(3), 182-189. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2010.12.004>

- Bohannon, R. W., Bubela, D., Magasi, S., McCreath, H., Wang, Y.-C., Reuben, D., Rymer, W. Z., & Gershon, R. (2014). Comparison of walking performance over the first 2 minutes and the full 6 minutes of the Six-Minute Walk Test. *BMC Research Notes*, 7, 1-6. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-269>
- Bohannon, R. W., Wang, Y.-C., & Gershon, R. C. (2015). Two-Minute Walk Test Performance by Adults 18 to 85 Years : Normative Values, Reliability, and Responsiveness. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(3), 472-477. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.006>
- Bonomi, A. E., Cella, D. F., Hahn, E. A., Bjordal, K., Sperner-Unterweger, B., Gangeri, L., Bergman, B., Willems-Groot, J., Hanquet, P., & Zittoun, R. (1996). Multilingual translation of the Functional Assessment of Cancer Therapy (FACT) quality of life measurement system. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, 5(3), 309-320. <https://doi.org/10.1007/BF00433915>
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.
- Bortolato, B., Hyphantis, T. N., Valpione, S., Perini, G., Maes, M., Morris, G., Kubera, M., Köhler, C. A., Fernandes, B. S., Stubbs, B., Pavlidis, N., & Carvalho, A. F. (2017). Depression in cancer : The many biobehavioral pathways driving tumor progression. *Cancer Treatment Reviews*, 52, 58-70. <https://doi.org/10.1016/j.ctrv.2016.11.004>
- Boulgarides, L. K., McGinty, S. M., Willett, J. A., & Barnes, C. W. (2003). Use of clinical and impairment-based tests to predict falls by community-dwelling older adults. *Physical Therapy*, 83(4), 328-339.
- Bourmaud, A., Piot de Villars, E., & Renault-Teissier, E. (2022). Patient partenaire et éducation thérapeutique en cancerologie. *Bulletin du Cancer*, 109(5), 588-597. <https://doi.org/10.1016/j.bulcan.2021.09.016>
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, 3(2), 77-101. <https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa>
- Brooks, D., Hunter, J. P., Parsons, J., Livsey, E., Quirt, J., & Devlin, M. (2002). Reliability of the two-minute walk test in individuals with transtibial amputation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 83(11), 1562-1565. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.34600>
- Brooks, J. L. (2012). Counterbalancing for serial order carryover effects in experimental condition orders. *Psychological Methods*, 17(4), 600-614. <https://doi.org/10.1037/a0029310>
- Brossart, D. F., Laird, V. C., & Armstrong, T. W. (2018). Interpreting Kendall's Tau and Tau-U for single-case experimental designs. *Cogent Psychology*, 5(1). <https://doi.org/10.1080/23311908.2018.1518687>
- Brown, J. C., Cespedes Feliciano, E. M., & Caan, B. J. (2018). The evolution of body composition in oncology—epidemiology, clinical trials, and the future of patient care : Facts and numbers. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 9(7), 1200-1208. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12379>
- Browne, W., & Nair, B. K. R. (2019). The Timed Up and Go test. *Medical Journal of Australia*, 210(1), 13-14.e1. <https://doi.org/10.5694/mja2.12045>
- Bruttini, C., Esposti, R., Bolzoni, F., & Cavallari, P. (2016). Higher Precision in Pointing Movements of the Preferred vs. Non-Preferred Hand Is Associated with an Earlier Occurrence of Anticipatory Postural Adjustments. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00365>
- Bruyneel, A. V., Gafner, S., & Reinmann, A. (2023). Évaluation de la capacité fonctionnelle de marche : Test de marche de six minutes. *EM-Consulte*, 23(254), 44-49. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2022.12.180>
- Bruyneel, A. V., Reinmann, A., Pourchet, T., Nicolo, P., & Gafner, S. C. (2021). Mesure du contrôle postural en position debout bipodale par plateforme stabilométrique. *Kinésithérapie, la Revue*, 21(231), 30-32. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2020.12.007>
- Bruyneel, A.-V., & Pichonnaz, C. (2021). Art et culture : L'activité physique n'est pas la seule alternative pour la santé. *Mains Libres*, 221, 75-76.
- Buffart, L. M., Kalter, J., Sweegers, M. G., Courneya, K. S., Newton, R. U., Aaronson, N. K., Jacobsen, P. B., May, A. M., Galvão, D. A., Chinapaw, M. J., Steindorf, K., Irwin, M. L., Stuiver, M. M., Hayes, S., Griffith, K. A., Lucia, A., Mesters, I., van Weert, E., Knoop, H., ... Brug, J. (2017). Effects and moderators of exercise on quality of life and physical function in patients with cancer : An individual patient data meta-analysis of 34 RCTs. *Cancer Treatment Reviews*, 52, 91-104. <https://doi.org/10.1016/j.ctrv.2016.11.010>

Burgess, J., Ferdousi, M., Gosal, D., Boon, C., Matsumoto, K., Marshall, A., Mak, T., Marshall, A., Frank, B., Malik, R. A., & Alam, U. (2021). Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy : Epidemiology, Pathomechanisms and Treatment. *Oncology and Therapy*, 9(2), 385-450. <https://doi.org/10.1007/s40487-021-00168-y>

Calhoun, E. A., Welshman, E. E., Chang, C.-H., Lurain, J. R., Fishman, D. A., Hunt, T. L., & Cella, D. (2003). Psychometric evaluation of the Functional Assessment of Cancer Therapy/Gynecologic Oncology Group-Neurotoxicity (Fact/GOG-Ntx) questionnaire for patients receiving systemic chemotherapy. *International Journal of Gynecological Cancer: Official Journal of the International Gynecological Cancer Society*, 13(6), 741-748. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1438.2003.13603.x>

Cammisuli, S., Cavazzi, E., Baldissarro, E., & Leandri, M. (2016). Rehabilitation of balance disturbances due to chemotherapy-induced peripheral neuropathy : A pilot study. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 52(4), 479-488.

Campbell, K. L., Winters-Stone, K., Wiskemann, J., May, A. M., Schwartz, A. L., Courneya, K. S., Zucker, D., Matthews, C., Ligibel, J., Gerber, L., Morris, S., Patel, A., Hue, T., Perna, F., & Schmitz, K. H. (2019). Exercise Guidelines for Cancer Survivors : Consensus statement from International Multidisciplinary Roundtable. *Medicine and science in sports and exercise*, 51(11), 2375-2390. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002116>

Capicíková, N., Rocchi, L., Hlava, F., Chiari, L., & Cappello, A. (2006). *Human Postural Response to Lower Leg Muscle Vibration of Different Duration*. 55, 6.

Carroll, K., Kennedy, R. A., Koutoulas, V., Bui, M., & Kraan, C. M. (2022). Validation of shoe-worn Gait Up Physilog®5 wearable inertial sensors in adolescents. *Gait & Posture*, 91, 19-25. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.09.203>

Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness : Definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Reports*, 100(2), 126-131.

Cavaletti, G., Bogliun, G., Marzorati, L., Zincone, A., Piatti, M., Colombo, N., Franchi, D., La Presa, M. T., Lissoni, A., Buda, A., Fei, F., Cundari, S., & Zanna, C. (2004). Early predictors of peripheral neurotoxicity in cisplatin and paclitaxel combination chemotherapy. *Annals of Oncology*, 15(9), 1439-1442. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdh348>

Cavaletti, G., Frigeni, B., Lanzani, F., Piatti, M., Rota, S., Briani, C., Zara, G., Plasmati, R., Pastorelli, F., Caraceni, A., Pace, A., Manicone, M., Lissoni, A., Colombo, N., Bianchi, G., & Zanna, C. (2007). The Total Neuropathy Score as an assessment tool for grading the course of chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity : Comparison with the National Cancer Institute-Common Toxicity Scale. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 12(3), 210-215. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2007.00141.x>

Cavaletti, G., Jann, S., Pace, A., Plasmati, R., Siciliano, G., Briani, C., Cocito, D., Padua, L., Ghiglione, E., Manicone, M., & Giussani, G. (2006). Multi-center assessment of the Total Neuropathy Score for chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity. *Journal of the Peripheral Nervous System*, 11(2), 135-141. <https://doi.org/10.1111/j.1085-9489.2006.00078.x>

Cavaletti, G., Pizzamiglio, C., Man, A., Engber, T. M., Comi, C., & Wilbraham, D. (2023). Studies to Assess the Utility of Serum Neurofilament Light Chain as a Biomarker in Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. *Cancers*, 15(17), 4216. <https://doi.org/10.3390/cancers15174216>

Cella, D., Peterman, A., Hudgens, S., Webster, K., & Socinski, M. A. (2003). Measuring the side effects of taxane therapy in oncology : The functional assesment of cancer therapy-taxane (FACT-taxane). *Cancer*, 98(4), 822-831. <https://doi.org/10.1002/cncr.11578>

Chalder, T., Berelowitz, G., Pawlikowska, T., Watts, L., Wessely, S., Wright, D., & Wallace, E. P. (1993). Development of a fatigue scale. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(2), 147-153. [https://doi.org/10.1016/0022-3999\(93\)90081-P](https://doi.org/10.1016/0022-3999(93)90081-P)

Chan, C. W., Leung, S. F., & Molassiotis, A. (2023). Can more be done? - A qualitative study of breast cancer survivors' perspectives on regular walking exercise to improve post-chemotherapy neurotoxicity impairments. *European Journal of Oncology Nursing: The Official Journal of European Oncology Nursing Society*, 67, 102432. <https://doi.org/10.1016/j.ejon.2023.102432>

Chan, P. P., Si Tou, J. I., Tse, M. M., & Ng, S. S. (2017). Reliability and Validity of the Timed Up and Go Test With a Motor Task in People With Chronic Stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(11), 2213-2220. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2017.03.008>

Chan, W. L. S., & Pin, T. W. (2019). Reliability, validity and minimal detectable change of 2-minute walk test, 6-minute walk test and 10-meter walk test in frail older adults with dementia. *Experimental Gerontology*, 115, 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.11.001>

- Chen, B., Liu, P., Xiao, F., Liu, Z., & Wang, Y. (2021). Review of the Upright Balance Assessment Based on the Force Plate. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2696. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052696>
- Cheng, H. L., Lopez, V., Lam, S. C., Leung, A. K. T., Li, Y. C., Wong, K. H., Au, J. S. K., Sundar, R., Chan, A., De Ng, T. R., Suen, L. K. P., Chan, C. W., Yorke, J., & Molassiotis, A. (2020). Psychometric testing of the Functional Assessment of Cancer Therapy/Gynecologic Oncology Group-Neurotoxicity (FACT/GOG-Ntx) subscale in a longitudinal study of cancer patients treated with chemotherapy. *Health and Quality of Life Outcomes*, 18(1), 246. <https://doi.org/10.1186/s12955-020-01493-y>
- Cheng, I.-F., Kuo, L.-C., Tsai, Y.-J., & Su, F.-C. (2021). The Comparisons of Physical Functional Performances between Older Adults with and without Regular Physical Activity in Two Different Living Settings. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(7), 3561. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073561>
- Cheval, B., & Boisgontier, M. (2020). *Le syndrome du paresseux : Petit précis pour combattre notre inactivité physique*. Dunod.
- Cho, Y., Ruddy, K. J., & Lavoie Smith, E. M. (2021). Evaluation of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. In M. Lustberg & C. Loprinzi (Éds.), *Diagnosis, Management and Emerging Strategies for Chemotherapy-Induced Neuropathy : A MASCC Book* (p. 53-93). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78663-2_3
- Christopher, A., Kraft, E., Olenick, H., Kiesling, R., & Doty, A. (2021). The reliability and validity of the Timed Up and Go as a clinical tool in individuals with and without disabilities across a lifespan : A systematic review: Psychometric properties of the Timed Up and Go. *Disability and Rehabilitation*, 43(13), 1799-1813. <https://doi.org/10.1080/09638288.2019.1682066>
- Chung, K. H., Park, S. B., Streckmann, F., Wiskemann, J., Mohile, N., Kleckner, A. S., Colloca, L., Dorsey, S. G., & Kleckner, I. R. (2022). Mechanisms, Mediators, and Moderators of the Effects of Exercise on Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. *Cancers*, 14(5), 1224. <https://doi.org/10.3390/cancers14051224>
- Clark, P. G., Cortese-Jimenez, G., & Cohen, E. (2012). Effects of Reiki, Yoga, or Meditation on the Physical and Psychological Symptoms of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy : A Randomized Pilot Study. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, 17(3), 161-171. <https://doi.org/10.1177/2156587212450175>
- Compendium HCI solutions Suisse. (2024). *Compendium.ch*. <https://compendium.ch/fr>
- Connelly, D. M., Thomas, B. K., Cliffe, S. J., Perry, W. M., & Smith, R. E. (2009). Clinical Utility of the 2-Minute Walk Test for Older Adults Living in Long-Term Care. *Physiotherapy Canada*, 61(2), 78-87. <https://doi.org/10.3138/physio.61.2.78>
- Cornblath, D. R., Chaudhry, V., Carter, K., Lee, D., Seysedadr, M., Miernicki, M., & Joh, T. (1999). Total neuropathy score : Validation and reliability study. *Neurology*, 53(8), 1660-1664. <https://doi.org/10.1212/wnl.53.8.1660>
- Corriveau, H., Hébert, R., Prince, F., & Raïche, M. (2001). Postural control in the elderly : An analysis of test-retest and interrater reliability of the COP-COM variable. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82(1), 80-85. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.18678>
- Covington, K. R., Hidde, M. C., Pergolotti, M., & Leach, H. J. (2019). Community-based exercise programs for cancer survivors : A scoping review of practice-based evidence. *Supportive Care in Cancer*, 27(12), 4435-4450. <https://doi.org/10.1007/s00520-019-05022-6>
- Crichton, M., Yates, P. M., Agbejule, O. A., Spooner, A., Chan, R. J., & Hart, N. H. (2022). Non-Pharmacological Self-Management Strategies for Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy in People with Advanced Cancer : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Nutrients*, 14(12), 2403. <https://doi.org/10.3390/nu14122403>
- Cuisinier, R., Olivier, I., Vaugoyeau, M., Nougier, V., & Assaiante, C. (2011). Reweighting of Sensory Inputs to Control Quiet Standing in Children from 7 to 11 and in Adults. *PLoS ONE*, 6(5), e19697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0019697>
- Cullen, K. E. (2012). The vestibular system : Multimodal integration and encoding of self-motion for motor control. *Trends in neurosciences*, 35(3), 185-196. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2011.12.001>
- Dalgas, U., Severinsen, K., & Overgaard, K. (2012). Relations between 6 minute walking distance and 10 meter walking speed in patients with multiple sclerosis and stroke. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(7), 1167-1172. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.02.026>

- Davies, C., Colon, G., Geyer, H., Pflazer, L., & Fisher, M. (2016). Oncology EDGE Task Force on Prostate Cancer Outcomes : A Systematic Review of Outcome Measures for Functional Mobility. *Rehabilitation Oncology*, 34(3), 1-44.
- de Boer, A. G., Tamminga, S. J., Boschman, J. S., & Hoving, J. L. (2024). Non-medical interventions to enhance return to work for people with cancer. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 3(3), CD007569. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007569.pub4>
- de Boer, A. G., Taskila, T. K., Tamminga, S. J., Feuerstein, M., Frings-Dresen, M. H., & Verbeek, J. H. (2015). Interventions to enhance return-to-work for cancer patients. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2015(9), CD007569. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD007569.pub3>
- de Jong, N. (2011). Fatigue in female breast cancer patients : Might its origins be more generic than we think? *European Journal of Cancer Care*, 20(6), 701-702. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2354.2011.01296.x>
- Delattre, C. (2018). 13. Activité physique adaptée. « Quand bouger se révèle thérapeutique ». In *Soins de support en oncologie adulte* (p. 215-227). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.etien.2018.01.0215>
- Demos-Davies, K., Lawrence, J., & Seelig, D. (2024). Cancer related cognitive impairment : A downside of cancer treatment. *Frontiers in Oncology*, 14, 1387251. <https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1387251>
- Dennett, A. M., Harding, K. E., & Reed, M. S. (2020). The challenge of timing : A qualitative study on clinician and patient perspectives about implementing exercise-based rehabilitation in an acute cancer treatment setting. *Supportive Care in Cancer*, 28(12), 6035-6043. <https://doi.org/10.1007/s00520-020-05436-7>
- DePew, Z. S., Karpman, C., Novotny, P. J., & Benzo, R. P. (2013). Correlations Between Gait Speed, 6-Minute Walk Distance, Physical Activity, and Self-Efficacy in Patients With Severe Chronic Lung Disease. *Respiratory care*, 58(12), 2113-2119. <https://doi.org/10.4187/respcare.02471>
- de Souza, C. V., Miranda, E. C. M., Garcia Jr, C., Aranha, F. J. P., de Souza, C. A., & Vigorito, A. C. (2012). Functional evaluation indicates physical losses after hematopoietic stem cell transplantation. *Revista Brasileira de Hematologia e Hemoterapia*, 34(5), 345-351. <https://doi.org/10.5581/1516-8484.20120090>
- de Vet, H. C. W., Terwee, C. B., Mokkink, L. B., & Knol, D. L. (2011). *Measurement in Medicine : A Practical Guide*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511996214>
- Di Santolo, C., Etienne, R., Henry, A., Krakowski, I., & Remy, C. (2018). Que sont les soins de support ? In *Soins de support en oncologie adulte* (p. 23-41). Dunod. <https://doi.org/10.3917/dunod.etien.2018.01.0023>
- Dias, J. A., Borges, L., Mattos, D. J. da S., Wentz, M. D., Domenech, S. C., Kauffmann, P., & Borges Junior, N. G. (2011). Validity of a new stabilometric force platform for postural balance evaluation. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 13, 367-372. <https://doi.org/10.5007/1980-0037.2011v13n5p367>
- Divandari, N., Bird, M.-L., Vakili, M., & Jaberzadeh, S. (2023). The Association Between Cognitive Domains and Postural Balance among Healthy Older Adults : A Systematic Review of Literature and Meta-Analysis. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 23(11), 681-693. <https://doi.org/10.1007/s11910-023-01305-y>
- Donovan, K. A., Grassi, L., McGinty, H. L., & Jacobsen, P. B. (2014). Validation of the Distress Thermometer worldwide : State of the science. *Psycho-Oncology*, 23(3), 241-250. <https://doi.org/10.1002/pon.3430>
- Doumas, M., Valkanidis, T. C., & Hatzitaki, V. (2019). Putting proprioception for balance to the test : Contrasting and combining sway referencing and tendon vibration. *Gait & Posture*, 67, 201-206. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.10.012>
- Duclos, N. C., Maynard, L., Abbas, D., & Measure, S. (2015). Hemispheric specificity for proprioception : Postural control of standing following right or left hemisphere damage during ankle tendon vibration. *Brain Research*, 1625, 159-170. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2015.08.043>
- Duclos, N., Duclos, C., & Measure, S. (2017). *Contrôle postural : Physiologie, concepts principaux et implications pour la réadaptation*. 13(1), 1-8.
- Dun, L., Xian-Yi, W., & Xiao-Ying, J. (2020). Effects of Moderate-To-Vigorous Physical Activity on Cancer-Related Fatigue in Patients with Colorectal Cancer : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Archives of Medical Research*, 51(2), 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2019.12.015>
- Duncan, R. P., Combs-Miller, S. A., McNeely, M. E., Leddy, A. L., Cavanaugh, J. T., Dibble, L. E., Ellis, T. D., Ford, M. P., Foreman, K. B., & Earhart, G. M. (2017). Are the Average Gait Speeds During

the 10 Meter and 6 Minute Walk Tests Redundant in Parkinson Disease? *Gait & posture*, 52, 178-182. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.11.033>

Duregon, F., Vendramin, B., Bullo, V., Gobbo, S., Cugusi, L., Di Blasio, A., Neunhaeuserer, D., Zaccaria, M., Bergamin, M., & Ermolao, A. (2018). Effects of exercise on cancer patients suffering chemotherapy-induced peripheral neuropathy undergoing treatment: A systematic review. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 121, 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2017.11.002>

Duriez, N. (2009). L'étude intensive de cas dans la recherche sur les modérateurs et les médiateurs du changement activé par une thérapie familiale. *Thérapie Familiale*, 30(2), 251-273. <https://doi.org/10.3917/tf.092.0251>

Eden, M. M., Tompkins, J., & Verheijde, J. L. (2018). Reliability and a correlational analysis of the 6MWT, ten-meter walk test, thirty second sit to stand, and the linear analog scale of function in patients with head and neck cancer. *Physiotherapy Theory and Practice*, 34(3), 202-211. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1390803>

Edginton Bigelow, K., & Berme, N. (2011). Development of a Protocol for Improving the Clinical Utility of Posturography as a Fall-Risk Screening Tool. *The Journals of Gerontology: Series A*, 66A(2), 228-233. <https://doi.org/10.1093/gerona/glq202>

Eichenlaub, E. K., Urrego, D. D., Sapovadia, S., Allen, J., Mercer, V. S., Crenshaw, J. R., & Franz, J. R. (2023). Susceptibility to walking balance perturbations in young adults is largely unaffected by anticipation. *Human Movement Science*, 89, 103070. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2023.103070>

Einarsson, E.-J., Patel, M., Petersen, H., Wiebe, T., Fransson, P.-A., Magnusson, M., & Moëll, C. (2016). Decreased postural control in adult survivors of childhood cancer treated with chemotherapy. *Scientific Reports*, 6, 36784. <https://doi.org/10.1038/srep36784>

Elshahat, S., Treanor, C., & Donnelly, M. (2021). Factors influencing physical activity participation among people living with or beyond cancer: A systematic scoping review. *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 18, 50. <https://doi.org/10.1186/s12966-021-01116-9>

Engels, C., Bairet, R., Canoui-Poitaine, F., & Laurent, M. (2021). Leisure and Productivity in Older Adults with Cancer: A Systematic Review. *Occupational Therapy International*, 2021, 8886193. <https://doi.org/10.1155/2021/8886193>

Epstein, L. H., & Dallery, J. (2022). The Family of Single-Case Experimental Designs. *Harvard Data Science Review, Special Issue 3*. <https://doi.org/10.1162/99608f92.ff9300a8>

Evans, E. S., Ketcham, C. J., Hibberd, J. C., Cullen, M. E., Basiliere, J. G., & Murphy, D. L. (2021). Examination of clinical and laboratory measures of static and dynamic balance in breast cancer survivors. *Physiotherapy Theory and Practice*, 0(0), 1-11. <https://doi.org/10.1080/09593985.2019.1692391>

Ezzatvar, Y., Ramírez-Vélez, R., Sáez de Asteasu, M. L., Martínez-Velilla, N., Zambom-Ferraresi, F., Izquierdo, M., & García-Hermoso, A. (2021). Physical Function and All-Cause Mortality in Older Adults Diagnosed With Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. *The Journals of Gerontology: Series A*, 76(8), 1447-1453. <https://doi.org/10.1093/gerona/glaa305>

Fabi, A., Bhargava, R., Fatigoni, S., Guglielmo, M., Horneber, M., Roila, F., Weis, J., Jordan, K., & Ripamonti, C. I. (2020). Cancer-related fatigue: ESMO Clinical Practice Guidelines for diagnosis and treatment. *Annals of Oncology*, 31(6), 713-723. <https://doi.org/10.1016/j.annonc.2020.02.016>

Fadila, F., Amélie, A., Marie, B., Antoine, L., Lydivine, L., Sandrine, M., Eric, S., & Henri, T. (2020). *Fatigue et Cancer, référentiels en soins oncologiques de support, AFSOS*.

Feng, Y., Schlösser, F. J., & Sumpio, B. E. (2009). The Semmes Weinstein monofilament examination as a screening tool for diabetic peripheral neuropathy. *Journal of Vascular Surgery*, 50(3), 675-682.e1. <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2009.05.017>

Ferchichi-Barbey, S. (2021). Validity and reliability of the 6-minute walk test over a distance of 6 meters in people with multiple sclerosis-abstract. *Multiple Sclerosis Journal*, 27(3_suppl), 10-34. <https://doi.org/doi:10.1177/13524585211053237>

Fillion, L., Gagnon, P., Leblond, F., Gélinas, C., Savard, J., Dupuis, R., Duval, K., & Larochelle, M. (2008). A brief intervention for fatigue management in breast cancer survivors. *Cancer Nursing*, 31(2), 145-159. <https://doi.org/10.1097/01.NCC.0000305698.97625.95>

Fingerhut, J., Xu, X., & Moeyaert, M. (2021). Selecting the proper Tau-U measure for single-case experimental designs: Development and application of a decision flowchart. *Evidence-Based Communication Assessment and Intervention*, 15(3), 99-114. <https://doi.org/10.1080/17489539.2021.1937851>

- Fino, P. C., Horak, F. B., El-Gohary, M., Guidarelli, C., Medysky, M. E., Nagle, S. J., & Winters-Stone, K. M. (2019). Postural sway, falls, and self-reported neuropathy in aging female cancer survivors. *Gait & Posture*, 69, 136-142. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.025>
- Fisher, M., Lee, J., Davies, C., Geyer, H., Colon, G., & Pfalzer, L. (2015). Oncology Section EDGE Task Force on Breast Cancer Outcomes : A Systematic Review of Outcome Measures for Functional Mobility. *Rehabilitation Oncology*, 33(3), 19-31.
- Flansbjerg, U.-B., Blom, J., & Brogårdh, C. (2012). The reproducibility of Berg Balance Scale and the Single-leg Stance in chronic stroke and the relationship between the two tests. *PM & R: The Journal of Injury, Function, and Rehabilitation*, 4(3), 165-170. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2011.11.004>
- Flansbjerg, U.-B., Holmbäck, A. M., Downham, D., Patten, C., & Lexell, J. (2005). Reliability of gait performance tests in men and women with hemiparesis after stroke. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 37(2), 75-82. <https://doi.org/10.1080/16501970410017215>
- Foley, M. P., Barnes, V. A., & Hasson, S. M. (2015). Effects of a community-based multimodal exercise program on physical function and quality of life in cancer survivors : A pilot study. *Physiotherapy Theory and Practice*, 31(5), 303-312. <https://doi.org/10.3109/09593985.2015.1004390>
- Foley, M. P., & Hasson, S. M. (2016). Effects of a Community-Based Multimodal Exercise Program on Health-Related Physical Fitness and Physical Function in Breast Cancer Survivors : A Pilot Study. *Integrative Cancer Therapies*, 15(4), 446-454. <https://doi.org/10.1177/1534735416639716>
- Forbes, C., Curry, J., Bullock, A., Darby, A., Swan, F., Hernandez, S., Lind, M., & Johnson, M. (2024). Abstracts for MASCC/AFSOS/ISOO Annual Meeting 2024. *Supportive Care in Cancer*, 32(1), 434. <https://doi.org/10.1007/s00520-024-08541-z>
- Forrest, G. F., Hutchinson, K., Lorenz, D. J., Buehner, J. J., Vanhiel, L. R., Sisto, S. A., & Basso, D. M. (2014). Are the 10 meter and 6 minute walk tests redundant in patients with spinal cord injury? *PloS One*, 9(5), e94108. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094108>
- Frikkel, J., Götte, M., Beckmann, M., Kasper, S., Hense, J., Teufel, M., Schuler, M., & Tewes, M. (2020). Fatigue, barriers to physical activity and predictors for motivation to exercise in advanced Cancer patients. *BMC Palliative Care*, 19, 43. <https://doi.org/10.1186/s12904-020-00542-z>
- Gafner, S., & Bruyneel, A. V. (2022). Test de la vitesse de marche sur une distance de 10 mètres. *EM-Consulte*, 22(248-249), 46-49. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2022.05.001>
- Gebel, A., Busch, A., Stelzel, C., Hortobágyi, T., & Granacher, U. (2022). Effects of Physical and Mental Fatigue on Postural Sway and Cortical Activity in Healthy Young Adults. *Frontiers in Human Neuroscience*, 16, 871930. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.871930>
- Gebruers, N., Camberlin, M., Theunissen, F., Tjalma, W., Verbelen, H., Van Soom, T., & van Breda, E. (2019). The effect of training interventions on physical performance, quality of life, and fatigue in patients receiving breast cancer treatment : A systematic review. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 27(1), 109-122. <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4490-9>
- Gentile, S., DELAROZIERE, J. C., Favre, F., Sambuc, R., & Marco, J. L. S. (2003). Validation of the French ‘multidimensional fatigue inventory’ (MFI 20). *European Journal of Cancer Care*, 12(1), 58-64. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2354.2003.00295.x>
- Gewandter, J. S., Brell, J., Cavaletti, G., Dougherty, P. M., Evans, S., Howie, L., McDermott, M. P., O’Mara, A., Smith, A. G., Dastros-Pitei, D., Gauthier, L. R., Haroutounian, S., Jarpe, M., Katz, N. P., Loprinzi, C., Richardson, P., Lavoie-Smith, E. M., Wen, P. Y., Turk, D. C., ... Freeman, R. (2018). Trial designs for chemotherapy-induced peripheral neuropathy prevention. *Neurology*, 91(9), 403-413. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000006083>
- Ghai, S., Ghai, I., & Effenberg, A. O. (2017). Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability : A systematic review and meta-analysis. *Clinical Interventions in Aging*, 12, 557-577. <https://doi.org/10.2147/CIA.S125201>
- Gladman, D., Nash, P., Goto, H., Birt, J. A., Lin, C.-Y., Orbai, A.-M., & Kvien, T. K. (2020). Fatigue numeric rating scale validity, discrimination and responder definition in patients with psoriatic arthritis. *RMD Open*, 6(1), e000928. <https://doi.org/10.1136/rmdopen-2019-000928>
- Głowacka, I., Nowikiewicz, T., Siedlecki, Z., Hagner, W., Nowacka, K., & Zegarski, W. (2016). The Assessment of the Magnitude of Frontal Plane Postural Changes in Breast Cancer Patients After Breast-Conserving Therapy or Mastectomy—Follow-up Results 1 Year After the Surgical Procedure. *Pathology Oncology Research: POR*, 22(1), 203-208. <https://doi.org/10.1007/s12253-015-9995-7>

Goda, A., Morishima, Y., Yokohara, N., Suzuki, T., Ohgi, S., & Mizushima, T. (2019). Validity and Reliability of a 2-Min Walk Test to Assess the Exercise Capacity in Vertebral Compression Fracture Patients : A Pilot Study. *Physical Therapy Research*, 22(1), 26-30. <https://doi.org/10.1298/ptr.E9958>

Graham, J. E., Karmarkar, A. M., & Ottenbacher, K. J. (2012). Small Sample Research Designs for Evidence-Based Rehabilitation : Issues and Methods. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(8, Supplement), S111-S116. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2011.12.017>

Granacher, U., Sarabon, N., Babič, J., & Paillard, T. (2023). Editorial : Acute and chronic changes in postural control in response to different physiological states and external environmental conditions. *Frontiers in Human Neuroscience*, 17. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1152276>

Granger, C. L., Denehy, L., Parry, S. M., Martin, J., Dimitriadis, T., Sorohan, M., & Irving, L. (2015). Which field walking test should be used to assess functional exercise capacity in lung cancer? An observational study. *BMC Pulmonary Medicine*, 15(89). <https://doi.org/10.1186/s12890-015-0075-2>

Granger, C. L., Holland, A. E., Gordon, I. R., & Denehy, L. (2015). Minimal important difference of the 6-minute walk distance in lung cancer. *Chronic Respiratory Disease*, 12(2), 146-154. <https://doi.org/10.1177/1479972315575715>

Gries, K., Berry, P., Harrington, M., Crescioni, M., Patel, M., Rudell, K., Safikhani, S., Pease, S., & Vernon, M. (2018). Literature review to assemble the evidence for response scales used in patient-reported outcome measures. *Journal of Patient-Reported Outcomes*, 2(41), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s41687-018-0056-3>

Gu, J., Hu, M., Gu, Z., Yu, J., Ji, Y., Li, L., Hu, C., Wei, G., & Huo, J. (2022). Bibliometric Analysis Reveals a 20-Year Research Trend for Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. *Frontiers in Neurology*, 12(793663), 1-10. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.793663>

Guénat, M. (2021). *Dissection des coûts de la santé en quatre questions—Le Temps*. <https://www.letemps.ch/suisse/dissection-couts-sante-quatre-questions>

Guijosa, A., Freyria, A., Espinosa-Fernandez, J., Estrada-Mena, F., Armenta-Quiroga, A., Mf, O.-T., R, C., B, A.-A., C, V.-G., & Ac, P.-O. (2022). Pharmacogenetics of taxane-induced neurotoxicity in breast cancer : Systematic review and meta-analysis. *Clinical and Translational Science*, 15(10), 2403-2436. <https://doi.org/10.1111/cts.13370>

Guo, S., Han, W., Wang, P., Wang, X., & Fang, X. (2022). Effects of exercise on chemotherapy-induced peripheral neuropathy in cancer patients : A systematic review and meta-analysis. *Journal of Cancer Survivorship: Research and Practice*, 17, 318-331. <https://doi.org/10.1007/s11764-022-01182-3>

Haryani, H., Fetzer, S. J., Wu, C.-L., & Hsu, Y.-Y. (2017). Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy Assessment Tools : A Systematic Review. *Oncology Nursing Forum*, 44(3), E111-E123. <https://doi.org/10.1188/17.ONF.E111-E123>

Hass, H. G., Seywald, M., Wöckel, A., Muco, B., Tanriverdi, M., & Stepien, J. (2023). Psychological distress in breast cancer patients during oncological inpatient rehabilitation : Incidence, triggering factors and correlation with treatment-induced side effects. *Archives of Gynecology and Obstetrics*, 307(3), 919-925. <https://doi.org/10.1007/s00404-022-06657-3>

Hay, D. C., & Wachowiak, M. P. (2017). Analysis of free moment and center of pressure frequency components during quiet standing using magnitude squared coherence. *Human Movement Science*, 54, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2017.04.002>

Hébert-Losier, K., & Murray, L. (2020). Reliability of centre of pressure, plantar pressure, and plantar-flexion isometric strength measures : A systematic review. *Gait & Posture*, 75, 46-62. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.09.027>

Henke, C. C., Cabri, J., Fricke, L., Pankow, W., Kandilakis, G., Feyer, P. C., & de Wit, M. (2014). Strength and endurance training in the treatment of lung cancer patients in stages IIIA/IIIB/IV. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 22(1), 95-101. <https://doi.org/10.1007/s00520-013-1925-1>

Henriksson, A., Arving, C., Johansson, B., Igelström, H., & Nordin, K. (2016). Perceived barriers to and facilitators of being physically active during adjuvant cancer treatment. *Patient Education and Counseling*, 99(7), 1220-1226. <https://doi.org/10.1016/j.pec.2016.01.019>

Henry, M., & Baudry, S. (2019). Age-related changes in leg proprioception : Implications for postural control. *Journal of Neurophysiology*, 122(2), 525-538. <https://doi.org/10.1152/jn.00067.2019>

Herman, H. K., Monfort, S. M., & Pan, X. J. (2017). Effect of chemotherapy-induced peripheral neuropathy on postural control in cancer survivors. *Journal of Clinical Oncology*, 35(5), 128-128. https://doi.org/10.1200/JCO.2017.35.5_suppl.128

Hiengkaew, V., Jitaree, K., & Chaiyawat, P. (2012). Minimal detectable changes of the Berg Balance Scale, Fugl-Meyer Assessment Scale, Timed « Up & Go » Test, gait speeds, and 2-minute walk test in individuals with chronic stroke with different degrees of ankle plantarflexor tone. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(7), 1201-1208. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.01.014>

Hoffmann, T. C., Glasziou, P. P., Boutron, I., Milne, R., Perera, R., Moher, D., Altman, D. G., Barbour, V., Macdonald, H., Johnston, M., Lamb, S. E., Dixon-Woods, M., McCulloch, P., Wyatt, J. C., Chan, A.-W., & Michie, S. (2014). Better reporting of interventions : Template for intervention description and replication (TIDieR) checklist and guide. *BMJ*, 348, g1687. <https://doi.org/10.1136/bmj.g1687>

Holbein-Jenny, M. A., McDermott, K., Shaw, C., & Demchak, J. (2007). Validity of functional stability limits as a measure of balance in adults aged 23–73 years. *Ergonomics*, 50(5), 631-646. <https://doi.org/10.1080/00140130601154814>

Holland, A. E., Spruit, M. A., Troosters, T., Puhan, M. A., Pepin, V., Saey, D., McCormack, M. C., Carlin, B. W., Sciurba, F. C., Pitta, F., Wanger, J., MacIntyre, N., Kaminsky, D. A., Culver, B. H., Revill, S. M., Hernandez, N. A., Andrianopoulos, V., Camillo, C. A., Mitchell, K. E., ... Singh, S. J. (2014). An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard : Field walking tests in chronic respiratory disease. *The European Respiratory Journal*, 44(6), 1428-1446. <https://doi.org/10.1183/09031936.00150314>

Horak, F. B., & Nashner, L. M. (1986). Central programming of postural movements : Adaptation to altered support-surface configurations. *Journal of Neurophysiology*, 55(6), 1369-1381. <https://doi.org/10.1152/jn.1986.55.6.1369>

Hou, H., Fang, K., Zhang, Y.-L., Mu, Q., Xia, J., & Li, Z.-F. (2024). Efficacy of a Combination of Functional Exercise and Psychological Interventions in Improving Postoperative Rehabilitation and Intervention Compliance in Patients With Breast Cancer. *Clinical Breast Cancer*, 8(18), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.clbc.2024.08.007>

Houchen-Wolloff, L., Daynes, E., Watt, A., Chaplin, E., Gardiner, N., & Singh, S. (2020). Which functional outcome measures can we use as a surrogate for exercise capacity during remote cardiopulmonary rehabilitation assessments? A rapid narrative review. *ERJ Open Research*, 6(4), 1-7. <https://doi.org/10.1183/23120541.00526-2020>

Hu, L.-Y., Mi, W.-L., Wu, G.-C., Wang, Y.-Q., & Mao-Ying, Q.-L. (2019). Prevention and Treatment for Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy : Therapies Based on CIPN Mechanisms. *Current Neuropharmacology*, 17(2), 184-196. <https://doi.org/10.2174/1570159X15666170915143217>

Huang, H. Q., Brady, M. F., Cella, D., & Fleming, G. (2007). Validation and reduction of FACT/GOG-Ntx subscale for platinum/paclitaxel-induced neurologic symptoms : A gynecologic oncology group study. *International Journal of Gynecological Cancer: Official Journal of the International Gynecological Cancer Society*, 17(2), 387-393. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1438.2007.00794.x>

Huang, L., Liu, Y., Lin, T., Hou, L., Song, Q., Ge, N., & Yue, J. (2022). Reliability and validity of two hand dynamometers when used by community-dwelling adults aged over 50 years. *BMC Geriatrics*, 22, 580. <https://doi.org/10.1186/s12877-022-03270-6>

Huang, M. H., Hile, E., Croarkin, E., Wampler-Kuhn, M., Blackwood, J., Colon, G., & Pflazer, L. A. (2019). Academy of Oncologic Physical Therapy EDGE Task Force : A Systematic Review of Measures of Balance in Adult Cancer Survivors. *Rehabilitation Oncology*, 37(3), 92. <https://doi.org/10.1097/01.REO.0000000000000177>

Huehnchen, P., Schinke, C., Bangemann, N., Dordevic, A. D., Kern, J., Maierhof, S. K., Hew, L., Nolte, L., Körtvelyessy, P., Göpfert, J. C., Ruprecht, K., Soms, C. J., Blohmer, J.-U., Sehouli, J., Endres, M., & Boehmerle, W. (2022). Neurofilament proteins as a potential biomarker in chemotherapy-induced polyneuropathy. *JCI Insight*, 7(6). <https://doi.org/10.1172/jci.insight.154395>

Hufschmidt, A., Dichgans, J., Mauritz, K. H., & Hufschmidt, M. (1980). Some methods and parameters of body sway quantification and their neurological applications. *Archiv Fur Psychiatrie Und Nervenkrankheiten*, 228(2), 135-150. <https://doi.org/10.1007/BF00365601>

Husebø, A. M. L., Dyrstad, S. M., Mjaaland, I., Søreide, J. A., & Bru, E. (2014). Effects of Scheduled Exercise on Cancer-Related Fatigue in Women with Early Breast Cancer. *The Scientific World Journal*, 2014, 271828. <https://doi.org/10.1155/2014/271828>

Huxham, F. E., Goldie, P. A., & Patla, A. E. (2001). Theoretical considerations in balance assessment. *The Australian Journal of Physiotherapy*, 47(2), 89-100. [https://doi.org/10.1016/s0004-9514\(14\)60300-7](https://doi.org/10.1016/s0004-9514(14)60300-7)

INCA. (2023). *Incidence nationale des cancers en 2023—Incidence et mortalité des cancers*. <https://www.e-cancer.fr/Expertises-et-publications/Les-donnees-sur-les-cancers/Incidence-et-mortalite-des-cancers/Incidence-nationale-des-cancers-en-2023>

Izquierdo, M., Merchant, R. A., Morley, J. E., Anker, S. D., Aprahamian, I., Arai, H., Aubertin-Leheudre, M., Bernabei, R., Cadore, E. L., Cesari, M., Chen, L.-K., de Souto Barreto, P., Duque, G., Ferrucci, L., Fielding, R. A., García-Hermoso, A., Gutiérrez-Robledo, L. M., Harridge, S. D. R., Kirk, B., ... Singh, M. F. (2021). International Exercise Recommendations in Older Adults (ICFSR) : Expert Consensus Guidelines. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 25(7), 824-853. <https://doi.org/10.1007/s12603-021-1665-8>

Jacobs, J. V., & Horak, F. B. (2007). Cortical control of postural responses. *Journal of Neural Transmission (Vienna, Austria: 1996)*, 114(10), 1339-1348. <https://doi.org/10.1007/s00702-007-0657-0>

Jaggi, A. S., & Singh, N. (2012). Mechanisms in cancer-chemotherapeutic drugs-induced peripheral neuropathy. *Toxicology*, 291(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.tox.2011.10.019>

Jean, P.-F., & Millet, L. (2022). *Prévention santé : Comment la France peut rattraper son retard*. Institut Montaigne. <https://www.institutmontaigne.org/expressions/prevention-sante-comment-la-france-peut-rattraper-son-retard>

Jiao, D., Watanabe Miura, K., Sawada, Y., Tanaka, E., Watanabe, T., Tomisaki, E., Ito, S., Okumura, R., Kawasaki, Y., & Anne, T. (2022). Changes in Social Relationships and Physical Functions in Community-Dwelling Older Adults. *Journal of Nursing Research*, 30(5), e228. <https://doi.org/10.1097/jnr.0000000000000513>

Jim, H. S. L., Phillips, K. M., Chait, S., Anne Faul, L., Popa, M. A., Lee, Y.-H., Hussin, M. G., Jacobsen, P. B., & Small, B. J. (2012). Meta-Analysis of Cognitive Functioning in Breast Cancer Survivors Previously Treated With Standard-Dose Chemotherapy. *Journal of Clinical Oncology*, 30(29), 3578-3587. <https://doi.org/10.1200/JCO.2011.39.5640>

Joaquim, R., Anton, A.-E., & Lydia, F. (s. d.). *Seed-based d Mapping (formerly Signed Differential Mapping)—FDR online calculator*. Consulté 26 avril 2024, à l'adresse <https://www.sdmproject.com/utilities/?show=FDR>

Johansson, J., Jarocka, E., Westling, G., Nordström, A., & Nordström, P. (2019). Predicting incident falls : Relationship between postural sway and limits of stability in older adults. *Human Movement Science*, 66, 117-123. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.04.004>

Johnston, K. N., Potter, A. J., & Phillips, A. C. (2017). Minimal important difference and responsiveness of 2-minute walk test performance in people with COPD undergoing pulmonary rehabilitation. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 12, 2849-2857. <https://doi.org/10.2147/COPD.S143179>

Joly, F., Lange, M., Dos Santos, M., Vaz-Luis, I., & Di Meglio, A. (2019). Long-Term Fatigue and Cognitive Disorders in Breast Cancer Survivors. *Cancers*, 11(12), 1896. <https://doi.org/10.3390/cancers11121896>

Jones, L. W., Hornsby, W. E., Goetzing, A., Forbes, L. M., Sherrard, E. L., Quist, M., Lane, A. T., West, M., Eves, N. D., Gradison, M., Coan, A., Herndon, J. E., & Abernethy, A. P. (2012). Prognostic significance of functional capacity and exercise behavior in patients with metastatic non-small cell lung cancer. *Lung Cancer (Amsterdam, Netherlands)*, 76(2), 248-252. <https://doi.org/10.1016/j.lungcan.2011.10.009>

Jordan, B., Margulies, A., Cardoso, F., Cavaletti, G., Haugnes, H. S., Jahn, P., Le Rhun, E., Preusser, M., Scotté, F., Taphoorn, M. J. B., & Jordan, K. (2020). Systemic anticancer therapy-induced peripheral and central neurotoxicity : ESMO–EONS–EANO Clinical Practice Guidelines for diagnosis, prevention, treatment and follow-up. *Annals of Oncology*, 31(10), 1306-1319. <https://doi.org/10.1016/j.annonc.2020.07.003>

Juras, G., Kajetan, S., Fredyk, A., Sobota, G., & Bacik, B. (2008). Evaluation of the Limits of Stability (LOS) Balance Test. *Journal of Human Kinetics*, 19, 39-52. <https://doi.org/10.2478/v10078-008-0003-0>

Kamiya, K., Hamazaki, N., Matsue, Y., Mezzani, A., Corrà, U., Matsuzawa, R., Nozaki, K., Tanaka, S., Maekawa, E., Noda, C., Yamaoka-Tojo, M., Matsunaga, A., Masuda, T., & Ako, J. (2018). Gait speed has comparable prognostic capability to six-minute walk distance in older patients with cardiovascular disease. *European Journal of Preventive Cardiology*, 25(2), 212-219. <https://doi.org/10.1177/2047487317735715>

Kanzawa-Lee, G., Krauss, J. C., & Knoerl, R. (2024). Exploring Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy Management Practice Patterns Among Oncology Clinicians. *Seminars in Oncology Nursing*, 40(5), 151685. <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2024.151685>

Kavounoudias, A., Gilhodes, J.-C., Roll, R., & Roll, J.-P. (1999). From balance regulation to body orientation: Two goals for muscle proprioceptive information processing? *Experimental Brain Research*, 124(1), 80-88. <https://doi.org/10.1007/s002210050602>

Keklicek, H., Kırdı, E., Yalcin, A., Yuce, D., & Topuz, S. (2019). Learning effect of dynamic postural stability evaluation system. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 32(1), 7-14. <https://doi.org/10.3233/BMR-181172>

Kim, E. Y., & Hong, S. J. (2023). Real-Life Experiences of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy in Patients with Cancer: A Qualitative Meta-Synthesis Study. *Seminars in Oncology Nursing*, 39(5), 151499. <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2023.151499>

Kim, H.-J., Jung, S.-O., Kim, E., & Abraham, I. (2022). Association of chemotherapy and subjective cognitive impairment in breast cancer patients: Meta-analysis of longitudinal prospective cohort studies. *European Journal of Oncology Nursing: The Official Journal of European Oncology Nursing Society*, 57, 102099. <https://doi.org/10.1016/j.ejon.2022.102099>

Kisiel-Sajewicz, K., Siemionow, V., Seyidova-Khoshknabi, D., Davis, M. P., Wyant, A., Ranganathan, V. K., Walsh, D., Yan, J. H., Hou, J., & Yue, G. H. (2013). Myoelectrical Manifestation of Fatigue Less Prominent in Patients with Cancer Related Fatigue. *PLoS ONE*, 8(12), e83636. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083636>

Kistler. (2024). *Effet piézoélectrique* | Kistler. <https://www.kistler.com/CH/fr/effet-piezoelectrique/C00000136>

Kleckner, I. R., Kamen, C., Gewandter, J. S., Mohile, N. A., Heckler, C. E., Culakova, E., Fung, C., Janelins, M. C., Asare, M., Lin, P.-J., Reddy, P. S., Giguere, J., Berenberg, J., Kesler, S. R., & Mustian, K. M. (2018). Effects of exercise during chemotherapy on chemotherapy-induced peripheral neuropathy: A multicenter, randomized controlled trial. *Supportive Care in Cancer*, 26(4), 1019-1028. <https://doi.org/10.1007/s00520-017-4013-0>

Kleckner, I. R., Manuweera, T., Lin, P.-J., Chung, K. H., Kleckner, A. S., Gewandter, J. S., Culakova, E., Tivarus, M. E., Dunne, R. F., Loh, K. P., Mohile, N. A., Kesler, S. R., & Mustian, K. M. (2024). Pilot trial testing the effects of exercise on chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity (CIPN) and the interoceptive brain system. *Research Square*, rs.3.rs-4022351. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4022351/v1>

Kleckner, I. R., Park, S. B., Streckmann, F., Wiskemann, J., Hardy, S., & Mohile, N. (2021). Systematic Review of Exercise for Prevention and Management of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. In M. Lustberg & C. Loprinzi (Éds.), *Diagnosis, Management and Emerging Strategies for Chemotherapy-Induced Neuropathy: A MASCC Book* (p. 183-241). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-78663-2_8

Kneis, S., Straub, E., Walz, I. D., von Olshausen, P., Wehrle, A., Gollhofer, A., & Bertz, H. (2020). Gait Analysis of Patients After Allogeneic Hematopoietic Cell Transplantation Reveals Impairments of Functional Performance. *Integrative Cancer Therapies*, 19(1534735420915782), 1-10. <https://doi.org/10.1177/1534735420915782>

Kneis, S., Wehrle, A., Dalin, D., Wiesmeier, I. K., Lambeck, J., Gollhofer, A., Bertz, H., & Maurer, C. (2020a). A new approach to characterize postural deficits in chemotherapy-induced peripheral neuropathy and to analyze postural adaptations after an exercise intervention. *BMC Neurology*, 20(23), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s12883-019-1589-7>

Kneis, S., Wehrle, A., Dalin, D., Wiesmeier, I. K., Lambeck, J., Gollhofer, A., Bertz, H., & Maurer, C. (2020b). A new approach to characterize postural deficits in chemotherapy-induced peripheral neuropathy and to analyze postural adaptations after an exercise intervention. *BMC Neurology*, 20. <https://doi.org/10.1186/s12883-019-1589-7>

Kneis, S., Wehrle, A., Freyler, K., Lehmann, K., Rudolphi, B., Hildenbrand, B., Bartsch, H. H., Bertz, H., Gollhofer, A., & Ritzmann, R. (2016). Balance impairments and neuromuscular changes in breast cancer patients with chemotherapy-induced peripheral neuropathy. *Clinical Neurophysiology*, 127(2), 1481-1490. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.07.022>

Kneis, S., Wehrle, A., Müller, J., Maurer, C., Ihorst, G., Gollhofer, A., & Bertz, H. (2019). It's never too late - balance and endurance training improves functional performance, quality of life, and alleviates neuropathic symptoms in cancer survivors suffering from chemotherapy-induced peripheral

neuropathy: Results of a randomized controlled trial. *BMC Cancer*, 19(414), 1-11. <https://doi.org/10.1186/s12885-019-5522-7>

Knoerl, R., Berry, D., Meyerhardt, J. A., Reyes, K., Salehi, E., Thornton, K., & Gewandter, J. S. (2022). Identifying participants' preferences for modifiable chemotherapy-induced peripheral neuropathy prevention clinical trial factors: An adaptive choice-based conjoint analysis. *Supportive Care in Cancer*, 30(12), 9963-9973. <https://doi.org/10.1007/s00520-022-07447-y>

Kober, K. M., Mazor, M., Abrams, G., Olshen, A., Conley, Y. P., Hammer, M., Schumacher, M., Chesney, M., Smoot, B., Mastick, J., Paul, S. M., Levine, J. D., & Miaskowski, C. (2018). Phenotypic Characterization of Paclitaxel-Induced Peripheral Neuropathy in Cancer Survivors. *Journal of Pain and Symptom Management*, 56(6), 908-919.e3. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2018.08.017>

Kokkonen, K., Saarto, T., Mäkinen, T., Pohjola, L., Kautio, H., Järvenpää, S., & Puustjärvi-Sunabacka, K. (2017). The functional capacity and quality of life of women with advanced breast cancer. *Breast Cancer*, 24(1), 128-136. <https://doi.org/10.1007/s12282-016-0687-2>

Kosak, M., & Smith, T. (2005). Comparison of the 2-, 6-, and 12-minute walk tests in patients with stroke. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 42(1), 103-107. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2003.11.0171>

Krasny-Pacini, A., & Evans, J. (2018). Single-case experimental designs to assess intervention effectiveness in rehabilitation: A practical guide. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 61(3), 164-179. <https://doi.org/10.1016/j.rehab.2017.12.002>

Krasovsky, T., Lanir, J., Felberbaum, Y., & Kizony, R. (2021). Mobile Phone Use during Gait: The Role of Perceived Prioritization and Executive Control. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168637>

Kratochwill, T. R., Hitchcock, J., Horner, R. H., Levin, J. R., Odom, S. L., Rindskopf, D. M., & Shadish, W. R. (2010). *What Works Clearinghouse Single-Case Design Technical Documentation*.

Krewer, C., Bergmann, J., Gräfrath, P. C., & Jahn, K. (2018). Influence of foot position on static and dynamic standing balance in healthy young adults. *Hearing, Balance and Communication*, 16(4), 208-214. <https://doi.org/10.1080/21695717.2018.1507576>

Kurt, M., Tatlici, E., & Tarsuslu Simsek, T. (2021). Anthropometric and demographic properties affect balance in healthy adults: An observational study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 61(6), 818-828. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.20.11422-1>

Lacour, M. (2013). Physiologie de l'équilibre: Des modèles génétiques aux conceptions cognitivistes. *EMC - Podologie*, 9(1), 1-7. [https://doi.org/10.1016/S0292-062X\(12\)60419-X](https://doi.org/10.1016/S0292-062X(12)60419-X)

Lakie, M., & Campbell, K. S. (2019). Muscle thixotropy—Where are we now? *Journal of Applied Physiology*, 126(6), 1790-1799. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00788.2018>

Lange, M., Licaj, I., Clarisse, B., Humbert, X., Grellard, J.-M., Tron, L., & Joly, F. (2019). Cognitive complaints in cancer survivors and expectations for support: Results from a web-based survey. *Cancer Medicine*, 8(5), 2654-2663. <https://doi.org/10.1002/cam4.2069>

Lauwick, S., Kim, D. J., Mistraletti, G., & Carli, F. (2009). Functional walking capacity as an outcome measure of laparoscopic prostatectomy: The effect of lidocaine infusion. *British Journal of Anaesthesia*, 103(2), 213-219. <https://doi.org/10.1093/bja/aep103>

Lee, J. B., & Cherney, L. R. (2018). Tau-U: A Quantitative Approach for Analysis of Single-Case Experimental Data in Aphasia. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 27(1S), 495-503. https://doi.org/10.1044/2017_AJSLP-16-0197

Lee, M., Lee, Y., Kim, K., Park, E. Y., Lim, M. C., Kim, J.-S., Kim, H. S., Kim, Y.-B., Kim, Y.-M., Joo, J., Park, S. Y., Choi, C. H., & Kim, J.-H. (2019). Development and Validation of Ovarian Symptom Index-18 and Neurotoxicity-4 for Korean Patients with Ovarian, Fallopian Tube, or Primary Peritoneal Cancer. *Cancer Research and Treatment*, 51(1), 112-118. <https://doi.org/10.4143/crt.2017.361>

Leung, A. S. Y., Chan, K. K., Sykes, K., & Chan, K. S. (2006). Reliability, validity, and responsiveness of a 2-min walk test to assess exercise capacity of COPD patients. *Chest*, 130(1), 119-125. <https://doi.org/10.1378/chest.130.1.119>

Li, T. (2017). *Contribution à la caractérisation de la locomotion des personnes hémiparétiques en situation écologique* [Phdthesis, Université Paris Saclay (COMUE)]. <https://theses.hal.science/tel-01714176>

Ligibel, J. A., Jones, L. W., Brewster, A. M., Clinton, S. K., Korde, L. A., Oeffinger, K. C., Bender, C. M., Tan, W., Merrill, J. K., Katta, S., & Alfano, C. M. (2019). Oncologists' Attitudes and Practice of Addressing Diet, Physical Activity, and Weight Management With Patients With Cancer: Findings of

an ASCO Survey of the Oncology Workforce. *Journal of Oncology Practice*, 15(6), e520-e528. <https://doi.org/10.1200/JOP.19.00124>

Ligue suisse contre le cancer. (2023). *Le cancer en Suisse : Les chiffres*.

Lin, W.-L., Wang, R.-H., Chou, F.-H., Feng, I.-J., Fang, C.-J., & Wang, H.-H. (2021). The effects of exercise on chemotherapy-induced peripheral neuropathy symptoms in cancer patients : A systematic review and meta-analysis. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 29(9), 5303-5311. <https://doi.org/10.1007/s00520-021-06082-3>

Lixian, S., Xiaoqian, Y., Luyan, G., Lizhi, Z., Rui, D., Hongyue, Y., Caijie, Z., & Fenghui, Y. (2024). Risk factors of paclitaxel-induced peripheral neuropathy in patients with breast cancer : A prospective cohort study. *Frontiers in Oncology*, 14, 1327318. <https://doi.org/10.3389/fonc.2024.1327318>

Lockwood, C., Munn, Z., & Porritt, K. (2015). *Qualitative research synthesis : Methodological guidance for systematic reviewers utilizing meta-aggregation*. 13(3), 179-187.

Lopez-Garzon, M., Canta, A., Chiorazzi, A., & Alberti, P. (2023). Gait analysis in chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity rodent models. *Brain Research Bulletin*, 203, 110769. <https://doi.org/10.1016/j.brainresbull.2023.110769>

Lopez-Garzon, M., Cantarero-Villanueva, I., Postigo-Martin, P., González-Santos, Á., Lozano-Lozano, M., & Galiano-Castillo, N. (2022). Can Physical Exercise Prevent Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy in Patients With Cancer? A Systematic Review and Meta-analysis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 103(11), 2197-2208. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2022.02.008>

Loprinzi, C. L., Lacchetti, C., Bleeker, J., Cavaletti, G., Chauhan, C., Hertz, D. L., Kelley, M. R., Lavino, A., Lustberg, M. B., Paice, J. A., Schneider, B. P., Lavoie Smith, E. M., Smith, M. L., Smith, T. J., Wagner-Johnston, N., & Hershman, D. L. (2020). Prevention and Management of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy in Survivors of Adult Cancers : ASCO Guideline Update. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 38(28), 3325-3348. <https://doi.org/10.1200/JCO.20.01399>

Lund, C. M., Dolin, T. G., Mikkelsen, M. K., Juhl, C. B., Vinther, A., & Nielsen, D. L. (2020). Effect of Exercise on Physical Function and Psychological Well-being in Older Patients With Colorectal Cancer Receiving Chemotherapy-A Systematic Review. *Clinical Colorectal Cancer*, 19(4), e243-e257. <https://doi.org/10.1016/j.clcc.2020.05.012>

Luo, H., Galvão, D. A., Newton, R. U., Lopez, P., Tang, C., Fairman, C. M., Spry, N., & Taaffe, D. R. (2021). Exercise Medicine in the Management of Pancreatic Cancer : A Systematic Review. *Pancreas*, 50(3), 280-292. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000001753>

Lupton-Smith, A., Fourie, K., Mazinyo, A., Mokone, M., Nxaba, S., & Morrow, B. (2022). Measurement of hand grip strength : A cross-sectional study of two dynamometry devices. *The South African Journal of Physiotherapy*, 78(1), 1768. <https://doi.org/10.4102/sajp.v78i1.1768>

Maatar, D. (2013). *Analyse des signaux stabilométriques et de la stabilité chez l'Homme : Application à la biométrie*. Université Paris-Est.

Macefield, V. G., & Knellwolf, T. P. (2018). Functional properties of human muscle spindles. *Journal of Neurophysiology*, 120(2), 452-467. <https://doi.org/10.1152/jn.00071.2018>

Mahmoudian, A., van Dieën, J. H., Baert, I. A. C., Jonkers, I., Bruijn, S. M., Luyten, F. P., Faber, G. S., & Verschueren, S. M. P. (2016). Changes in proprioceptive weighting during quiet standing in women with early and established knee osteoarthritis compared to healthy controls. *Gait & Posture*, 44, 184-188. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.12.010>

Mallard, J., Hucteau, E., Hureau, T. J., & Pagano, A. F. (2021). Skeletal Muscle Deconditioning in Breast Cancer Patients Undergoing Chemotherapy : Current Knowledge and Insights From Other Cancers. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9(719643). <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.719643>

Mani, P., Sethupathy, K., & Francis, A. K. (2019). Test-retest reliability of electronic hand dynamometer in healthy adults. *International Journal of Advanced Research*, 7(5), 325-331. <https://doi.org/10.21474/IJAR01/9042>

Manolov, R. (s. d.-a). *Average differences between pairs of conditions*. <https://manolov.shinyapps.io/Change/>

Manolov, R. (s. d.-b). *Visual aids & Nonoverlap indices*. <https://manolov.shinyapps.io/Overlap/>

Manolov, R., & Tanious, R. (2024). Assessing Nonoverlap in Single-Case Data : Strengths, Challenges, and Recommendations. *Journal of Behavioral Education*. <https://doi.org/10.1007/s10864-024-09552-w>

Maqbal, M., Hughes, C., Dunwoody, L., Rankin, J. P., Hacker, E. D., & Gracey, J. (2019). Exercise Interventions to Manage Fatigue in Women With Gynecologic Cancer : A Systematic Review. *Oncology Nursing Forum*, 46(1), 71-82. <https://doi.org/10.1188/19.ONF.71-82>

Maranhão-Filho, P. A., Maranhão, E. T., Lima, M. A., & Silva, M. M. da. (2011). Rethinking the neurological examination II : Dynamic balance assessment. *Arquivos De Neuro-Psiquiatria*, 69(6), 959-963. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x2011000700022>

Marshall, T., Zipp, G. P., Battaglia, F., Moss, R., & Bryan, S. (2016). Effects of Chemotherapy-Induced-Peripheral-Neuropathy on Spatiotemporal Gait Parameters and Fall Risk in Cancer Patients After the Completion of Chemotherapy Drug Treatment. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 97(12), e13-e14. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2016.09.036>

Massion, J. (1992). Movement, posture and equilibrium : Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*, 38(1), 35-56. [https://doi.org/10.1016/0301-0082\(92\)90034-c](https://doi.org/10.1016/0301-0082(92)90034-c)

Mate, K. K. V., & Mayo, N. E. (2020). Clinically Assessed Walking Capacity Versus Real-World Walking Performance in People with Multiple Sclerosis. *International Journal of MS Care*, 22(3), 143-150. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2019-047>

McCrary, J. M., Goldstein, D., Boyle, F., Cox, K., Grimison, P., Kiernan, M. C., Krishnan, A. V., Lewis, C. R., Webber, K., Baron-Hay, S., Horvath, L., Park, S. B., & IN FOCUS Delphi working party. (2017). Optimal clinical assessment strategies for chemotherapy-induced peripheral neuropathy (CIPN) : A systematic review and Delphi survey. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 25(11), 3485-3493. <https://doi.org/10.1007/s00520-017-3772-y>

McCrary, J. M., Goldstein, D., Trinh, T., Timmins, H. C., Li, T., Menant, J., Friedlander, M., Lewis, C. R., Hertzberg, M., O'Neill, S., King, T., Bosco, A., Harrison, M., & Park, S. B. (2019a). Balance Deficits and Functional Disability in Cancer Survivors Exposed to Neurotoxic Cancer Treatments. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network: JNCCN*, 17(8), 949-955. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2019.7290>

McCrary, J. M., Goldstein, D., Trinh, T., Timmins, H. C., Li, T., Menant, J., Friedlander, M., Lewis, C. R., Hertzberg, M., O'Neill, S., King, T., Bosco, A., Harrison, M., & Park, S. B. (2019b). Balance Deficits and Functional Disability in Cancer Survivors Exposed to Neurotoxic Cancer Treatments. *Journal of the National Comprehensive Cancer Network: JNCCN*, 17(8), 949-955. <https://doi.org/10.6004/jnccn.2019.7290>

McGettigan, M., Cardwell, C. R., Cantwell, M. M., & Tully, M. A. (2020). Physical activity interventions for disease-related physical and mental health during and following treatment in people with non-advanced colorectal cancer. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5(5), CD012864. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012864.pub2>

McTiernan, A., Friedenreich, C. M., Katzmarzyk, P. T., Powell, K. E., Macko, R., Buchner, D., Pescatello, L. S., Bloodgood, B., Tennant, B., Vaux-Bjerke, A., George, S. M., Troiano, R. P., & Piercy, K. L. (2019). Physical Activity in Cancer Prevention and Survival : A Systematic Review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(6), 1252-1261. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001937>

Menz, H. B. (2003). Age-related differences in walking stability. *Age and Ageing*, 32(2), 137-142. <https://doi.org/10.1093/ageing/32.2.137>

Meregalli, C., Fumagalli, G., Alberti, P., Canta, A., Chiorazzi, A., Monza, L., Pozzi, E., Carozzi, V. A., Blennow, K., Zetterberg, H., Cavaletti, G., & Marmiroli, P. (2020). Neurofilament light chain : A specific serum biomarker of axonal damage severity in rat models of Chemotherapy-Induced Peripheral Neurotoxicity. *Archives of Toxicology*, 94(7), 2517-2522. <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02755-w>

Meyer, G., & Ayalon, M. (2006). Biomechanical aspects of dynamic stability. *European Review of Aging and Physical Activity*, 3(1), Article 1. <https://doi.org/10.1007/s11556-006-0006-6>

Miaskowski, C., Mastick, J., Paul, S. M., Topp, K., Smoot, B., Abrams, G., Chen, L.-M., Kober, K. M., Conley, Y. P., Chesney, M., Bolla, K., Mausisa, G., Mazor, M., Wong, M., Schumacher, M., & Levine, J. D. (2017). Chemotherapy-Induced Neuropathy in Cancer Survivors. *Journal of Pain and Symptom Management*, 54(2), 204-218.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpainsymman.2016.12.342>

Michikawa, T., Nishiwaki, Y., Takebayashi, T., & Toyama, Y. (2009). One-leg standing test for elderly populations. *Journal of Orthopaedic Science: Official Journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 14(5), 675-685. <https://doi.org/10.1007/s00776-009-1371-6>

Middleton, A., Fritz, S. L., & Lusardi, M. (2015). Walking speed : The functional vital sign. *Journal of Aging and Physical Activity*, 23(2), 314-322. <https://doi.org/10.1123/japa.2013-0236>

Molina-Montes, E., Ubago-Guisado, E., Petrova, D., Amiano, P., Chirlaque, M.-D., Agudo, A., & Sánchez, M.-J. (2021). The Role of Diet, Alcohol, BMI, and Physical Activity in Cancer Mortality : Summary Findings of the EPIC Study. *Nutrients*, 13(12), 4293. <https://doi.org/10.3390/nu13124293>

Monfort, S. M., Pan, X., Loprinzi, C. L., Lustberg, M. B., & Chaudhari, A. M. W. (2019a). Exploring the Roles of Central and Peripheral Nervous System Function in Gait Stability : Preliminary Insights from Cancer Survivors. *Gait & Posture*, 71, 62-68. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.04.002>

Monfort, S. M., Pan, X., Loprinzi, C. L., Lustberg, M. B., & Chaudhari, A. M. W. (2019b). Impaired Postural Control and Altered Sensory Organization During Quiet Stance Following Neurotoxic Chemotherapy : A Preliminary Study. *Integrative Cancer Therapies*, 18, 1-8. <https://doi.org/10.1177/1534735419828823>

Monfort, S. M., Pan, X., Patrick, R., Ramaswamy, B., Wesolowski, R., Naughton, M. J., Loprinzi, C. L., Chaudhari, A. M. W., & Lustberg, M. B. (2017). Gait, Balance, and Patient-Reported Outcomes during Taxane-Based Chemotherapy in Early Stage Breast Cancer Patients. *Breast cancer research and treatment*, 164(1), 69-77. <https://doi.org/10.1007/s10549-017-4230-8>

Monfort, S. M., Pan, X., Patrick, R., Singaravelu, J., Loprinzi, C. L., Lustberg, M. B., & Chaudhari, A. M. W. (2016). Natural History of Postural Instability in Breast Cancer Patients Treated with Taxane-Based Chemotherapy : A Pilot Study. *Gait & posture*, 48, 237-242. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.011>

Montaño-Rojas, L. S., Romero-Pérez, E. M., Medina-Pérez, C., Reguera-García, M. M., & de Paz, J. A. (2020). Resistance Training in Breast Cancer Survivors : A Systematic Review of Exercise Programs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 6511. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186511>

Morishita, S., Mitobe, Y., Tsubaki, A., Aoki, O., Fu, J. B., Onishi, H., & Tsuji, T. (2018). Differences in Balance Function Between Cancer Survivors and Healthy Subjects : A Pilot Study. *Integrative Cancer Therapies*, 17(4), 1144-1149. <https://doi.org/10.1177/1534735418790387>

Müller, J., Kreutz, C., Ringhof, S., Koepfel, M., Kleindienst, N., Sam, G., Schneeweiss, A., Wiskemann, J., & Weiler, M. (2021). Chemotherapy-induced peripheral neuropathy : Longitudinal analysis of predictors for postural control. *Scientific Reports*, 11(1), 2398. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81902-4>

Müller, J., Ringhof, S., Vollmer, M., & Jäger, L. B. (2020). Out of balance – Postural control in cancer patients before and after neurotoxic chemotherapy. *Gait & Posture*, 77, 156-163. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.01.012>

Müller, J., Weiler, M., Schneeweiss, A., Haag, G. M., Steindorf, K., Wick, W., & Wiskemann, J. (2021). Preventive effect of sensorimotor exercise and resistance training on chemotherapy-induced peripheral neuropathy : A randomised-controlled trial. *British Journal of Cancer*, 125(7), 955-965. <https://doi.org/10.1038/s41416-021-01471-1>

Neder, J. A., Berton, D. C., & O'Donnell, D. E. (2023). Getting the most out of the six-minute walk test. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, 49(1), e20230028. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20230028>

Neil-Sztramko, S. E., Winters-Stone, K. M., Bland, K. A., & Campbell, K. L. (2019). Updated systematic review of exercise studies in breast cancer survivors : Attention to the principles of exercise training. *British Journal of Sports Medicine*, 53(8), 504-512. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098389>

Newton, I. (1642-1727) A. du texte. (1759). *Principes mathématiques de la philosophie naturelle. Tome 1 / Isaac Newton ; [trad. Du latin d'après l'éd. De 1726 par feu Madame la marquise Du Chastellet]*. <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k29037w>

Niederer, D., Schmidt, K., Vogt, L., Egen, J., Klingler, J., Hübscher, M., Thiel, C., Bernhörster, M., & Banzer, W. (2014). Functional capacity and fear of falling in cancer patients undergoing chemotherapy. *Gait & Posture*, 39(3), 865-869. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2013.11.014>

Nikles, J., Evans, K., Hams, A., & Sterling, M. (2022). A systematic review of N-of-1 trials and single case experimental designs in physiotherapy for musculoskeletal conditions. *Musculoskeletal Science and Practice*, 62, 102639. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2022.102639>

Nikles, J., & Mitchell, G. (2015). *The Essential Guide to N-of-1 Trials in Health* (1^{re} éd.). Springer.

Nilsen, T. S., Scott, J. M., Michalski, M., Capaci, C., Thomas, S., Herndon, J. E., Sasso, J., Eves, N. D., & Jones, L. W. (2018). Novel Methods for Reporting of Exercise Dose and Adherence : An Exploratory Analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 50(6), 1134-1141. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001545>

Nitzan, M., Romem, A., & Koppel, R. (2014). Pulse oximetry : Fundamentals and technology update. *Medical Devices*, 7, 231-239. <https://doi.org/10.2147/MDER.S47319>

Nuñez de Arenas-Arroyo, S., Cavero-Redondo, I., Torres-Costoso, A., Reina-Gutiérrez, S., Lorenzo-García, P., & Martínez-Vizcaino, V. (2023). Effects of exercise interventions to reduce chemotherapy-induced peripheral neuropathy severity : A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 33(7), 1040-1053. <https://doi.org/10.1111/sms.14360>

Oberoi, S., Robinson, P. D., Cataudella, D., Culos-Reed, S. N., Davis, H., Duong, N., Gibson, F., Götte, M., Hinds, P., Nijhof, S. L., Tomlinson, D., van der Torre, P., Cabral, S., Dupuis, L. L., & Sung, L. (2018). Physical activity reduces fatigue in patients with cancer and hematopoietic stem cell transplant recipients : A systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 122, 52-59. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2017.12.011>

OCDE. (2023). *Step Up ! Tackling the Burden of Insufficient Physical Activity in Europe*. Organisation for Economic Co-operation and Development. https://www.oecd-ilibrary.org/social-issues-migration-health/step-up-tackling-the-burden-of-insufficient-physical-activity-in-europe_500a9601-en

OCEBM Levels of Evidence Working Group. (2024). *The Oxford Levels of Evidence 2* [Web Page]. <https://www.cebm.ox.ac.uk/resources/levels-of-evidence/ocebml-levels-of-evidence>

Office fédéral de la Statistique. (2021). *Le cancer en Suisse, rapport 2021—Etat des lieux et évolutions* | Publication. <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/19305697>

Oh, P. J., & Kim, Y. L. (2018). [Effectiveness of Non-Pharmacologic Interventions in Chemotherapy Induced Peripheral Neuropathy : A Systematic Review and Meta-Analysis]. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 48(2), 123-142. <https://doi.org/10.4040/jkan.2018.48.2.123>

OMS. (2020). *Directives de l'OMS sur l'activité physique et le comportement sédentaire*. <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240015128>

OMS. (2023). *Selon un nouveau rapport de l'OMS et de l'OCDE, l'accroissement de l'activité physique pourrait faire économiser des milliards à l'UE chaque année*. <https://www.who.int/europe/fr/news/item/17-02-2023-new-who-oecd-report--increasing-physical-activity-could-save-the-eu-billions-annually>

Onken, L. S., Carroll, K. M., Shoham, V., Cuthbert, B. N., & Riddle, M. (2014). Reenvisioning Clinical Science : Unifying the Discipline to Improve the Public Health. *Clinical psychological science : a journal of the Association for Psychological Science*, 2(1), 22-34. <https://doi.org/10.1177/2167702613497932>

Ordan, M.-A., Mazza, C., Barbe, C., Perrier, M., Botsen, D., Renard, Y., Moreau, J., Brasseur, M., Taillière, B., Bertin, É., & Bouché, O. (2018). Feasibility of systematic handgrip strength testing in digestive cancer patients treated with chemotherapy : The FIGHTDIGO study. *Cancer*, 124(7), 1501-1506. <https://doi.org/10.1002/cncr.31207>

Ownby, K. K. (2019). Use of the Distress Thermometer in Clinical Practice. *Journal of the Advanced Practitioner in Oncology*, 10(2), 175-179.

Paillard, T., & Noé, F. (2015). Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Research International*, 2015, 891390. <https://doi.org/10.1155/2015/891390>

Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., & Hoffman, M. A. (2004). The Hoffmann Reflex : Methodologic Considerations and Applications for Use in Sports Medicine and Athletic Training Research. *Journal of Athletic Training*, 39(3), 268-277.

Palmieri, R. M., Ingersoll, C. D., Stone, M. B., & Krause, B. A. (2002). Center-of-Pressure Parameters Used in the Assessment of Postural Control. *Journal of Sport Rehabilitation*, 11(1), 51-66. <https://doi.org/10.1123/jsr.11.1.51>

Pamoukdjian, F., Lévy, V., Sebbane, G., Boubaya, M., Landre, T., Bloch-Queyrat, C., Paillaud, E., & Zelek, L. (2017). Slow Gait Speed Is an Independent Predictor of Early Death in Older Cancer Outpatients : Results from a Prospective Cohort Study. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 21(2), 202-206. <https://doi.org/10.1007/s12603-016-0734-x>

Papadopoulou, M., Stamou, M., Bakalidou, D., Moschovos, C., Zouvelou, V., Zis, P., Tzartos, J., Chroni, E., Michopoulos, I., & Tsivgoulis, G. (2023). Non-pharmacological Interventions on Pain and Quality of Life in Chemotherapy Induced Polyneuropathy : Systematic Review and Meta-Analysis. *In Vivo (Athens, Greece)*, 37(1), 47-56. <https://doi.org/10.21873/invivo.13053>

Park, S. B., Tamburin, S., Schenone, A., Kleckner, I. R., Velasco, R., Alberti, P., Kanzawa-Lee, G., Lustberg, M., Dorsey, S. G., Mantovani, E., Hamedani, M., Argyriou, A. A., Cavaletti, G., & Hoke, A. (2022). Optimal outcome measures for assessing exercise and rehabilitation approaches in

chemotherapy-induced peripheral-neurotoxicity : Systematic review and consensus expert opinion. *Expert Review of Neurotherapeutics*, 22(1), 65-76. <https://doi.org/10.1080/14737175.2022.2018300>

Parker, R. I., & Vannest, K. (2009). An Improved Effect Size for Single-Case Research : Nonoverlap of All Pairs. *Behavior Therapy*, 40(4), 357-367. <https://doi.org/10.1016/j.beth.2008.10.006>

Patel, A. V., Friedenreich, C. M., Moore, S. C., Hayes, S. C., Silver, J. K., Campbell, K. L., Winters-Stone, K., Gerber, L. H., George, S. M., Fulton, J. E., Denlinger, C., Morris, G. S., Hue, T., Schmitz, K. H., & Matthews, C. E. (2019). American College of Sports Medicine Roundtable Report on Physical Activity, Sedentary Behavior, and Cancer Prevention and Control. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(11), 2391-2402. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002117>

Patel, M., Fransson, P. A., Lush, D., & Gomez, S. (2008). The effect of foam surface properties on postural stability assessment while standing. *Gait & Posture*, 28(4), 649-656. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.04.018>

Peddle-McIntyre, C. J., Singh, F., Thomas, R., Newton, R. U., Galvão, D. A., & Cavalheri, V. (2019). Exercise training for advanced lung cancer. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2(CD012685), 1-46. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012685.pub2>

Penna, G. B., Otto, D. M., da Silva, T. C., Pedroni, A. S., & Macagnan, F. E. (2023). Physical rehabilitation for the management of cancer-related fatigue during cytotoxic treatment : A systematic review with meta-analysis. *Supportive Care in Cancer*, 31(2), 129. <https://doi.org/10.1007/s00520-022-07549-7>

Peretz, C., Herman, T., Hausdorff, J. M., & Giladi, N. (2006). Assessing fear of falling : Can a short version of the Activities-specific Balance Confidence scale be useful? *Movement Disorders: Official Journal of the Movement Disorder Society*, 21(12), 2101-2105. <https://doi.org/10.1002/mds.21113>

Peters, D. M., Fritz, S. L., & Krotish, D. E. (2013). Assessing the reliability and validity of a shorter walk test compared with the 10-Meter Walk Test for measurements of gait speed in healthy, older adults. *Journal of Geriatric Physical Therapy* (2001), 36(1), 24-30. <https://doi.org/10.1519/JPT.0b013e318248e20d>

Pignon, L., & Delubac, D. (2021). Kinésithérapie dans l'ataxie cérébelleuse : De la physiopathologie à la rééducation. *Kinésithérapie, la Revue*, 21(240), 27-33. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2020.12.009>

Pinsault, N. (2009). *De l'objectivation des évaluations posturales et de la compréhension des mécanismes de contrôle de la posture bipédique à leur application en Médecine Physique et de Réadaptation*. Université Joseph Fourier - Grenoble 1.

Pinsault, N., & Vuillerme, N. (2009). Test-retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance. *Medical Engineering & Physics*, 31(2), 276-286. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2008.08.003>

Plummer, P., & Eskes, G. (2015). Measuring treatment effects on dual-task performance : A framework for research and clinical practice. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 225. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2015.00225>

Posit Team. (2024). *RStudio : Integrated Development Environment for R*. Posit Software, PBC, Boston, MA. Posit. <http://www.posit.co/>

Preobrazenski, N., McCaig, A., Turner, A., Kushner, M., Pacitti, L., Mendolia, P., MacDonald, B., Storoschuk, K., Bouck, T., Zaza, Y., Lu, S., & Gurd, B. J. (2024). Risk of bias in exercise science: A systematic review of 340 studies. *iScience*, 26;27(3):109010. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2024.109010>

Purcell, A., Fleming, J., Bennett, S., Burmeister, B., & Haines, T. (2010). Determining the minimal clinically important difference criteria for the Multidimensional Fatigue Inventory in a radiotherapy population. *Supportive Care in Cancer*, 18(3), 307-315. <https://doi.org/10.1007/s00520-009-0653-z>

Qiu, L., Ye, M., Tong, Y., & Jin, Y. (2023). Promoting physical activity among cancer survivors : An umbrella review of systematic reviews. *Supportive Care in Cancer*, 31(5), 301. <https://doi.org/10.1007/s00520-023-07760-0>

Quijoux, F., Nicolaï, A., Aflalo, J., Bertin-Hugault, F., & Ricard, D. (2021). Apport de la posturographie dans l'évaluation de l'équilibre de la personne âgée. *Pratique Neurologique - FMC*, 12(4), 290-302. <https://doi.org/10.1016/j.praneu.2021.10.006>

Quijoux, F., Nicolaï, A., Chairi, I., Bargiotas, I., Ricard, D., Yelnik, A., Oudre, L., Bertin-Hugault, F., Vidal, P.-P., Vayatis, N., Buffat, S., & Audiffren, J. (2021). A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people : Algorithms and open-access code*. *Physiological Reports*, 9(22), e15067. <https://doi.org/10.14814/phy2.15067>

Quijoux, F., Vienne-Jumeau, A., Bertin-Hugault, F., Zawieja, P., Lefèvre, M., Vidal, P.-P., & Ricard, D. (2020). Center of pressure displacement characteristics differentiate fall risk in older people : A

systematic review with meta-analysis. *Ageing Research Reviews*, 62, 101117. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2020.101117>

R Core Team. (2024). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org>

Rattanakrong, N., Siriphorn, A., & Boonyong, S. (2022). The alteration of static and dynamic postural stability among women with breast cancer during taxane-based chemotherapy : A descriptive study. *Physiotherapy Theory and Practice*, 40(6), 1-9. <https://doi.org/10.1080/09593985.2022.2139654>

Reed, C. A., Chaudhari, A. M. W., Worthen-Chaudhari, L. C., Bigelow, K. E., & Monfort, S. M. (2020). A new perspective on transient characteristics of quiet stance postural control. *PloS One*, 15(8), e0237246. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0237246>

Reese, N. B. (2011). *Muscle and Sensory Testing* (3e édition). Saunders.

Reinmann, A., Bruyneel, A.-V., Gligorov, J., Mesure, S., Combescure, C., Koessler, T., & Bodmer, A. (2022). Influence of chemotherapy on postural control and quality of life in women with gynaecological cancer: A protocol of a prospective observational study. *BMJ Open*, 12(9), e061664. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-061664>

Renskers, L., van Uden, R. J. J. C., Huis, A. M. P., Rongen, S. A. A., Teerenstra, S., & van Riel, P. L. C. M. (2018). Comparison of the construct validity and reproducibility of four different types of patient-reported outcome measures (PROMs) in patients with rheumatoid arthritis. *Clinical Rheumatology*, 37(12), 3191-3199. <https://doi.org/10.1007/s10067-018-4285-x>

Rioufroy, T. (2016). *La transcription d'entretiens en sciences sociales*. <https://shs.hal.science/halshs-01339474>

Roberts, H. C., Denison, H. J., Martin, H. J., Patel, H. P., Syddall, H., Cooper, C., & Sayer, A. A. (2011). A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies : Towards a standardised approach. *Age and Ageing*, 40(4), 423-429. <https://doi.org/10.1093/ageing/afr051>

Rodà, F., Petraglia, F., Scaltriti, V., Costantino, C., Franciosi, V., Pessina, F., & Brianti, R. (2017). Physical exercises programs for cancer patients : What else's new? *Cancer Reports and Reviews*, 1(3), 1-4. <https://doi.org/10.15761/CRR.1000116>

Rodríguez-Cañamero, S., Cobo-Cuenca, A. I., Carmona-Torres, J. M., Pozuelo-Carrascosa, D. P., Santacruz-Salas, E., Rabanales-Sotos, J. A., Cuesta-Mateos, T., & Laredo-Aguilera, J. A. (2022). Impact of physical exercise in advanced-stage cancer patients : Systematic review and meta-analysis. *Cancer Medicine*, 11(19), 3714-3727. <https://doi.org/10.1002/cam4.4746>

Roll, J.-P., Vedel, J., & Ribot-Ciscar, E. (1989). Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man : A microneurographic study. *Experimental brain research. Experimentelle Hirnforschung. Expérimentation cérébrale*, 76, 213-222. <https://doi.org/10.1007/BF00253639>

Ruget, H., Blouin, J., Teasdale, N., & Mouchnino, L. (2008). Can prepared anticipatory postural adjustments be updated by proprioception? *Neuroscience*, 155(3), 640-648. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.06.021>

Ruhe, A., Fejer, R., & Walker, B. (2010). The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions—A systematic review of the literature. *Gait & Posture*, 32(4), 436-445. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.09.012>

Saito, Y., Nakamura, S., Tanaka, A., Watanabe, R., Narimatsu, H., & Chung, U. (2022). Evaluation of the validity and reliability of the 10-meter walk test using a smartphone application among Japanese older adults. *Frontiers in Sports and Active Living*, 4(904924). <https://doi.org/10.3389/fspor.2022.904924>

Salbach, N. M., McDonald, A., MacKay-Lyons, M., Bulmer, B., Howe, J.-A., Bayley, M. T., McEwen, S., Nelson, M., & Solomon, P. (2021). Experiences of Physical Therapists and Professional Leaders With Implementing a Toolkit to Advance Walking Assessment Poststroke : A Realist Evaluation. *Physical Therapy*, 101(12), 1-11. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzab232>

Salci, Y., Karanfil, E., Balkan, A. F., Kütükçü, E. Ç., Ceren, A. N., Ayvat, F., Bekircan-Kurt, C. E., & Armutlu, K. (2019). Functional exercise capacity evaluated by timed walk tests in myasthenia gravis. *Muscle & Nerve*, 59(2), 208-212. <https://doi.org/10.1002/mus.26345>

Santos, I. M., Mendes, L., Carolino, E., & Santos, C. A. (2020). Nutritional Status, Functional Status, and Quality of Life—What is the Impact and Relationship on Cancer Patients? *Nutrition and Cancer*, 73(11-12), 1-14. <https://doi.org/10.1080/01635581.2020.1839520>

Sarac, D. C., Unver, B., & Karatosun, V. (2022). Validity and reliability of performance tests as balance measures in patients with total knee arthroplasty. *Knee Surgery & Related Research*, 34(11), 1-7. <https://doi.org/10.1186/s43019-022-00136-4>

- Scaioli, V., Caraceni, A., Martini, C., Curzi, S., Capri, G., & Luca, G. (2006). Electrophysiological evaluation of visual pathways in paclitaxel-treated patients. *Journal of Neuro-Oncology*, 77(1), 79-87. <https://doi.org/10.1007/s11060-005-9008-x>
- Scalzitti, D. A., Harwood, K. J., Maring, J. R., Leach, S. J., Ruckert, E. A., & Costello, E. (2018). Validation of the 2-Minute Walk Test with the 6-Minute Walk Test and Other Functional Measures in Persons with Multiple Sclerosis. *International Journal of MS Care*, 20(4), 158-163. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2017-046>
- Schabrun, S. M., van den Hoorn, W., Moorcroft, A., Greenland, C., & Hodges, P. W. (2014). Texting and walking : Strategies for postural control and implications for safety. *PloS One*, 9(1), e84312. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0084312>
- Scheibel, A., Zamfirescu, F., Gagey, P.-M., & Villeneuve, P. (2017). *Pratiques en posturologie—Pierre-Marie Gagey, Alain Scheibel, Philippe Villeneuve, Françoise Zamfirescu—Google Livres* (Elsevier Masson).
- Schmidle, S., de Crignis, A. C., Stürzer, M., Hermsdörfer, J., Jahn, K., & Krewer, C. (2022). Influence of stance width on standing balance in healthy older adults. *Journal of Neurology*, 269(12), 6228-6236. <https://doi.org/10.1007/s00415-022-11144-5>
- Schmidt, H., Pedersen, T. L., Junge, T., Engelbert, R., & Juul-Kristensen, B. (2017). Hypermobility in Adolescent Athletes : Pain, Functional Ability, Quality of Life, and Musculoskeletal Injuries. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 47(10), 792-800. <https://doi.org/10.2519/jospt.2017.7682>
- Schmidt, K., Vogt, L., Thiel, C., Jäger, E., & Banzer, W. (2013). Validity of the six-minute walk test in cancer patients. *International Journal of Sports Medicine*, 34(7), 631-636. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1323746>
- Schmidt, M. E., Scherer, S., Wiskemann, J., & Steindorf, K. (2019). Return to work after breast cancer : The role of treatment-related side effects and potential impact on quality of life. *European Journal of Cancer Care*, 28(4), e13051. <https://doi.org/10.1111/ecc.13051>
- Schmitt, A. C., Repka, C. P., Heise, G. D., Challis, J. H., & Smith, J. D. (2017). Comparison of posture and balance in cancer survivors and age-matched controls. *Clinical Biomechanics*, 50, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.09.010>
- Schober, P., Boer, C., & Schwarte, L. A. (2018). Correlation Coefficients : Appropriate Use and Interpretation. *Anesthesia & Analgesia*, 126(5), 1763-1768. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>
- Schoeb, V. (2012). La recherche qualitative en physiothérapie : Quelle place mérite-t-elle ? *Kinésithérapie, la Revue*, 12(127), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2012.02.004>
- Schwab, L., & Visovsky, C. (2022). Psychological distress and quality of life in breast cancer survivors with taxane-induced peripheral neuropathy : A scoping review. *Frontiers in Oncology*, 12, 1005083. <https://doi.org/10.3389/fonc.2022.1005083>
- Schwenk, M., Grewal, G. S., Holloway, D., Muchna, A., Garland, L., & Najafi, B. (2016). Interactive Sensor-Based Balance Training in Older Cancer Patients with Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy : A Randomized Controlled Trial. *Gerontology*, 62(5), 553-563. <https://doi.org/10.1159/000442253>
- Scotté, F., Di Palma, M., Migala, C., Eche-Gass, A., Cerisey, C., Clairaz, B., De Botton, M.-L., Gueroult-Accolas, L., Drevot, H., Labonne, V., Krakowski, I., & Mayeur, D. (2024). Abstracts for MASCC/AFSOS/ISOO Annual Meeting 2024. *Supportive Care in Cancer*, 32(1), 434. <https://doi.org/10.1007/s00520-024-08541-z>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1995). *Motor control : Theory and practical applications*. Williams & Wilkins.
- Sibley, K. M., Straus, S. E., Inness, E. L., Salbach, N. M., & Jaglal, S. B. (2011). Balance assessment practices and use of standardized balance measures among Ontario physical therapists. *Physical Therapy*, 91(11), 1583-1591. <https://doi.org/10.2522/ptj.20110063>
- Şimşek, N. Y., & Demir, A. (2021). Cold Application and Exercise on Development of Peripheral Neuropathy during Taxane Chemotherapy in Breast Cancer Patients : A Randomized Controlled Trial. *Asia-Pacific Journal of Oncology Nursing*, 8(3), 255-266. <https://doi.org/10.4103/apjon.apjon-2075>
- Smets, E. M., Garssen, B., Cull, A., & de Haes, J. C. (1996). Application of the multidimensional fatigue inventory (MFI-20) in cancer patients receiving radiotherapy. *British Journal of Cancer*, 73(2), 241-245. <https://doi.org/10.1038/bjc.1996.42>

Smith, E. M. L., Cohen, J. A., Pett, M. A., & Beck, S. L. (2010). The reliability and validity of a modified total neuropathy score-reduced and neuropathic pain severity items when used to measure chemotherapy-induced peripheral neuropathy in patients receiving taxanes and platinum. *Cancer Nursing*, 33(3), 173-183. <https://doi.org/10.1097/NCC.0b013e3181c989a3>

Smith, E. M. L., Pang, H., Cirrincione, C., Fleishman, S., Paskett, E. D., Ahles, T., Bressler, L. R., Fadul, C. E., Knox, C., Le-Lindqwister, N., Gilman, P. B., & Shapiro, C. L. (2013). Effect of duloxetine on pain, function, and quality of life among patients with chemotherapy-induced painful peripheral neuropathy : A randomized clinical trial. *JAMA : the journal of the American Medical Association*, 309(13), 1359-1367. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.2813>

Soucy, C., Bouchard, D. R., Hrubeniuk, T., & Sénéchal, M. (2022). Variability in physical function for patients living with breast cancer during a 12-week exercise program. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 30(1), 69-76. <https://doi.org/10.1007/s00520-021-06394-4>

Soulard, J., Vaillant, J., Balaguier, R., & Vuillerme, N. (2021). Spatio-temporal gait parameters obtained from foot-worn inertial sensors are reliable in healthy adults in single- and dual-task conditions. *Scientific Reports*, 11, 10229. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88794-4>

Souron, R., Besson, T., Millet, G. Y., & Lapole, T. (2017). Acute and chronic neuromuscular adaptations to local vibration training. *European Journal of Applied Physiology*, 117(10), 1939-1964. <https://doi.org/10.1007/s00421-017-3688-8>

Sozzi, S., Do, M.-C., & Schieppati, M. (2022). Vertical ground reaction force oscillation during standing on hard and compliant surfaces : The “postural rhythm”. *Frontiers in Neurology*, 13(975752). <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2022.975752>

Sozzi, S., Ghai, S., & Schieppati, M. (2022). Incongruity of Geometric and Spectral Markers in the Assessment of Body Sway. *Frontiers in Neurology*, 13(929132). <https://www.frontiersin.org/journals/neurology/articles/10.3389/fneur.2022.929132>

Sozzi, S., Nardone, A., & Schieppati, M. (2021). Specific Posture-Stabilising Effects of Vision and Touch Are Revealed by Distinct Changes of Body Oscillation Frequencies. *Frontiers in Neurology*, 12(756984). <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.756984>

Squires, R. W., Shultz, A. M., & Herrmann, J. (2018). Exercise Training and Cardiovascular Health in Cancer Patients. *Current Oncology Reports*, 20(3), 1-20. <https://doi.org/10.1007/s11912-018-0681-2>

Stel, V. S., Smit, J. H., Pluijm, S. M. F., & Lips, P. (2003). Balance and mobility performance as treatable risk factors for recurrent falling in older persons. *Journal of Clinical Epidemiology*, 56(7), 659-668. [https://doi.org/10.1016/S0895-4356\(03\)00082-9](https://doi.org/10.1016/S0895-4356(03)00082-9)

Stoller, S., Capozza, S., Alberti, P., Lustberg, M., & Kleckner, I. R. (2023). Framework to leverage physical therapists for the assessment and treatment of chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity (CIPN). *Supportive Care in Cancer*, 31(5), 293. <https://doi.org/10.1007/s00520-023-07734-2>

Streckmann, F. (2014). Exercise program improves therapy-related side-effects and quality of life in lymphoma patients undergoing therapy. *Annals of Oncology*, 25(2), 7.

Streckmann, F. (2023). *Instabilités posturales post chimiothérapie* [Communication personnelle].

Streckmann, F., Balke, M., Cavaletti, G., Toscanelli, A., Bloch, W., Décard, B. F., Lehmann, H. C., & Faude, O. (2022). Exercise and Neuropathy : Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 52(5), 1043-1065. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01596-6>

Streckmann, F., Elter, T., Lehmann, H. C., Baurecht, H., Nazarenus, T., Oswald, V., Koliymitra, C., Otten, S., Draube, A., Heinen, P., Steinmetz, T., Hallek, M., Leitzmann, M., Bloch, W., & Balke, M. (2024). Preventive Effect of Neuromuscular Training on Chemotherapy-Induced Neuropathy : A Randomized Clinical Trial. *JAMA Internal Medicine*, 184(9), 1046-1053. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2024.2354>

Streckmann, F., Lehmann, H. C., Balke, M., Schenk, A., Oberste, M., Heller, A., Schürhörster, A., Elter, T., Bloch, W., & Baumann, F. T. (2019). Sensorimotor training and whole-body vibration training have the potential to reduce motor and sensory symptoms of chemotherapy-induced peripheral neuropathy-a randomized controlled pilot trial. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 27(7), 2471-2478. <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4531-4>

Strubhar, A. J., Rapp, B., & Thomas, D. (2017). Changes in Gait and Texting Ability During Progressively Difficult Gait Tasks. *International Journal of Exercise Science*, 10(5), 743-753.

Stuecher, K., Bolling, C., Vogt, L., Niederer, D., Schmidt, K., Dignaß, A., & Banzer, W. (2019). Exercise improves functional capacity and lean body mass in patients with gastrointestinal cancer during

chemotherapy : A single-blind RCT. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 27(6), 2159-2169. <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4478-5>

Suzuki, K., Morishita, S., Nakano, J., Okayama, T., Inoue, J., Tanaka, T., & Fukushima, T. (2023). Neurological Outcomes of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy in Patients With Cancer : A Systematic Review and Meta-Analysis. *Integrative Cancer Therapies*, 22(15347354231185110), 1-12. <https://doi.org/10.1177/15347354231185110>

Sweegers, M. G., Altenburg, T. M., Chinapaw, M. J., Kalter, J., Verdonck-de Leeuw, I. M., Courneya, K. S., Newton, R. U., Aaronson, N. K., Jacobsen, P. B., Brug, J., & Buffart, L. M. (2018). Which exercise prescriptions improve quality of life and physical function in patients with cancer during and following treatment? A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *British Journal of Sports Medicine*, 52(8), 505-513. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097891>

Tamburin, S., Park, S. B., Schenone, A., Mantovani, E., Hamedani, M., Alberti, P., Yildiz-Kabak, V., Kleckner, I. R., Kolb, N., Mazzucchelli, M., McNeish, B. L., Argyriou, A. A., Cavaletti, G., & Hoke, A. (2021). Rehabilitation, exercise, and related non-pharmacological interventions for chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity : Systematic review and evidence-based recommendations. *Critical Reviews in Oncology/Hematology*, 171(103575), 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2021.103575>

Tan, W. W., & Walsh, T. (1998). Ocular toxicity secondary to paclitaxel in two lung cancer patients. *Medical and Pediatric Oncology*, 31(3), 177-177. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-911X\(199809\)31:3<177::AID-MPO11>3.0.CO;2-J](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-911X(199809)31:3<177::AID-MPO11>3.0.CO;2-J)

Tanay, M. A. L., Armes, J., Moss-Morris, R., Rafferty, A. M., & Robert, G. (2021). A systematic review of behavioural and exercise interventions for the prevention and management of chemotherapy-induced peripheral neuropathy symptoms. *Journal of Cancer Survivorship*, 17, 254-277. <https://doi.org/10.1007/s11764-021-00997-w>

Tanay, M. A. L., Armes, J., & Ream, E. (2017). The experience of chemotherapy-induced peripheral neuropathy in adult cancer patients : A qualitative thematic synthesis. *European Journal of Cancer Care*, 26(5), e12443. <https://doi.org/10.1111/ecc.12443>

Tanay, M. A. L., Robert, G., Rafferty, A. M., Moss-Morris, R., & Armes, J. (2022). Clinician and patient experiences when providing and receiving information and support for managing chemotherapy-induced peripheral neuropathy : A qualitative multiple methods study. *European Journal of Cancer Care*, 31(1), e13517. <https://doi.org/10.1111/ecc.13517>

Tang, L., Zhang, Y., Pang, Y., Zhang, H., & Song, L. (2011). Validation And Reliability of Distress Thermometer in Chinese Cancer Patients. *Chinese Journal of Cancer Research*, 23(1), 54. <https://doi.org/10.1007/s11670-011-0054-y>

Tarlow, K. R. (2016). *Baseline Corrected Tau Calculator*. Behavior Modification. <http://www.ktarlow.com/stats/tau>

Teasdale, N., Furmanek, M. P., Germain Robitaille, M., de Oliveira, F. C. L., & Simoneau, M. (2017). Sensory Integration during Vibration of Postural Muscle Tendons When Pointing to a Memorized Target. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00682>

Thibert, C. (2024). Cancer : L'activité physique très efficace contre les neuropathies provoquées par les chimiothérapies (et pas que). *Le Figaro Santé*. <https://sante.lefigaro.fr/mieux-etre/cancer-l-activite-physique-tres-efficace-contre-les-neuropathies-provoquees-par-les-chimiotherapies-et-pas-que-20240704>

Thomann, G., Donato, A. D., Seito, K. I., Tomazini, J. E., & Reisa Miranda, V. C. (2017). Evaluation de l'équilibre posturale par la mesure simultanée du CoP et du CoM Conception d'une plateforme de force couplée à un capteur Kinect. *15ème Colloque AIP Primeca*. <https://hal.science/hal-01925884>

Tighilet, B. (2021). Compensation vestibulaire et vieillissement. *Médecine/Sciences*, 37(10), 851-862. <https://doi.org/10.1051/medsci/2021144>

Titz, C., Hummler, S., Schmidt, M. E., Thomas, M., Steins, M., & Wiskemann, J. (2018). Exercise behavior and physical fitness in patients with advanced lung cancer. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 26(8), 2725-2736. <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4105-5>

Toth, M. J., Callahan, D. M., Miller, M. S., Tourville, T. W., Hackett, S. B., Couch, M. E., & Dittus, K. (2016). Skeletal muscle fiber size and fiber type distribution in human cancer : Effects of weight loss and relationship to physical function. *Clinical nutrition (Edinburgh, Scotland)*, 35(6), 1359-1365. <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.02.016>

Toth, M. J., Miller, M. S., Callahan, D. M., Sweeny, A. P., Nunez, I., Grunberg, S. M., Der-Torossian, H., Couch, M. E., & Dittus, K. (2013). Molecular mechanisms underlying skeletal muscle weakness in human cancer: Reduced myosin-actin cross-bridge formation and kinetics. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 114(7), 858-868. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01474.2012>

Tyson, S., & Connell, L. (2009). How to measure balance in clinical practice. A systematic review of the psychometrics and clinical utility of measures of balance activity for neurological conditions. *Clinical Rehabilitation*, 23(9), 824-840. <https://doi.org/10.1177/0269215509335018>

Vaillant, J. (2004). *Kinésithérapie et amélioration du contrôle de l'équilibre du sujet âgé : Effets de traitements cognitifs, manuels et instrumentaux*. Université Grenoble 1.

Van Belle, S., Paridaens, R., Evers, G., Kerger, J., Bron, D., Foubert, J., Ponnet, G., Vander Steichel, D., Heremans, C., & Rosillon, D. (2005). Comparison of proposed diagnostic criteria with FACT-F and VAS for cancer-related fatigue : Proposal for use as a screening tool. *Supportive Care in Cancer*, 13(4), 246-254. <https://doi.org/10.1007/s00520-004-0734-y>

Vancampfort, D., Basangwa, D., Kimbowa, S., Firth, J., Schuch, F., Van Damme, T., & Mugisha, J. (2020). Test-retest reliability, validity, and correlates of the 2-min walk test in outpatients with depression. *Physiotherapy Research International*, 25(2), e1821. <https://doi.org/10.1002/pri.1821>

Vancampfort, D., Kimbowa, S., Basangwa, D., Hallgren, M., Van Damme, T., Rosenbaum, S., & Mugisha, J. (2021). Test-retest reliability, concurrent validity and correlates of the two-minute walk test in outpatients with alcohol use disorder. *Alcohol*, 90, 74-79. <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2020.12.001>

Vancampfort, D., Kimbowa, S., Basangwa, D., Smith, L., Stubbs, B., Van Damme, T., De Hert, M., & Mugisha, J. (2019). Test-retest reliability, concurrent validity and correlates of the two-minute walk test in outpatients with psychosis. *Psychiatry Research*, 282, 112619. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2019.112619>

van Hedel, H. J. A., Dietz, V., & Curt, A. (2007). Assessment of walking speed and distance in subjects with an incomplete spinal cord injury. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 21(4), 295-301. <https://doi.org/10.1177/1545968306297861>

van Mierlo, M., Vlutters, M., van Asseldonk, E. H. F., & van der Kooij, H. (2023). Sagittal-plane balance perturbations during very slow walking: Strategies for recovering linear and angular momentum. *Journal of Biomechanics*, 152, 111580. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2023.111580>

van Waart, H., Buffart, L. M., Stuiver, M. M., van Harten, W. H., Sonke, G. S., & Aaronson, N. K. (2020). Adherence to and satisfaction with low-intensity physical activity and supervised moderate-high intensity exercise during chemotherapy for breast cancer. *Supportive Care in Cancer*, 28(5), 2115-2126. <https://doi.org/10.1007/s00520-019-05019-1>

Varedi, M., Lu, L., Howell, C. R., Partin, R. E., Hudson, M. M., Pui, C.-H., Krull, K. R., Robison, L. L., Ness, K. K., & McKenna, R. F. (2018). Peripheral Neuropathy, Sensory Processing, and Balance in Survivors of Acute Lymphoblastic Leukemia. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 36(22), 2315-2322. <https://doi.org/10.1200/JCO.2017.76.7871>

Vasquez, S., Guidon, M., McHugh, E., Lennon, O., Grogan, L., & Breathnach, O. S. (2014). Chemotherapy induced peripheral neuropathy : The modified total neuropathy score in clinical practice. *Irish Journal of Medical Science*, 183(1), 53-58. <https://doi.org/10.1007/s11845-013-0971-5>

Velasco-González, R., & Coffeen, U. (2022). Neurophysiopathological Aspects of Paclitaxel-induced Peripheral Neuropathy. *Neurotoxicity Research*, 40(6), 1673-1689. <https://doi.org/10.1007/s12640-022-00582-8>

Veronez, S. de O., do Espirito-Santo, C. C., Dantas, A. F. O. de A., Pereira, N. D., & Ilha, J. (2024). The use of nonlinear analysis in understanding postural control : A scoping review. *Human Movement Science*, 96, 103246. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2024.103246>

Visovsky, C., Collins, M., Abbott, L., Aschenbrenner, J., & Hart, C. (2007). Putting Evidence Into Practice® : Evidence-Based Interventions for Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. *Clinical journal of oncology nursing*, 11, 901-913. <https://doi.org/10.1188/07.CJON.901-913>

Vollmers, P. L., Mundhenke, C., Maass, N., Bauerschlag, D., Kratzstein, S., Röcken, C., & Schmidt, T. (2018). Evaluation of the effects of sensorimotor exercise on physical and psychological parameters in breast cancer patients undergoing neurotoxic chemotherapy. *Journal of Cancer Research and Clinical Oncology*, 144(9), 1785-1792. <https://doi.org/10.1007/s00432-018-2686-5>

Wagner, A. R., Chaudhari, A. M., & Merfeld, D. M. (2021). Might Vestibular « Noise » Cause Subclinical Balance Impairment and Falls? *International Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 9(Suppl 8), 001.

Walker, H. K. (1990). Deep Tendon Reflexes. In H. K. Walker, W. D. Hall, & J. W. Hurst (Éds.), *Clinical Methods : The History, Physical, and Laboratory Examinations* (3rd éd.). Butterworths. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK396/>

Walsh, M., Church, C., Hoffmeister, A., Smith, D., & Haworth, J. (2020). Validation of a Portable Force Plate for Evaluating Postural Sway. *Perceptual and Motor Skills*, 128(1). <https://doi.org/10.1177/0031512520945092>

Wampler, M. A., Miaskowski, C., & Hamel, K. (2006). *The Modified Total Neuropathy Score : A Clinically Feasible and Valid Measure of Taxane-Induced Peripheral Neuropathy in Women With Breast Cancer*. 4(8), 9-16.

Wampler, M. A., Topp, K. S., Miaskowski, C., Byl, N. N., Rugo, H. S., & Hamel, K. (2007). Quantitative and Clinical Description of Postural Instability in Women With Breast Cancer Treated With Taxane Chemotherapy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(8), 1002-1008. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.05.007>

Wang, A. B., Housley, S. N., Flores, A. M., Cope, T. C., & Perreault, E. J. (2022). Cancer survivors post-chemotherapy exhibit unique proprioceptive deficits in proximal limbs. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 19, 32. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01010-w>

Wang, A. B., Housley, S. N., Flores, A. M., Kircher, S. M., Perreault, E. J., & Cope, T. C. (2021). A review of movement disorders in chemotherapy-induced neurotoxicity. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 18(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00818-2>

Wang, D. X. M., Yao, J., Zirek, Y., Reijnierse, E. M., & Maier, A. B. (2020). Muscle mass, strength, and physical performance predicting activities of daily living : A meta-analysis. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, 11(1), 3-25. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12502>

Wang, M., & Molassiotis, A. (2022). Mapping chemotherapy-induced peripheral neuropathy phenotype and health-related quality of life in patients with cancer through exploratory analysis of multimodal assessment data. *Supportive Care in Cancer: Official Journal of the Multinational Association of Supportive Care in Cancer*, 30(5), 4007-4017. <https://doi.org/10.1007/s00520-022-06821-0>

Wang, Y.-J., Chan, Y.-N., Jheng, Y.-W., Wu, C.-J., Lin, M.-W., Tseng, L.-M., Tsai, Y.-F., & Liu, L.-C. (2021). Chemotherapy-induced peripheral neuropathy in newly diagnosed breast cancer survivors treated with taxane : A prospective longitudinal study. *Supportive Care in Cancer*, 29(6), 2959-2971. <https://doi.org/10.1007/s00520-020-05796-0>

Warnica, M. J., Weaver, T. B., Prentice, S. D., & Laing, A. C. (2014). The influence of ankle muscle activation on postural sway during quiet stance. *Gait & Posture*, 39(4), 1115-1121. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.01.019>

WCPT. (s. d.). *Mesure de l'activité physique en MET*. Consulté 1 septembre 2024, à l'adresse https://world.physio/sites/default/files/2020-05/MeasuringPhysicalActivity_infographic_A4_FINAL_French.pdf

Wechsler, S., Kneiss, J., Adams, B., & Wood Magee, L. J. (2022). Persistent cancer-related fatigue after breast cancer treatment predicts postural sway and post-exertional changes in sit-to-stand strategy. *Rehabilitation Oncology (American Physical Therapy Association. Oncology Section)*, 40(4), 162-171. <https://doi.org/10.1097/01.reo.0000000000000308>

Wechsler, S., & Wood, L. (2021). The Effect of Chemotherapy on Balance, Gait, and Falls Among Cancer Survivors : A Scoping Review. *Rehabilitation Oncology*, 39(1), 6-22. <https://doi.org/10.1097/01.REO.0000000000000238>

Whisenant, M. S., Strunk, F. A., Tripathy, D., & Williams, L. A. (2019). What symptoms are important to patients? Developing a symptom burden measure for women with breast cancer. *Supportive Care in Cancer*, 27(12), 4639-4647. <https://doi.org/10.1007/s00520-019-04770-9>

White, K. M., Agar, M. R., & Currow, D. C. (2019). Assessing the exertion required to induce breathlessness in a population with advanced cancer : Matching measures to the level of physical function. *BMC Palliative Care*, 18(1), 1-6. <https://doi.org/10.1186/s12904-018-0386-1>

Wilbert, J., & Lücke, T. (2023, août 8). *Single-Case Data Analyses for Single and Multiple Baseline Designs (0.60)*. <https://cran.r-project.org/web/packages/scan/scan.pdf>

Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3(4), 193-214. [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)

Winter, D. A., Prince, F., Frank, J. S., Powell, C., & Zabjek, K. F. (1996). Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. *Journal of Neurophysiology*, 75(6), 2334-2343. <https://doi.org/10.1152/jn.1996.75.6.2334>

- Winters-Stone, K. M., Horak, F., Jacobs, P. G., Trubowitz, P., Dieckmann, N. F., Stoyles, S., & Faithfull, S. (2017). Falls, Functioning, and Disability Among Women With Persistent Symptoms of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. *Journal of Clinical Oncology: Official Journal of the American Society of Clinical Oncology*, 35(23), 2604-2612. <https://doi.org/10.1200/JCO.2016.71.3552>
- Winters-Stone, K. M., Medysky, M. E., & Savin, M. (2019). Patient-Reported and Objectively Measured Physical Function in Older Breast Cancer Survivors and Cancer-Free Controls. *Journal of geriatric oncology*, 10(2), 311-316. <https://doi.org/10.1016/j.jgo.2018.10.006>
- Winters-Stone, K. M., Torgrimson, B., Horak, F., Eisner, A., Nail, L., Leo, M. C., Chui, S., & Luoh, S.-W. (2011). Identifying factors associated with falls in postmenopausal breast cancer survivors : A multi-disciplinary approach. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 92(4), 646-652. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2010.10.039>
- Woollacott, M. H., & Tang, P.-F. (1997). Balance Control During Walking in the Older Adult : Research and Its Implications. *Physical Therapy*, 77(6), 646-660. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.6.646>
- Worthen-Chaudhari, L. C., Monfort, S. M., Bland, C., Pan, X., & Chaudhari, A. M. W. (2018). Characterizing within-subject variability in quantified measures of balance control : A cohort study. *Gait & Posture*, 64, 141-146. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.05.031>
- Worthen-Chaudhari, L., Lamantia, M. T., Monfort, S. M., Mysiw, W., Chaudhari, A. M. W., & Lustberg, M. B. (2019). Partnered, adapted argentine tango dance for cancer survivors : A feasibility study and pilot study of efficacy. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 70, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2019.08.010>
- Worthen-Chaudhari, L., Schnell, P. M., Hackney, M. E., & Lustberg, M. B. (2024). Partnered dance evokes greater intrinsic motivation than home exercise as therapeutic activity for chemotherapy-induced deficits : Secondary results of a randomized, controlled clinical trial. *Frontiers in Psychology*, 15, 1383143. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1383143>
- Wu, T., & Zhao, Y. (2021). Associations between functional fitness and walking speed in older adults. *Geriatric Nursing*, 42(2), 540-543. <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2020.10.003>
- Yang, M., Liu, L., Gan, C.-E., Qiu, L.-H., Jiang, X.-J., He, X.-T., & Zhang, J.-E. (2020). Effects of home-based exercise on exercise capacity, symptoms, and quality of life in patients with lung cancer : A meta-analysis. *European Journal of Oncology Nursing: The Official Journal of European Oncology Nursing Society*, 49, 101836. <https://doi.org/10.1016/j.ejon.2020.101836>
- Yelnik, A., & Herman, P. (2021). *Troubles de l'équilibre : Aspects sensoriels: De la physiologie à la rééducation*. Elsevier Health Sciences.
- Zahiri, M., Chen, K. M., Zhou, H., Nguyen, H., Workeneh, B. T., Yellapragada, S. V., Sada, Y. H., Schwenk, M., & Najafi, B. (2019). Using wearables to screen motor performance deterioration because of cancer and chemotherapy-induced peripheral neuropathy (CIPN) in adults—Toward an early diagnosis of CIPN. *Journal of Geriatric Oncology*, 10(6), 960-967. <https://doi.org/10.1016/j.jgo.2019.01.010>
- Zajackowska, R., Kocot-Kępska, M., Leppert, W., Wrzosek, A., Mika, J., & Wordliczek, J. (2019). Mechanisms of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(6), 1451. <https://doi.org/10.3390/ijms20061451>
- Zhang, Q., Lu, H., Pan, S., Lin, Y., Zhou, K., & Wang, L. (2017). 6MWT Performance and its Correlations with VO₂ and Handgrip Strength in Home-Dwelling Mid-Aged and Older Chinese. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5), 1-10. <https://doi.org/10.3390/ijerph14050473>
- Zhu, C., Ma, H., He, A., Li, Y., He, C., & Xia, Y. (2022). Exercise in cancer prevention and anticancer therapy : Efficacy, molecular mechanisms and clinical information. *Cancer Letters*, 544(215814), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2022.215814>
- Zimmer, P., Trebing, S., Timmers-Trebing, U., Schenk, A., Paust, R., Bloch, W., Rudolph, R., Streckmann, F., & Baumann, F. T. (2018). Eight-week, multimodal exercise counteracts a progress of chemotherapy-induced peripheral neuropathy and improves balance and strength in metastasized colorectal cancer patients : A randomized controlled trial. *Supportive Care in Cancer*, 26(2), 615-624. <https://doi.org/10.1007/s00520-017-3875-5>

Note : pour différencier les divers auteurs, certaines références dans le corps de texte comprennent des initiales ou des doubles noms d'auteur

VIII. Annexes

Annexe 1. Propriétés des outils de mesure

Outils et échelles	Validité	Fiabilité
Plateforme de force	Comparé à la plateforme de force enterrée en condition EO, étudiants : RMS_{ML} : $ICC = 0,73, p < 0,05$ Longueur du CP_{ML} : $ICC = 0,86, p < 0,05$ Delta du CP_{ML} : $ICC = 0,63, p < 0,05$ RMS_{AP} : $ICC = 0,83, p < 0,05$ Longueur du CP_{AP} : $ICC = 0,91, p < 0,05$ Delta du CP_{AP} : $ICC = 0,71, p < 0,05$ Pour les conditions EC, EOF et ECF : $0,35 \leq ICC \leq 0,92, p < 0,05$ sauf RMS_{AP} ECF $p > 0,05$ (Walsh et al., 2020) Comparé au FABS EO et EC, femmes avec un cancer du sein traitées par taxanes : Vitesse CP : $0,52 \leq r \leq 0,58, p < 0,05$ (Wampler et al., 2007) Femmes avec un cancer du sein traitées par taxanes vs. contrôles Vitesse CP : validité discriminante entre deux groupes différents, $p < 0,05$ (Wampler et al., 2007) Personnes jeunes vs. plus âgées : Surface : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Vitesse CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Delta du CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Vitesse_{AP} CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Vitesse max_{AP} CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Delta du CP_{AP} : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Variance_{AP} CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Vitesse_{ML} CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$	Intra-évaluateur, femmes ayant un cancer du sein, traitées par taxanes en condition EO : Vitesse CP : $ICC = 0,62$ En condition EC : Vitesse CP : $ICC = 0,96$ (Wampler et al., 2007) Test-retest, jeunes adultes : Vitesse CP : $ICC = 0,84$ [IC 95% 0,55 – 0,95] Vitesse max CP : $ICC = 0,80$ [IC 95% 0,29 – 0,94] Delta CP : $ICC = 0,88$ [IC 95% 0,55 – 0,96] Surface CP : $ICC = 0,94$ [IC 95% 0,81 – 0,98] Vitesse CP_{ML} : $ICC = 0,76$ [IC 95% 0,22 – 0,94] Vitesse max CP_{ML} : $ICC = 0,86$ [IC 95% 0,42 – 0,95] Delta CP_{ML} : $ICC = 0,76$ [IC 95% 0,59 – 0,83] Variance CP_{ML} : $ICC = 0,85$ [IC 95% 0,65 – 0,93] RMS_{ML} : $ICC = 0,83$ [IC 95% 0,62 – 0,93] Vitesse CP_{AP} : $ICC = 0,83$ [IC 95% 0,44 – 0,94] Vitesse max CP_{AP} : $ICC = 0,80$ [IC 95% 0,29 – 0,94] Delta CP_{AP} : $ICC = 0,87$ [IC 95% 0,51 – 0,95] Variance CP_{AP} : $ICC = 0,82$ [IC 95% 0,52 – 0,90] RMS_{AP} : $ICC = 0,70$ [IC 95% 0,19 – 0,89] (Pinsault, 2009; Pinsault & Vuillerme, 2009) Inter-évaluateurs, population mixte (adultes, AVC, neuropathie diabétique) en conditions EO et EC : Vitesse CP : $0,78 \leq ICC \leq 0,93$ (Corriveau et al., 2001)

	Vitesse max_{ML} CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Delta du CP_{ML} : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ Variance_{ML}, CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ RMS_{ML} CP : validité discriminante entre deux groupes d'âge différents, $p < 0,01$ (Pinsault, 2009)	
Limites de stabilité	<i>Comparé au test de portée multidirectionnelle, adultes de 23 à 73 ans :</i> Avant : $r = 0,35, p > 0,05$ Arrière : $r = 0,16, p < 0,01$ Gauche : $r = 0,64, p < 0,01$ Droite : $r = 0,75, p < 0,01$ <i>Alpha de Cronbach = 0,87 entre LOS et test de portée multidirectionnelle</i> (Holbein-Jenny et al., 2007)	<i>Intra-évaluateur, étudiants :</i> $ICC = 0,86$ [IC 95% n.p.] (Juras et al., 2008)
Test de 6 min	<i>Comparé à la VO₂ pic, personnes ayant un cancer :</i> $r = 0,67, p < 0,01$ (K. Schmidt et al., 2013) <i>Comparé au test de 10 m, personnes ayant un cancer :</i> $r = 0,68, p < 0,01$ <i>Comparé au 30STS :</i> $r = 0,41, p < 0,01$ (Eden et al., 2018)	<i>Test-retest, personnes ayant un cancer :</i> $r = 0,93$, [IC 95% 0,86 - 0,97], $p < 0,01$ (K. Schmidt et al., 2013) <i>Test-retest, personnes ayant un cancer :</i> $ICC = 0,96$, [IC 95% 0,91 - 0,98], $p < 0,01$ (Eden et al., 2018)
Test de 2 min	<i>Comparé au TM6, adultes :</i> $r = 0,97, p < 0,01$ (Bohannon et al., 2014) <i>Comparé au TM6, personnes âgées :</i> $r = 0,93, p = \text{n.p.}$ (Connelly et al., 2009)	<i>Test-retest, adultes :</i> $ICC = 0,89$ [0,81 - 0,93] (Bohannon et al., 2014) <i>Test-retest, personnes âgées :</i> $ICC = 0,94 - 0,95$ [IC 95% 0,88 - 0,9] <i>Intra-évaluateur, personnes âgées :</i> $ICC = 0,94 - 0,96$ [IC 95% 0,87 - 0,91] <i>Inter-évaluateurs, personnes âgées :</i> $ICC = 0,96$ [IC 95% 0,90 - n.p.] (Connelly et al., 2009)

Test de 10 m	Comparé au TM6, personnes ayant un cancer de la tête et du cou : $r = 0,68, p < 0,01$ Comparé au 30STS : $r = 0,32, p < 0,05$ (Eden et al., 2018)	Test-retest, personnes ayant un cancer de la tête et du cou : $ICC = 0,94, [IC\ 95\% 0,89 - 0,97], p < 0,01$ (Eden et al., 2018)
Physilog	Comparé au GAITRite, adolescents : Longueur du pas : $CCC = 0,98 [0,96 - 0,99]$ Vitesse du pas : $CCC = 0,98 [0,96 - 0,99]$ (Carroll et al., 2022)	Intra-évaluateur, adultes : Vitesse : $ICC = 0,91 [0,73 - 0,96]$ Cadence : $ICC = 0,83 [0,66 - 0,92]$ Longueur du pas : $ICC = 0,97 [0,91 - 0,99]$ Temps en double appui : $ICC = 0,88 [0,70 - 0,95]$ (Soulard et al., 2021)
Times Up and Go	Comparé à l'ABC-scale-6, personnes ayant un cancer, différents types de cancer : $r = -0,54, p < 0,01$ Comparé au SOT : $r = -0,48, p = n.p.$ Comparé à la vitesse du CP en condition EC : $r = 0,50, p = n.p.$ (M. H. Huang et al., 2019) Comparé au 5STS, personnes ayant eu un AVC, phase chronique : $0,51 \leq ICC \leq 0,74, p \leq 0,01$ Comparé au BBS : $-0,63 \leq ICC \leq -0,53, p \leq 0,01$ (P. P. Chan et al., 2017)	Intra-évaluateur, personnes ayant un cancer du sein : $ICC = 0,88 [IC\ 95\% n.p.]$ (Wampler et al., 2007)
Single Leg Stance Test	Comparé au BBS, personnes avec une arthroplastie totale du genou : $r = 0,70, p < 0,01$ (Sarac et al., 2022) Comparé au BBS, personnes ayant eu un AVC, membre inférieur non parétique : $0,77 \leq r \leq 0,79, p < 0,01$ (Flansbjerg et al., 2012)	Test-retest, personnes avec une arthroplastie totale du genou : $ICC = 0,72 [0,47-0,85]$ (Sarac et al., 2022) Test-retest, personnes ayant eu un AVC, membre inférieur non parétique : $ICC = 0,88 [0,79 - 0,94]$ (Flansbjerg et al., 2012)
Force de préhension Camry	Comparé au Jamar, personnes hospitalisées : $r = 0,94, p < 0,01$	Test-retest, adultes consultant dans une clinique de physiothérapie :

	(Lupton-Smith et al., 2022) <i>Comparé au Jamar, personnes âgées :</i> $r = 0,95, p < 0,01$ (Andrade et al., 2023) 11.03.25 13:05:00	$0,91 \leq ICC \leq 0,97$ [IC 95% n.p.] (Mani et al., 2019)
TNSm	<i>Comparé au TNS, personnes ayant un cancer du sein :</i> $r = 0,99, p < 0,01$ <i>Comparé au SOT :</i> $r = -0,64, p < 0,01$ <i>Comparé au TUG :</i> $r = 0,65, p < 0,01$ <i>Comparé au FACT-tax :</i> $r = -0,62, p < 0,01$ (Wampler et al., 2006)	<i>Intra-évaluateur :</i> TNS : $ICC = 0,99$ [IC 95% n.p.] <i>Inter-évaluateurs, personnes avec et sans diabète :</i> TNS : $ICC = 0,97$ [IC 95% n.p.] (Cornblath et al., 1999)
FACT/GOG-Ntx	<i>Comparé à l'échelle NCI-CTC, personnes ayant un cancer gynécologique traitées par une chimiothérapie neurotoxique :</i> $0,60 \leq r \leq 0,76$ (H. Q. Huang et al., 2007) <i>Comparé au questionnaire EORTC QLQ-CIPN20, personnes traitées par une chimiothérapie neurotoxique :</i> $0,79 \leq r \leq 0,93, p < 0,01$ (H. L. Cheng et al., 2020) FACT validé en français (Bonomi et al., 1996)	<i>Test-retest, quatre items version coréenne du Ntx, personnes ayant un cancer gynécologique :</i> $ICC = 0,84$ [IC 95% n.p.] (M. Lee et al., 2019) <i>Cohérence interne, personnes ayant un cancer gynécologique traitées par une chimiothérapie neurotoxique :</i> $0,80 \leq \alpha \text{ de Cronbach} \leq 0,89$ (H. L. Cheng et al., 2020; H. Q. Huang et al., 2007)
FACT-taxane	<i>Comparé au FACT-G, personnes ayant un cancer du poumon :</i> Items Ntx: $r = 0,30, p < 0,05$ Items Tax: $r = 0,32, p < 0,05$ (Cella et al., 2003) FACT validé en français (Bonomi et al., 1996)	<i>Cohérence interne, personnes ayant un cancer du poumon :</i> FACT-G = $0,86 \leq \alpha \text{ de Cronbach} \leq 0,88$ FACT-Ntx = $0,82 \leq \alpha \text{ de Cronbach} \leq 0,86$ FACT-tax = $0,84 \leq \alpha \text{ de Cronbach} \leq 0,88$ (Cella et al., 2003)
ABC scale version courte	<i>Comparé à la version longue, personnes présentant des troubles de la marche :</i> $ICC = 0,88$ [IC 95% n.p.]	<i>Cohérence interne, personnes présentant des troubles de la marche :</i> $\alpha \text{ de Cronbach} = 0,81$

	Sensibilité = 91 % Spécificité = 93 % (Peretz et al., 2006)	(Peretz et al., 2006)
Distress thermometer	<i>Personnes ayant un cancer, différents types de cancer :</i> Sensibilité = 83 % Spécificité = 68 % Validé en français (Donovan et al., 2014)	<i>Test-retest, personnes ayant un cancer, différents types et stades de cancer :</i> $r = 0,80, p < 0,01$ (Tang et al., 2011)
Chalder	<i>Adultes :</i> Sensibilité = 76 % Spécificité = 75 % (Chalder et al., 1993)	<i>Adultes :</i> Cohérence interne : <i>Alpha de Cronbach</i> = 0,89 (Chalder et al., 1993)
MFI-20	<i>Comparé à l'EVA, patients consultants à un centre de fatigue :</i> Validé en français $0,29 \leq r \leq 0,83, p < 0,001$ (Gentile et al., 2003)	<i>Patients avec cancer sous radiothérapie :</i> Cohérence interne : <i>Alpha de Cronbach</i> = 0,80 (Smets et al., 1996)
EVA fatigue	<i>Comparé au domaine vitalité de la SF-36, patients atteints d'arthrite psoriasique :</i> $r = -0,66 (-0,71 - -0,60), p = \text{n.p.}$ (Gladman et al., 2020)	<i>Test-retest, personnes atteintes de polyarthrite rhumatoïde :</i> $ICC = 0,83, p < 0,01$ (Renskers et al., 2018)

Annexe 1. Qualité des outils et échelles utilisées dans les différentes études. ABC scale = activities-specific balance confidence scale, AP = antéro-postérieur AVC = accident vasculaire cérébral, BBS = berg balance scale, CCC = coefficient de concordance de Lin, CIPN = neuropathies induites par chimiothérapie, CP = centre de pression, EC = yeux fermés, EO = yeux ouverts, EORTC = european organisation for research and treatment of cancer, EVA = échelle visuelle analogique, F = mousse, FABS = fullerton advanced balance scale, FACT = functional assessment of cancer therapy, G = general, GOG-Ntx = gynecologic oncology group-neurotoxicity, IC 95% = intervalle de confiance à 95%, ICC = indice de corrélation intra-classe, LOS = limites de stabilité, m = modifié, MFI-20 = multidimensional fatigue inventory 20, ML = médio-latéral, NCI-CTC = national cancer institute common toxicity criteria, n.p. = non précisé, Ntx = neurotoxicity, QLQ = quality of life questionnaire, r = coefficient de corrélation de Pearson, RMS = moyenne quadratique, SF = short form, SOT = sensory organization test, STS = sit to stand, tax = taxane, TM6 = test de marche de 6 min, TNS = total neuropathy score, TUG = timed up and go, VO_2 = consommation d'oxygène

Annexe 2. Études évaluant l'influence de la chimiothérapie sur le contrôle postural des personnes atteintes de cancer

Auteur principal, année, pays	Population	Évaluations	Conditions du test d'équilibre	Résultats
Études transversales sans distinction CIPN				
Wampler 2007	20 femmes traitées par taxanes pour un cancer du sein ($50,35 \pm 9,34$ ans)	Eq. sur plateforme de force, SOT, TUG, FABS, vision (test d'inclusion)	4 conditions : EO/EC, tête en arrière/droite	Altération éq. quasi-statique et dyn vs. contrôle (SOT score composite), $p < 0,01$
Etats-Unis	20 femmes contrôles appariées sur le poids, la taille et l'âge ($49,60 \pm 9,08$ ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Vitesse et longueur du CP Test dans les 4 semaines post TTT	+ SOT 6 conditions : EO, EC, environnement visuel mouvant (altération de la vision), surface mouvante (altération somatoproprioceptive) 3 x 30 s 100Hz, filtre Butterworth 4 ^e ordre passe-bas, cut-off 5Hz	Vitesse moyenne CP augmentée dans les 4 conditions de test vs. contrôles, $p = 0,01$ Vitesse moyenne augmentée EC vs. EO, Cohen $d = 1,33$ vs. 1,01 FABS corrélation modérée avec SOT $r = 0,58$, $p < 0,01$ et CP $0,1 \leq r \leq 0,3$, $p < 0,05$ TUG corrélation modérée avec CP EO tête arrière et EC, $0,1 \leq r \leq 0,4$, $p < 0,05$
Winters-stones 2011	59 femmes traitées par n.s. pour un cancer du sein ($58 \pm 9,70$ ans)	Score composite d'éq., SOT, masse musculaire DEXA, force 1RM, puissance temps escaliers, vitesse de marche, 5STS, chutes, évaluation de la vision	6 conditions SOT Hz n.s.	Chute chez 58 % Altération éq. quasi-statique dans condition sollicitant système vestibulaire chuteuses vs. non chuteuses, $p < 0,01$. Chuteuses mettent plus de temps à lire (test de lettre, sensibilité au contraste) vs. non chuteuses, $p < 0,05$
Etats-Unis	Séparées entre chuteuses et non chuteuses	Test dans les 2 ans post TTT		
Niederer 2014	21 personnes traitées par platines, platines + taxanes ou autre chimiothérapie pour différents cancers (n.s.) ($50,90 \pm 7$ ans)	Eq. sur plateforme de force, EORTC-QLQ-C30, auto-questionnaire sur histoires de chute, FES-1, force max quad, vitesse de marche	2 conditions : EO/EC 3 x 90 s avec 2 min de repos 30Hz	Altération éq. quasi-statique vs. contrôles, $p < 0,05$ Sensation subjective par rapport chute et fonction (eq., force, vitesse de marche) moins bonnes chez patients vs. personnes appariées du même âge, $p < 0,05$ Histoire de chute identique, $p = n.s.$ Eq. quasi-statique identique aux contrôles de 20 ans de plus, $p = n.s.$ mais légèrement meilleure force et vit. de marche, $p < 0,05$
Allemagne	24 contrôles appariés sur l'âge ($52,90 \pm 7$ ans) 24 contrôles avec 20 ans de plus ($69,80 \pm 3,30$ ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Surface du CP ML et AP Test chez des patients encore sous traitement ou dans la première année post TTT		

Schmitt 2017 Etats-Unis	34 personnes traitées par n.s pour différents cancers (sein > colon > lymphome > autres) (54,13 ± 13 ans) 34 personnes contrôles appariées sur l'âge (54,13 ± 15 ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Eq. sur plateforme de force Moyenne quadratique AP et ML, vitesse moyenne et surface du CP Participants sous TTT (chimio ou radio, 21 %) ou post TTT	4 conditions : EO/EC, surface ferme/mousse 30 s 100Hz Filtre Butterworth 4° ordre passe-bas, cut-off 5Hz	Altération éq. quasi-statique particulièrement en ML vs. contrôles, $p \leq 0,01$ Altération éq. quasi-statique sur surface mousse + EC > surface mousse EO chez tous les participants (RMS_{AP} , vitesse, surface), $p < 0,01$ Augmentation de la fréquence quand EC chez tous les participants, $p < 0,01$
Herman 2017 Etats-Unis	7 personnes traitées par taxanes ou platines pour des cancers du sein ou gastro-intestinal 4 personnes contrôles ayant un cancer du sein ou gastro-intestinal qui ne recevaient pas de chimiothérapie Age de tous les participants : 56,50 ± 14,50 ans Article non disponible, possible manque de calcul taille d'échantillon	Eq. sur plateforme, EORTC QLQ-CIPN20 Moyenne quadratique CP ML Test dans les 6 semaines post TTT	1 condition : EC	Altération éq. quasi-statique vs. contrôles, $p < 0,01$ Score EORTC diminué : diminution sensibilité, $p < 0,01$
Morishita 2018 Japon	19 personnes traitées par n.s. pour différents cancers (sein > leucémie, colorectal) (51,50 ± 11,20 ans) 14 personnes contrôles (47,40 ± 14 ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Eq. sur plateforme de force, force préhension, force quad, TUG, vitesse de marche Surface, longueur/surface CP Test 2116 ± 1566 jours depuis diagnostic	2 conditions : EO/EC 1 x 30 s 20Hz	Altération éq. quasi-statique EO (surface augmentée, longueur/surface diminuée) vs. contrôles, $p \leq 0,02$ Altération éq. quasi-statique EC (longueur/surface diminuée), $p \leq 0,03$ Altération force préhension, TUG vs. contrôles, $p \leq 0,01$ TUG corrélé à force préhension, $-0,64 \leq r \leq -0,74$, $p < 0,05$ Eq. pas corrélé à force, $r = \text{n.s.}$, $p = \text{n.s.}$
Evans 2019 Etats-Unis	20 femmes traitées par taxanes et/ou platines, cyclophosphamide, doxorubicin pour un cancer du sein (55 ans, [IC 95% 51–59])	SOT, SLS, TUG, FABS Test dans 0 à 5 ans post TTT	6 conditions SOT Hz n.s.	Altération éq. quasi-statique dans conditions avec surface stable EC ou vision altérée vs. contrôles, $p \leq 0,01$ SLS identique vs. contrôles, $p = 0,13$ Altération TUG et FABS vs. contrôles, $p < 0,02$

	23 contrôles sains (51 ans, [IC 95% 47–54]) Calcul de taille d'échantillon semble avoir été fait a posteriori			Ajout tâche cognitive ne perturbe pas, sauf dans condition EO sol rigide, $p = 0,01$. Pas de différence avec groupe contrôle, $p \geq 0,05$
Études transversales avec distinction CIPN				
Kneis 2016 Allemagne	20 femmes traitées par taxanes pour un cancer du sein ayant développé une CIPN 16 contrôles sains appariés sur le genre, l'âge, le poids, la taille Age toutes les participantes : 48 ans (min-max : 39 – 55 ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Eq. sur plateforme de force, EMG soléaire, gastro, tibial ant, droit fémoral, biceps fem, calcul de l'index de co-contraction, réflexe H = excitabilité et sensibilité réflexe spinal, Neuropathy Deficit Score, ROM cheville genou, FACT&GOG-Ntx Longueur CP Test dans les 5,20 ± 4,40 mois post TTT	2 conditions : EO, uni/bipodal 1 x 30 s 1' de pause entre les essais 50Hz	Altération éq. quasi-statique unipodal vs. contrôles $p = 0,01$ Eq. quasi-statique bipodal identique vs. contrôles, $p = 0,38$ CP corrélé modérément à l'index de co-contraction $r = 0,68$, $p = 0,00$ et faiblement aux symptômes rapportés de CIPN, $r = -0,38$, $p < 0,03$ CP corrélé modérément au nombre de cycles de chimio, $r = 0,48$, $p = 0,04$ CP et index de co-contraction faiblement corrélés aux altérations électrophysiologiques $r = n.s.$, $p = n.s.$
Monfort 2019 Etats-Unis	14 personnes traitées par taxanes ou platines pour des cancers du sein et colorectal Séparées en 2 groupes : sans CIPN à CIPN légère (55,90 ± 9 ans) et CIPN modérée à importante (50 ± 15 ans) 6 personnes contrôles ayant un cancer du sein sans TTT chimiothérapie (59,30 ± 9,60 ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Eq. sur plateforme de force Surface, RMS ML, vitesse moyenne, vitesse moyenne ML du CP Test dans les 6 semaines post TTT environ	7 conditions : EO, surface dure, tête droite EC, surface dure, tête droite, EO, surface mousse, tête droite EC, surface mousse, tête droite EO, surface dure, tête en arrière EC, surface dure, tête en arrière, EC, surface mousse, tête en arrière Ordre aléatoire sauf tête en arrière en dernier 3 x 30 s 1000Hz puis filtre 20Hz	Altération éq. quasi-statique EO chez CIPN+ et CIPN- vs. contrôles, $p < 0,05$ Altération éq. quasi-statique EO et EC CIPN + vs. CIPN-, $p < 0,05$ Altération éq. quasi-statique EC CIPN+ vs. contrôles Pas de différence sur mousse EO, $p > 0,05$ Principales altérations EC sol stable CIPN+ vs. contrôles Plus de perturbations sur mousse EC, plan ML, tête en arrière chez CIPN+ Altération éq. quasi-statique lié à déficit sensorimoteur
Études transversales n'utilisant pas la mesure du centre de pression				

Vasquez 2014 Irlande	29 personnes traitées par taxanes, vinca alcaloïdes ou platines pour des cancers du sein, colorectal, poumon, œsophage, gastrique, gynécologique, testicules, lymphome entre 31 et 74 ans, pas de contrôles	TNS-m, TUG, BBS, FACT-GOG/Ntx Encore sous TTT		Pas de corrélations entre BBS ($r = 0,29, p = 0,13$), TUG ($r = 0,14, p = 0,48$) et neuropathies Que de légères perturbations fonctionnelles
Winters-stones 2016 Etats-Unis	462 femmes survivantes du cancer traitées par n.s. pour un cancer du n.s. séparées en CIPN+ et CIPN- 62 ± 6 ans Article non disponible	Séparées en CIPN+ et CIPN- sur la base de test de force (leg press, temps resté en chaise, physical performance battery, vitesse de marche, nombre de pas, largeur pas, fonction et handicap subjectifs, chutes dans le passé) Test 5,80 ± 4,10 ans post diagnostic		Altération fonction, paramètres du pas, chutes chez CIPN+ vs. CIPN-, $p < 0,05$ Pas de différence force entre CIPN+ et CIPN-, $p = \text{n.s.}$
Bahcaci 2019 Turquie	32 personnes traitées par n.s. pour un cancer du sein (47,50 ans, min – max : 31 à 63 ans)	SLS, double leg stance, tandem leg stance, Romberg test, STS, TUG, MMSE 4 évaluations : avant la chimiothérapie et après chaque cycle de trois semaines	7 conditions : Romberg = EC pieds serrés, 10 s SLS, double leg stance, tandem leg stance : EO/EC, 20 s Accéléromètre positionné sur la région lombo-sacrée	Pas de différence Romberg vs. baseline, $p > 0,05$ Différence SLS, tandem leg stance EO et EC vs. baseline, $p < 0,05$ Pas de différence double leg stance EO et EC vs. baseline, $p > 0,05$ Différence TUG vs. baseline, $p < 0,05$ Différence STS vs. évaluation après 3 ^{ème} cycle, $p < 0,05$
McCary 2019 Australie	190 personnes traitées par platines, taxanes, alcaloïdes de la pervenche, inhibiteur du protéasome (bortézomib), immunosuppresseurs (thalidomide, lenalidomide) pour différents cancers (sein > colorectal > lymphome > autres), 57 ± 13 ans Séparées en CIPN+ et CIPN- Pas de calcul de taille d'échantillon	Eq. via un swaymeter (capteur portatif), TNS-C, EORTC-QLQ-CIPN20, CIPN Rasch-built Overall Disability Scale Longueur CP Test dans les 3 mois à 5 ans post TTT	4 conditions : EO/EC, surface dure/mousse 30 s	Altération éq. quasi-statique vs. CIPN-, $p < 0,01$ Fonction altérée vs. CIPN-, $p < 0,01$ Augmentation sévérité CIPN = augmentation troubles fonction
Zahiri 2019 Etats-Unis	84 personnes traitées par platines, vinca alcaloïdes, taxanes, inhibiteurs du protéasome et interférons pour un	Paramètres de marche, éq. par senseurs inertiels Test de seuil de sensibilité vibratoire	Senseurs inertiels sur cheville, tibia, cuisse, lombaires	Altération éq. quasi-statique vs. contrôles (oscillations ML) EO, $p < 0,01$

	cancer du poumon > myélome > colorectal > sein (71,10 ± 9,70 ans) 54 contrôles sans cancer matchés sur l'âge (69,50 ± 9,80 ans) Groupes patients séparés en CIPN+ et CIPN- en fonction du test de seuil vibratoire Pas de calcul de taille d'échantillon	Encore en TTT ou post TTT	2 conditions : EO/EC, pieds serrés 30 s Surface	Altération éq. quasi-statique vs. contrôles (oscillations hanches et chevilles) EC, $p < 0,01$ Altération paramètres de marche chez cancer vs. contrôles, $p \leq 0,02$ Augmentation oscillations chevilles EC chez CIPN+ vs. CIPN-, $p \leq 0,01$
Fino 2019 Etats-Unis	434 femmes traitées par n.s. pour un cancer du sein > colon > gynécologique > lymphome > poumon > autres (62,50 ± 6,40 ans) 49 contrôles (63,30 ± 6,90 ans) Groupes patients séparés en CIPN+ et CIPN- en fonction du FACT/GOG-Ntx Pas de calcul de taille d'échantillon mais N important	Senseur inertiel bas du dos mesurant oscillations AP-ML et moyenne des deux, symptômes rapportés CIPN, chutes dans les 6 mois, FACT&GOG-Ntx questionnaire Test dans les 61 ± 51,50 mois post TTT	1 condition : EO PC1 = magnitude oscillation PC2 = augmentation secousse et fréquence AP PC3 = diminution oscillations et augmentation fréquences ML 39 s, MS long du corps	Augmentation score PC1 vs. contrôles, $p < 0,01$ Diminution PC3 vs. contrôles, $p < 0,01$ Pas de différence PC2 vs. contrôles, $p = 0,50$
Études longitudinales				
Monfort 2016 Etats-Unis	32 personnes traitées par taxanes pour un cancer du sein (1 homme) (47,60 ± 11,20 ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Eq. sur plateforme de force, FRT, limites de stabilité Surface, moyenne quadratique de la longueur, vitesse moyenne du CP 5 temps de mesure : 1 avant = baseline, 3 avant chaque nouveau cycle de chimiothérapie, 1 1 à 3 mois post TTT	2 conditions : EO / EC 30 s 50 et 1000Hz Filtre Butterworth 4^e ordre passe-bas, cut-off 20 Hz	Altération éq. quasi-statique dès 3^{ème} temps de mesure EO vs. baseline (augmentation surface, moyenne quadratique CP, $p < 0,05$) Pas de différence de vitesse moyenne du CP EO vs. baseline Altération éq. quasi-statique dès 2^{ème} temps de mesure EC vs. baseline (augmentation surface, moyenne quadratique, vitesse moyenne CP, $p < 0,05$) Instabilités planaires, AP et ML
Monfort 2017 Etats-Unis	33 personnes traitées par taxanes pour un cancer du sein (47,80 ± 11,20 ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Eq. sur plateforme de force, EORTC QLQ-CIPN20, EORTC QLQ-C30, Brief Pain Inventory short, vitesse de marche au test sur 10 m	1 condition : EC 30 s 50 et 1000Hz	Altération éq. quasi-statique différents temps de mesure vs. baseline (augmentation RMS, $p < 0,01$) Diminution longueur du pas et vitesse de marche vs. baseline, $p < 0,01$

		Moyenne quadratique, moyenne quadratique ML	Filtre Butterworth 4 ^e ordre passe-bas, 20 Hz	Augmentation symptômes douleurs, sensoriel, moteur, autonome vs. baseline, $p \leq 0,04$
		5 temps de mesure : idem Monfort 2016		Symptômes sensoriels corrélés à augmentation RMS ($r = -0,51$, $p = 0,01$)
Müller 2020 Allemagne	35 personnes traitées par taxanes > taxanes et platines > platines > combinaison de taxanes > vinca-alcaloïdes pour des cancers du sein > pancréas > rectal et ORL (51 ans, fourchette 38–73 ans) 35 contrôles matchés sur l'âge, la taille et le poids (53 ans, min – max : 37–72 ans) Pas de calcul de taille d'échantillon	Eq. sur plateforme de force, TNS réduit, SLS, EORTC-CIPN20, fear of falling, activité physique (questionnaire créé par les auteurs) Vitesse moyenne AP et ML, surface, fréquence moyenne AP et ML (mesures temporelles, spatiales et fréquentielles) du CP Test pré et 3 semaines post TTT	5 conditions : EO/EC bipodal/ semi-tandem/unipodal (sauf pour unipodal uniquement EO) 30 s 100Hz Filtre Butterworth 4 ^e ordre passe-bas, cut-off 5 Hz	Pas de différence éq. quasi-statique pré-chimio vs. contrôles ($p > 0,05$) excepté un paramètre Altération éq. quasi-statique post chimio vs. contrôles (augmentation 10/20 paramètres CP temporel et spatial, $p \leq 0,04$) Altération éq. quasi-statique vs. baseline bipodal et semi-tandem (augmentation de 13/20 paramètres CP temporel et spatial, $p \leq 0,04$) Eq. quasi-statique identique en unipodal vs. baseline EO ($p = 0,19$) mais durée du SLS test diminue ($p = 0,02$) Eq. quasi-statique identique en unipodal vs. contrôles EO ($p > 0,08$) Eq. quasi-statique altéré EC vs. EO (augmentation vitesse, surface, $p \leq 0,04$ et pas fréquence, $p > 0,16$) Altération CMAP, SNAP, TNSr, TNSc vs. contrôles et vs. baseline, $p < 0,01$. Pas de différence de NCV, $p > 0,10$ Augmentation CIPN15 et FES-I vs. baseline et CIPN15 vs. contrôles, $p < 0,01$ Corrélations basses à modérées entre CIPN et CP ($0,05 \leq r \leq 0,45$, $p < 0,01-0,83$)

Annexe 2. Résumé des études transversales et longitudinales évaluant l'influence des chimiothérapies sur le contrôle postural. AP = antéro-postérieur, BBS = berg balance scale, c = clinique, CIPN = neuropathies induites par chimiothérapies, CMAP = potentiel d'action musculaire composé, CP = centre de pression, DEXA = dual energy x-ray absorption, EC = yeux fermés, EMG = électromyogramme, EO = yeux ouverts, EORTC-QLQ-C30 = questionnaire de l'organisation européenne pour la recherche et le traitement du cancer sur la qualité de vie, Eq. = équilibre, FABS = fullerton advanced balance scale, FACT = functional assessment of cancer therapy, FES-I = évaluation de la peur de chuter, FRT = test de portée fonctionnel, GOG-Ntx = gynecologic oncology group-neurotoxicity, IC 95% = intervalle de confiance à 95%, m = modifié, ML = médio-latéral, MMSE = test d'évaluation mental court, mini mental state examination test, NCV = vitesse de conduction nerveuse, PC = composante principale, r = coefficient de corrélation, RM = répétition maximale, RMS = moyenne quadratique, ROM = amplitude de mouvement, SLS = single leg stance, SNAP = potentiel d'action neuronal sensoriel, SOT = test d'organisation sensorielle, STS = sit-to-stand, TNS = total neuropathy score, TTT = traitement, TUG = timed up and go test, traductions libres

Annexe 3. Études évaluant les vitesses de marche et les corrélations entre le TM2 et le TM6 chez différentes populations

Population	Étude	TM6 (m/s)	TM2 (m/s)	Corrélation TM2-TM6 (Coefficient de corrélation)
Adultes en bonne santé générale (N = 330)	Bohannon et al., 2014	1,55	1,51	$r = 0,97$ ($p < 0,01$)
Adultes en bonne santé générale (N = 31)	Swanson et al., 2019	1,20	1,25	NS
Adultes en bonne santé générale (N = 74)	Roush et al., 2021	Homme 1,50 ; Femme 1,46	Homme 1,51 ; Femme 1,45	$r = 0,95$ ($p < 0,05$)
Personnes âgées (N = 16)	Connelly et al., 2009	0,65	NS	$r = 0,93$ (valeur p non rapportée)
BPCO (N = 45)	Leung et al., 2006	1,02	1,09	$r = 0,94$ ($p < 0,05$)
BPCO (N = 26)	Gloeckl et al., 2016	1,10	1,25	$r = 0,81$ ($p < 0,01$)
BPCO (N = 59)	Johnston et al., 2017	0,92	1,10	$r = 0,87$ ($p < 0,01$)
AVC (N = 18)	Kosak and Smith, 2005	NS	NS	$r = 1,00$ ($p < 0,01$)
Scléroses multiples (N = 50)	Gijbels et al., 2010 7,6 m, départ arrêté	1,14	1,20	$r = 0,94$ (valeur p non rapportée)
Scléroses multiples (N = 42)	Bennett et al., 2017	0,67	0,73	$r = 0,96$ ($p < 0,01$)
Scléroses multiples (N = 16 pour les valeurs, 28 pour les corrélations)	Scalzitti et al., 2018	Catégorie de maladie 1-2 : 1,06 Catégorie de maladie 3-4 : 0,85	Catégorie de maladie 1-2 : 1,17 Catégorie de maladie 3-4 : 0,96	$r = 0,95$ ($p < 0,01$)
Myosites sans moyens auxiliaires (N = 67)	Alfano et al., 2014	1,07	1,12	$r = 0,97$ ($p < 0,01$)
Pathologies neuro-musculaires (N = 115)	Andersen et al., 2016	1,13	1,19	$r = 0,99$ ($p < 0,01$)
Myasthénie grave (N = 31)	Salci et al., 2019	1,29	1,42	$r = 0,88$ ($p < 0,01$)
Enfants avec dystrophie congénitale myotonique (N = 37)	Pucillo et al., 2017 TM2 mesuré pendant le TM6	NS	0,76	$r = 0,98$ ($p < 0,01$)
Enfant avec pathologies neuro-musculaires (N = 77)	Witherspoon et al., 2019	1,23	1,24	$r = 0,90$ ($p < 0,01$)
Amputés des membres inférieurs (N = 86)	Reid et al., 2015	NS	NS	$r = 0,95$ ($p < 0,01$)
Fracture de compression vertébrale (N = 10)	Goda et al., 2019	0,67	0,69	$r = 0,95$ ($p < 0,05$)
Démence ou Alzheimer (N = 37)	Chan and Pin, 2019	0,54	0,52	$r = 0,93$ ($p < 0,01$)
Psychose (N = 50)	Vancamfort et al., 2019	1,08 basé sur la médiane	1,07 basé sur la médiane	$r = 0,69$ ($p < 0,01$)
Dépression (N = 50)	Vancamfort et al., 2020	1,10 basé sur la médiane	1,09 basé sur la médiane	$r = 0,94$ ($p < 0,01$)
Troubles de la consommation d'alcool (N = 50)	Vancamfort et al., 2021	1,33 basé sur la médiane	1,34 basé sur la médiane	$r = 0,91$ ($p < 0,01$)

Annexe 3. Vitesses de marche et corrélations entre le TM2 et le TM6 évaluées chez différentes populations dans les précédentes études. AVC = accident vasculaire cérébral, BPCO = bronchopneumopathie chronique obstructive, N = nombre de participants, NS = Non-spécifié, ns = non-significatif, r = coefficient de corrélation, TM6 = test de marche de 6 min, TM2 = test de marche de 2 min

Annexe 4. Études évaluant les effets d'un programme d'exercices sur le contrôle postural évalué par plateforme de force ou stabilométrique

Auteur principal, année, pays, design	Population	Paramètres évalués	Intervention	Résultats
Études interventionnelles à visées préventives évaluant le contrôle postural sur plateforme de force ou stabilométrique				
Streckmann 2014 Allemagne RCT Score PEDro : 7/11	N = 61 Personnes atteintes de lymphome traitées par n.p. 2 bras : intervention résistance, aérobie, exercices sensorimoteurs (44 ans min – max : 20–67) et contrôles (48 ans min – max : 19–73)	Outcome primaire : EORTC QLQ-C30 Outcomes secondaires : Sensibilité vibratoire Éq. quasi-statique sur plateforme de force : 3 x 20 s Sol rigide : EC bipodal, EO unipodal, sur mousse : EO bipodal, EO unipodal, longueur CP Stabilité dynamique sur plateforme Posturomed (plateforme mouvante) Step test incrémental Cahier à remplir des activités physiques réalisées Questionnaire sur le statut nutritionnel, anxiété, dépression, fonction cognitive Évalués à quatre moments : avant la chimiothérapie, après 12, 24 et 36 semaines	2x/semaine pendant 36 semaines Aérobie : vélo 60 % - 70 % FCmax puis 70-80 % ou marche de 10 à 30 min sur un tapis roulant Sensorimoteur : 3 séries de 4 ex de 20 s, repos 20 s et 1 min entre les ex Force : 4 ex 1 min à force maximale, remplacés pour les patients hospitalisés par un Thera-Band	Amélioration éq. unipodal surface rigide vs. contrôles ($p = 0,03$) Amélioration éq. unipodal surface mousse vs. contrôles ($p < 0,01$) Amélioration stabilité dynamique uni et bipodal vs. contrôles ($p < 0,01$) Amélioration EORTC vs. contrôles ($p = 0,03$) Amélioration sensibilité profonde vs. contrôles ($p < 0,01$) Amélioration activités physiques vs. baseline ($p = 0,02$) Entraînement sensorimoteur faisable et prometteur pendant traitement
Vollmers 2018 Allemagne	N = 36 Personnes atteintes de cancer du sein traitées par taxanes 2 bras : intervention exercices sensorimoteurs ($48,56 \pm 11,94$ ans),	Outcomes primaires : FABS Eq. quasi-statique sur plateforme de force, uni et bipodal, 20 s, surface CP	2x/semaine, durant 18 semaines pendant et après chimiothérapie Effort entre 13 et 15 RPE	Amélioration éq. quasi-statique uni et bipodal (CP et FABS) vs. contrôles ($p < 0,05$) Détérioration éq. quasi-statique contrôles vs. baseline ($p < 0,01$)

RCT Score PEDro : 5/11	informations sur l'activité physique (52,39 ± 10,14 ans)	Outcomes secondaires : Force de préhension au dynamomètre Force test lever de chaise EORTC QLQ-C30, CIPN20, BR23, MFI Évalués avant, post et six semaines post chimiothérapie		Amélioration de la force de préhension vs. contrôles ($p < 0,05$) Pas de différence test de lever de chaise vs. contrôles ($p = 0,48$) Pas de différence pour les scores PROMs vs. contrôles ($p = n.s.$)
Stuecher 2019 Allemagne RCT Score PEDro : 7/11	N = 44 (67,10 ± 7,80 ans) Personnes atteintes de cancer gastro-intestinal stade III-IV traitées par platines 2 bras : programme de marche à domicile, soins usuels	Outcome primaire : SPPB Outcomes secondaires : Eq. quasi-statique sur plateforme de force, 3 x 90 s avec 2 min de pause, longueur du CP Vitesse de marche Force extenseurs genoux Sensibilité profonde Composition corporelle Évalués avant et après chimiothérapie	3x/semaine, 2 – 3 semaines marche intensité modérée 20 min/session Augmentation à 150 min/semaine à intensité modérée Pédomètre pour mesurer pas 12 semaines en tout	Amélioration éq. quasi-statique vs. contrôles ($p < 0,01$) Amélioration % masse maigre, statut nutritionnel vs. contrôles ($p < 0,05$) Pas de différence SPPB vs. contrôles ($p = 0,36$) Pas de différence vitesse de marche vs. contrôles ($p = 0,48$) Pas de différence force vs. contrôles ($p = 0,75$) Pas de différence SPPB vs. contrôles ($p = 0,36$)
Bahar Ozdemir 2020 Turquie Essai contrôlé non randomisé	N = 60 Personnes atteintes de cancer colorectal > sein > poumon > estomac > ovaires > endomètre/col de l'utérus = pancréas = tête et cou traitées par oxaliplatine > paclitaxel > cisplatine > paclitaxel + carboplatine > paclitaxel + cisplatine = docetaxel + cisplatine = carboplatine 2 bras : intervention exercices sensorimoteurs + résistance (52,00 ±	Outcome primaire : BBS Outcomes secondaires : éq. quasi-statique sur plateforme de force, EO/EC, sol rigide/mousse, vitesse moyenne du CP SLS LOS STS painDETECT EORTC-QLQ-C30	5x/semaine pendant 10 semaines, 20 min Sensorimoteurs : 10 min ex, 2 min par ex (marche tandem, en arrière, sur le côté, franchissement d'obstacle, unipodal) Résistance : 10 min, 2 séries de 10, MI	Amélioration BBS vs. contrôles ($p = 0,05$) Amélioration éq. quasi-statique EO vs. contrôles ($p < 0,02$) Pas de différence autres conditions éq. quasi-statique vs. contrôles ($p > 0,05$) Pas de différence SLS et STS vs. contrôles ($p > 0,05$) Amélioration LOS (arrière-gauche, gauche pour la vitesse ; avant-droit et gauche pour le déplacement max du centre de

Score PEDro : 5/11	9,99 ans) et contrôles (53,58 ± 11,92 ans)	Évalués après le troisième cycle de chimiothérapie neurotoxique		gravité ; avant-droit, gauche et avant-gauche pour le pourcentage de l'excursion maximale) vs. contrôles ($p < 0,05$) Pas de différence autres conditions LOS vs. contrôles ($p > 0,05$) Moins de patients avec CIPN vs. contrôles ($p < 0,04$) Amélioration EORTC (santé générale, fonction physique, fonction émotionnelle) vs. contrôles ($p < 0,04$)
Müller 2021 Allemagne RCT Score PEDro : 8/11	N = 170 (53,30 ± 11,50 ans) Personnes atteintes de cancers du sein > pancréas > prostate, estomac > œsophage, colon > cerveau, ovaires > langue, rectum > anus, poumon, col utérus, vessie, traitées par taxanes, platines, vinca-alcaloïdes et combinaisons de plusieurs de ces agents 3 bras : intervention exercices sensorimoteurs, résistance, soins usuels	Outcome primaire : TNSr Outcomes secondaires : Eq. quasi-statique sur plateforme de force, EC, bipodal 30 s, vitesse moyenne du CP SLS test EO EORTC QLQ-CIPN15, EORTC QLQ-C30 Force à l'isocinétisme Dose relative de chimio Évalués avant, post 22 semaines, 36 semaines et 49 semaines chimiothérapie	Pendant 20 semaines Sensorimoteur : 3x/semaine pendant 35 min, ex réalisés 3 x 30 s, 30 s de pause entre les séries, basé sur difficulté subjective des patients, soit à la maison soit supervisé à l'hôpital Résistance : 2x/semaine pendant 45 min + 1x/semaine 15 min à domicile, 8 ex 70 – 80 % 1 RM	Analyses en ITT : pas de différences Analyses en per protocol : Pas de différence eq. quasi-statique vs. baseline ($p = 0,24$) Pas de différence eq. quasi-statique vs. autres groupes ($p > 0,05$) Pas d'amélioration SLS test vs. baseline ($p > 0,05$) mais amélioration vs. contrôles ($p < 0,05$) Pas de différences TNSr vs. contrôles ($p > 0,05$) Amélioration EORTC CIPN15 (exercices) vs. contrôles ($p = 0,04$) Amélioration force vs. contrôles ($p = 0,04$) Amélioration EORTC (fonction physique, fonction rôle, fatigue) exercices vs. contrôles ($p \leq 0,02$) Amélioration dose relative chimiothérapie (exercices) vs. contrôles ($p < 0,05$)
Streckmann 2024 Allemagne	N = 158 Personnes de 49,10 ans (min – max : 18 – 82 ans) atteintes de cancer hématologiques et colorectaux,	Outcome primaire : CIPN (CMAP, motricité distale latente, vitesse de conduction, onde F du nerf tibial, SNAP, sensibilité superficielle, vibratoire, réflexe, sens des positions, force MI)	2x/semaine pendant 12 à 24 semaines pendant 15 – 30 min Sensorimoteur : 4 ex 3 x 20 s, pause 40 s entre	Amélioration de l'incidence de la CIPN dans groupes interventions vs. contrôles (30 % et 41,20 % vs. 70,60 %, $p < 0,01$) Les patients traités par vinca alcaloïdes et réalisant le programme sensorimoteur en profitent le plus

RCT Score PEDro : 7/11	traitées par oxaliplatine et vinca alcaloïdes 3 bras : 55 participants intervention exercices sensorimoteurs, 53 participants intervention vibration, 50 contrôles avec cancer	Outcomes secondaires : FACT/GOG-Ntx Eq. semi statique sur plateforme de force : uni et bipodal, sol rigide et mousse, longueur du CP, 3 x 30 s EORTC-QLQ-CIPN20, EORTC-QLQ-C30, Pain-DETECT Freiburger Questionnaire d'activité physique Évalués avant-après l'intervention, 3 mois post TTT, plus si apparition CIPN ou chimiothérapie dure > 3 mois	chaque série et 3 min entre chaque ex Vibration : 4 séries de vibrations de 30 à 60 s, intervalle 18 – 35 Hz, 2 mm d'amplitude, repos 1 min entre les séries	Amélioration du contrôle postural en positions bipodal EO, EC, monopodal pour intervention sensorimoteur vs. contrôles ($p = n.p.$) Amélioration de la sensation de brûlure, de la douleur, des sensibilités superficielle et vibratoire vs. contrôles ($p = n.p.$) Amélioration de la force du MI vs. contrôles ($p = n.p.$) Amélioration de la mortalité et de la réduction de la dose de chimiothérapie vs. contrôles ($p = n.p.$)
Études interventionnelles à visées curatives évaluant le contrôle postural sur plateforme de force ou stabilométrique				
Camisuli 2016 Italie Essai non randomisé, non contrôlé	N = 7 (64 ans en moyenne) Personnes atteintes de cancer du sein > ovaires, colon, lymphome, vessie, traitées par taxanes et platines diagnostiquées avec CIPN, post TTT, en rémission 1 bras : intervention exercices sensorimoteurs à la marche	Outcome primaire : n.p. Outcomes secondaires : Éq. quasi-statique sur plateforme de force = Modified Clinical Test of Sensory interaction on balance : EO/EC, mousse, 3 x 30 s, vitesse du CP LOS Marche tandem Step up/over BBS Évalués avant, post chimiothérapie et fin TTT	3x/semaine 60 min durant 4 semaines 3 ex de 4 min = transfert de poids, marche tandem, enjambrer ou monter sur une marche Après fin chimio	Pas de différence CP EO et EC sol rigide vs. baseline ($p > 0,05$) Amélioration CP EO mousse vs. baseline ($p < 0,01$) Pas de différence CP EC mousse vs. baseline ($p = 0,06$) Amélioration LOS (vitesse, point excursion max, temps de réaction, contrôle directionnel vs. baseline ($p \leq 0,03$)) Amélioration vitesse marche tandem vs. baseline ($p = 0,01$) Pas de différence step up/over vs. baseline ($p > 0,05$) Amélioration BBS vs. baseline ($p < 0,01$)
Streckmann 2019 Allemagne	N = 40 30 personnes atteintes de cancer du sein > ovaires, colon, rectum, lymphome, adénocarcinome, poumon, pancréas, plasmocytose, myélome,	Outcome primaire : CIPN (sensibilité superficielle, vibratoire, sens des positions, force MI) Outcomes secondaires :	2x/semaine pendant 6 semaines Sensorimoteur : 4 ex 3 x 20 s, pause 40 s entre	Pas d'effet inter-groupe éq. quasi-statique ($p > 0,05$) Amélioration réflexes sensorimoteurs vs. contrôles ($p < 0,04$)

RCT pilote	traitées par taxanes, platines, vinca alcaloïdes diagnostiquées avec CIPN 10 personnes saines 4 bras de 10 personnes : intervention exercices sensorimoteurs (56 ans, min – max : 47–74), intervention vibration (59 ans, min – max : 51–69), contrôles avec cancer (59 ans, min – max : 49–70), contrôles sains (57 ans, min – max : 47–68)	FACT/GOG-Ntx Eq. semi statique sur plateforme de force : uni et bipodal, sol rigide et mousse, longueur du CP Conduction nerveuse (vitesse et amplitude CMAP, SNAPs) EORTC-QLQ-C30 Pain-DETECT Évalués avant et après l'intervention	chaque série et 1 min entre chaque ex Vibration : 4 séries de vibration de 30 à 60 s	Amélioration sensi vibratoire sensorimoteurs vs. contrôles ($p < 0,05$) Effet inter-groupes Pain-DETECT ($p = 0,04$) Pas d'effet inter-groupes FACT/GOG-Ntx ($p = 0,08$) Pas d'effet inter-groupes sensibilité superficielle, sens positionnel, conduction nerveuse, EORTC/QLQ-C30 ($p > 0,05$) Moins d'essais erreur dans groupe interventionnel vs. contrôle ($p = n.s.$) Entraînement sensorimoteur et vibration permettent de diminuer symptômes CIPN, sont faisables et sûrs Adhésion 97,5 %
Kneis 2019 Allemagne RCT	N = 50 (41 en ITT, 62 ans min – max : 44 – 82 et 37 en per-protocole 63 ans min – max : 44 – 82) Personnes atteintes de cancer du sein, gastro-intestinal, gynécologique, poumon, lymphome, myélome multiple traitées par n.p., diagnostiquées de CIPN post traitement (1 à 167 semaines post) 2 bras : intervention aérobie, intervention aérobie + exercices sensorimoteurs	Outcome primaire : éq. quasi-statique sur plateforme de force : semi-tandem EO, EC (outcome primaire), unipodal EO, 30 s, longueur du CP Outcomes secondaires : SLS test sol stable et instable Sensibilité vibratoire Puissance et hauteur de saut (Counter-movement jump) EORTC-30 CIPN20 et Ntx du FACT/GOG Évalués avant et après intervention	2x/semaine pendant 12 semaines Aérobic : 30 min sur vélo + équilibre 30 min (3 – 8 ex de 20 à 30 s avec augmentation difficulté) pour groupe éq Sensorimoteurs : 3 à 8 ex de 20 à 30 s, difficulté progressive : diminution base de sustentation, entrée visuelle, ajout tâche motrice/cognitive, ajout instabilité	Analyses en ITT : pas de différences Analyses en per-protocole : Amélioration éq. quasi-statique semi-tandem EO vs. baseline ($p < 0,02$) Amélioration éq. quasi-statique semi-tandem EO vs. contrôles ($p < 0,05$) Pas de différence semi-tandem EC, unipodal EC vs. baseline ou contrôles ($p > 0,05$) Pas de différence SLS test sol stable vs. baseline ou contrôle ($p > 0,05$) mais amélioration sol instable ($p < 0,01$) Pas de différence hauteur et puissance de saut vs. baseline et vs. contrôles ($p > 0,05$) Pas de différence sensibilité vibratoire vs. baseline et vs. contrôles ($p > 0,05$) sauf au-niveau de la patella ($p > 0,05$)

				Pas de différence EORTC-QLQ-C30 vs. baseline et vs. contrôles ($p > 0,05$) Amélioration CIPN20 vs. baseline ($p < 0,01$) Amélioration Ntx vs. baseline ($p < 0,02$) Pas d'amélioration VO₂ pic ($p > 0,05$) mais amélioration puissance max au CPET vs. baseline ($p < 0,03$) Ex d'équilibre améliore l'éq. quasi-statique chez les patients avec une bonne adhésion au TTT uniquement (eq. semi-tandem, unipodal sur surface instable) Les deux interventions sont potentiellement bénéfiques.
Kneis 2020 Allemagne Essai pilote contrôlé non randomisé	2 buts : transversal et interventionnel N = 23 8 personnes atteintes de myélome, cancer du sein, rectum, tumeur germinale, lymphome, traitées par bortezomib, carboplatin, cisplatine, paclitaxel, docetaxel, vincristine, diagnostiquées avec CIPN par EMG et clinique ($60,80 \pm 8,70$ ans) 15 contrôles matchés sur l'âge, la taille, le poids ($59,60 \pm 10,00$ ans) 2 bras : intervention aérobie + exercices sensorimoteurs et contrôles	Outcome primaire : eq. quasi-statique sur plateforme, 1 min EO/EC, RMS AP et ML, vitesse moyenne, fréquence CP oscillations spontanées et perturbées (plateforme mouvante) Outcomes secondaires : Réaction à la perturbation étendue et temps de la réponse (GAIN et PHASE) Position segments via caméra optoélectronique Évaluation avant et après TTT	2x/semaine pendant 12 semaines Aérobie : 30 min ex intensité modérée 75 – 80 % FCmax puis Sensorimoteur : 30 min 3 – 8 ex de 20 à 30 s avec augmentation difficulté	Pas de différence eq. quasi-statique vs. baseline ($p > 0,05$) Amélioration étendue et temps de réaction vs. baseline ($p < 0,01$) Différence position épaule-hanche plus importante vs. contrôles ($p < 0,02$) Plus grande différence entre les groupes dans direction AP pour RMS CIPN plus affectées par EC (RMS et vitesse moyenne plus importantes)

Annexe 4. Résumé des études interventionnelles évaluant les effets d'un programme d'exercices sur le contrôle postural évalué par plateforme de force ou stabilométrique. AP = antéro-postérieur, BBS = berg balance scale, BR = cancer du sein, CIPN = neuropathies induites par chimiothérapie, CMAP = potentiel d'action musculaire composé, CP = centre de pression, CPET = test d'effort cardio-pulmonaire, EC = yeux fermés, EMG = électromyogramme, EO = yeux ouverts, EORTC-QLQ-C30 = questionnaire de l'organisation européenne pour la recherche et le traitement du cancer sur la qualité de vie, Eq. = équilibre, FABS = fullerton advanced balance scale, FACT = functional assessment of cancer therapy, FC = fréquence cardiaque, GOG-Ntx = gynecologic oncology group-neurotoxicity, ITT = intention-to-treat, LOS = limites de stabilité, MFI = multidimensional fatigue inventory, MI = membre inférieur, ML = médio-latéral, N = nombre de participant, NS = non spécifié, PROM = patient-reported outcomes measures, r = réduit, RM = répétition maximale, RMS = moyenne quadratique, ROM = amplitude de mouvement, RPE = échelle de perception de l'effort, SLS = single leg stance, SNAP = potentiel d'action neuronal sensoriel, SOT = test d'organisation sensorielle, SPPB = short physical performance battery, STS = sit-to-stand, TNS = total neuropathy score, TTT = traitement, TUG = timed up and go test, VO₂ = consommation d'oxygène, traductions libres

Annexe 5. Lettre d'information aux patientes de l'étude observationnelle

Information aux patientes

Titre de l'étude

Effet des chimiothérapies sur l'équilibre statique, l'équilibre dynamique et la qualité de vie des femmes ayant un cancer gynécologique : étude prospective observationnelle

Promoteur : ce projet est organisé par la Haute École de Santé de Genève filière physiothérapie, en collaboration avec les Hôpitaux Universitaires de Genève.

Madame,

Nous vous proposons de participer à notre projet de recherche qui étudie l'effet de la chimiothérapie sur l'équilibre. Cette feuille d'information décrit le projet de recherche.

Information détaillée

1. Objectifs de l'étude

Nous nous intéressons à l'évaluation de l'équilibre avant et après chimiothérapie. Les chimiothérapies peuvent provoquer des douleurs, des fourmillements ou des diminutions de la sensibilité dans les pieds et les mains appelées neuropathies périphériques. Ces neuropathies périphériques peuvent diminuer les capacités d'équilibre debout et de ce fait, impacter le quotidien.

Cette étude doit nous permettre de :

Quantifier les perturbations de l'équilibre debout générées par la chimiothérapie et les neuropathies périphériques.

Évaluer l'effet des neuropathies sur la qualité de vie.

2. Sélection des personnes pouvant participer à l'étude

Dans le cadre de votre traitement au centre du sein, nous souhaiterions vous proposer de participer à notre étude. Pour cela, vous devrez être majeure et avoir moins de 65 ans, être sur le point de commencer une chimiothérapie, être en mesure de pouvoir donner votre consentement ainsi que de pouvoir marcher et tenir debout pendant une durée de 30 secondes.

Si vous souffrez de troubles de l'équilibre préexistants, d'une pathologie pouvant affecter l'équilibre (de diabète, de métastase cérébrale, de troubles vestibulaires, visuels non corrigibles ou de la sensibilité), si vous avez déjà été exposée à une chimiothérapie dans le passé ou si vous prévoyez de débiter une activité ciblée sur l'équilibre (yoga, tai-chi, physiothérapie, ...) dans les trois prochains mois, vous ne pourrez pas prendre part à l'étude. En effet, toute activité visant à améliorer l'équilibre comme le yoga pourrait influencer les résultats. De même, une pathologie préexistante altérant l'équilibre pourrait impacter les résultats, c'est pourquoi vous ne pourrez prendre part à l'étude dans ces cas-ci. Par ailleurs, si vous ne pouvez pas faire les tests pour différentes raisons comme par incapacité à comprendre les consignes, vous ne pourrez pas participer à l'étude également.

3. Informations générales sur l'étude

Cette étude, réalisée en Suisse (étude nationale), aura une durée totale de 24 mois. 37 participantes seront incluses. Les participantes seront recrutées dans le service d'oncologie des Hôpitaux Universitaires Genevois (service du Prof. XXX) au centre du sein.

Toutes les personnes incluses dans l'étude auront la même procédure de test et le même suivi.

Vous serez convoquée pour deux visites qui dureront environ 75 minutes. Les tests auront lieu avant le début de la chimiothérapie, puis après 12 semaines.

Les personnes qui en exprimeront le souhait pourront recevoir leurs résultats de manière individuelle.

Nous effectuons cette étude dans le respect des prescriptions de la législation suisse. Nous suivons, en outre, l'ensemble des directives reconnues au niveau international.

4. Déroulement pour les participants

Vous aurez rendez-vous, dans la mesure du possible, avant un autre rendez-vous médical pour éviter des déplacements. Vous effectuerez quatre tests : deux évaluant votre équilibre, un pour les neuropathies périphériques et un dernier sur votre qualité de vie.

Le premier test consistera à tenir l'équilibre debout yeux ouverts à deux pieds sur une plateforme de force. Une plateforme de force est une planche munie de capteurs de force permettant d'enregistrer les mouvements réalisés pour maintenir son équilibre. Vous devrez ensuite refaire le même test dans différentes conditions (yeux fermés, debout sur une mousse, avec une vibration sur les chevilles et en écrivant un SMS).

Le deuxième test évaluera votre capacité à vous pencher en avant, en arrière et sur les côtés en gardant l'équilibre.

Le troisième est un score permettant de connaître la sévérité des neuropathies périphériques. Il est composé d'un test de la sensibilité superficielle, de la sensibilité vibratoire, de la force, des réflexes profonds et d'un questionnaire de vos symptômes.

Le quatrième est un questionnaire à remplir sur votre qualité de vie. L'entièreté des tests ne devrait pas durer plus de 75 minutes.

Les tests seront réalisés par une physiothérapeute confirmée.

Vous aurez un temps de repos entre chaque test et pourrez prendre des pauses comme vous le souhaitez.

Vous effectuerez les tests d'équilibre dans un ordre spécifique prédéfini avant l'étude. L'ordre des tests sera tiré au sort afin que chacune ait sa propre séquence de test. Il diffèrera donc entre les participantes afin de prévenir une influence de la fatigue sur nos résultats.

Aucun examen et aucune mesure ne sont invasives ou douloureuses dans ce protocole.

Tous les tests auront lieu au centre du sein des Hôpitaux Universitaires Genevois (HUG).

Tableau synthétique du déroulement :

Phase	Tests	Durées	Total
Discussion	Discussion (histoire médicale, mode de vie)	10 minutes	75 minutes
Tests cliniques	Tests de neuropathie	25 minutes	
	Repos de 2 minutes		
	Équilibre debout avec yeux ouverts, yeux fermés, sur une mousse et avec une vibration sur les chevilles	30 minutes	
	Repos de 2 minutes		
	Équilibre dynamique	5 minutes	
	Questionnaire sur la qualité de vie	5 minutes	

Ces mêmes tests seront reproduits lors de la 2ème visite à 12 semaines.

Il se peut que nous devions vous exclure de l'étude avant le terme prévu. Cette situation peut se produire si vous n'arrivez pas à effectuer tous les tests (dégradation de l'état médical, fatigue excessive, ...).

5. Bénéfices pour les participants

Il n'y a pas de bénéfice individuel. Les bénéfices éventuels pourraient être le développement de prises en charge spécifiques (rééducation) pour les neuropathies périphériques.

6. Droits des participants

Vous devez prendre part à cette étude uniquement selon *votre* propre volonté. Si vous choisissez de ne pas participer ou si vous choisissez de participer et revenez sur votre décision pendant le déroulement de l'étude, vous n'aurez pas à justifier votre refus. Cela ne changera rien à votre prise en charge médicale habituelle. Vous pouvez à tout moment poser toutes les questions nécessaires au sujet de l'étude. Veuillez-vous adresser pour ce faire à la personne indiquée à la fin de la présente feuille d'information.

7. Obligations des participants

En tant que participante à l'étude, vous serez tenue :

de suivre les instructions de votre investigateur et de vous conformer au plan de l'étude (suivre scrupuleusement les consignes qui vous seront indiquées pour chaque test et respecter les temps de repos);

d'informer votre investigateur de l'évolution de la maladie et de lui signaler tout nouveau symptôme, tout nouveau trouble et tout changement dans votre état (pendant la journée et pendant chaque test).

8. Risques et contraintes pour les participants

Cette étude comporte les risques habituels liés aux tests de capacité physique (*p. ex.* fatigue, perte d'équilibre, chute). Vous serez toujours accompagnée d'une physiothérapeute qui veillera à limiter ces risques en restant à vos côtés et minimisera le risque de chute.

Vous ne devrez rien payer pour participer à l'étude.

9. Autres possibilités de traitement

Vous n'êtes pas tenue de participer à l'étude. Cette étude n'a pas pour objet l'évaluation d'un traitement, dès lors, elle ne modifie en rien votre prise en charge. Si vous décidez de ne pas prendre part à cette étude, votre traitement habituel continuera dans les conditions normales du service avec le même professionnalisme et la même attention pour vous prendre en charge le mieux possible.

10. Protection des données

Toutes les personnes impliquées dans l'étude sont tenues au secret professionnel.

Les données recueillies sont codées lors de leur collecte. Le codage signifie que tout ce qui permet de vous identifier (*p. ex.* le nom, l'adresse, le numéro de téléphone, l'adresse email, *etc.*) est remplacé par un code.

Le code reste en permanence au sein de l'institution/ de l'hôpital. Si des données doivent être transmises à d'autres institutions, elles sont toujours codées.

L'étude peut faire l'objet d'inspections sur place par la commission d'éthique qui l'a autorisée. Il se peut que le médecin-investigateur doive communiquer vos données personnelles et médicales pour les besoins de ces inspections. Les membres de la commission d'éthique sont soumis au secret professionnel.

Votre identité n'apparaîtra jamais sur Internet ou dans une publication.

Vous avez à tout moment le droit de consulter vos données

11. Retrait de l'étude

Vous pouvez à tout moment vous retirer de l'étude si vous le souhaitez. Les données médicales recueillies jusque-là seront tout de même analysées, ceci afin de ne pas compromettre la valeur de l'étude dans son ensemble.

Après l'analyse nous rendrons vos données anonymes, en effaçant définitivement le code les reliant à votre personne. Après cela, plus personne ne pourra savoir que ces données sont les vôtres.

12. Compensation des participantes

Si vous participez à cette étude, vous ne recevrez pour cela aucune compensation.

Votre participation n'aura aucune conséquence financière pour vous ou votre assurance maladie.

13. Réparation des dommages subis

L'organisme (promoteur) qui a initié l'étude et est en charge de sa réalisation est responsable des dommages que vous pourriez subir en relation avec les activités de recherche (*p. ex.* examens). Les conditions et la procédure sont fixées par la loi.

Si vous avez subi un dommage, veuillez-vous adresser à l'investigatrice de l'étude indiquée ci-dessous.

14. Financement de l'étude

L'étude est financée en partie par le fonds de recherche interne de la HES-SO, commission du domaine de santé. D'autres demandes de fonds seront réalisées.

15. Interlocuteur(s)

En cas de doute, de craintes ou d'urgences pendant ou après l'étude, vous pouvez vous adresser à tout moment à l'un des interlocuteurs suivants :

Investigateur :

Aline Reinmann

Assistante et étudiante en doctorat à la Haute École de Santé HEdS, filière physiothérapie

Adresse : XX

Tél : XX
Mail : XX

Collaborateurs :
Dr Bodmer et Dr Kössler, médecins adjoints, chefs d'unité en oncologie HUG
Tél : XX
Adresse : XX

Déclaration de consentement

Déclaration de consentement écrite pour la participation à un projet de recherche

Veuillez lire attentivement ce formulaire. N'hésitez pas à poser des questions lorsque vous ne comprenez pas quelque chose ou que vous souhaitez avoir des précisions.

Numéro BASEC de l'étude: (après soumission à la commission d'éthique compétente) :	2020-01639
Titre de l'étude : (titre scientifique et titre usuel)	Titre scientifique : Effet des chimiothérapies sur l'équilibre statique, l'équilibre dynamique et la qualité de vie des femmes ayant un cancer gynécologique : étude prospective observationnelle (Projet CIPN)
Institution responsable : (Promoteur avec adresse complète) :	Haute École de Santé de Genève Avenue de Champel 47 1206 Genève
Lieu de réalisation de l'étude:	Hôpitaux Universitaires Genevois (HUG), centre du sein, service d'oncologie
Investigatrice responsable du projet sur le site : (nom et prénom en caractères d'imprimerie) :	ALINE REINMANN
Participant / participante : (nom et prénom en caractères d'imprimerie) : Date de naissance :	

- Je déclare avoir été informée, par l'investigatrice responsable de cette étude soussignée, oralement et par écrit, des objectifs et du déroulement de l'étude ainsi que des effets présumés, des avantages, des inconvénients possibles et des risques éventuels.
- Je prends part à cette étude de façon volontaire et j'accepte le contenu de la feuille d'information qui m'a été remise sur l'étude précitée. J'ai eu suffisamment de temps pour prendre ma décision.
- J'ai reçu des réponses satisfaisantes aux questions que j'ai posées en relation avec ma participation à l'étude. Je conserve la feuille d'information et reçois une copie de ma déclaration de consentement écrite.
- J'accepte que mon médecin traitant soit informé de ma participation à l'étude.
- J'accepte que les spécialistes compétents du promoteur de l'étude, de la Commission d'éthique compétente, puissent consulter mes données brutes afin de procéder à des contrôles, à condition toutefois que la confidentialité de ces données soit strictement assurée.
- Je serai informée des découvertes ayant une incidence directe sur ma santé. Si je ne souhaite pas obtenir ces informations, j'en aviserai l'investigatrice.
- Je sais que mes données personnelles peuvent être transmises à des fins de recherche dans le cadre de ce projet uniquement et sous une forme codée.
- Je peux, à tout moment et sans avoir à me justifier, révoquer mon consentement à participer à l'étude, sans que cela n'ait de répercussion défavorable sur la suite de ma prise en charge.
- Je suis informée que la responsabilité civile de l'hôpital/institution couvre les dommages éventuels que je pourrais subir imputables au projet.

- Je suis consciente que les obligations mentionnées dans la feuille d'information destinée aux participants doivent être respectées pendant toute la durée de l'étude. La direction de l'étude peut m'en exclure à tout moment dans l'intérêt de ma santé.

Lieu, date	Signature de la participante

Attestation de l'investigatrice : Par la présente, j'atteste avoir expliqué à la participante la nature, l'importance et la portée de l'étude. Je déclare satisfaire à toutes les obligations en relation avec ce projet conformément au droit en vigueur. Si je devais prendre connaissance, à quelque moment que ce soit durant la réalisation du projet, d'éléments susceptibles d'influer sur le consentement de la participante à prendre part au projet, je m'engage à l'en informer immédiatement.

Lieu, date	Nom et prénom de l'investigatrice assurant l'information aux participants en caractères d'imprimerie. Signature de l'investigatrice :

Annexe 5. Lettre d'information aux patientes de l'étude observationnelle

Annexe 6. Explication du score attribué pour chaque paramètre du Total Neuropathy Score modifié

Paramètre	Score				
	0	1	2	3	4
Symptômes sensoriels (fourmillements, picotements, brûlures, douleurs, ...)	Aucun	Limités aux doigts ou orteils	Étendus aux poignets ou chevilles	Étendus aux genoux ou coudes	Étendus au-delà des genoux ou coudes ou fonctionnellement handicapant
Symptômes moteurs (engourdissements, faiblesses, mobilité)	Aucun	Légères difficultés	Difficultés modérées	Besoin d'aide ou d'assistance	Paralysie
Sensibilité superficielle	Normale	Réduite dans les doigts ou orteils	Réduite jusqu'aux poignets ou chevilles inclus	Réduite jusqu'au coudes et genoux inclus	Réduite au-delà des coudes ou genoux
Sensibilité vibratoire	Normale	Réduite dans les doigts ou orteils	Réduite jusqu'aux poignets ou chevilles inclus	Réduite jusqu'au coudes et genoux inclus	Réduite au-delà des coudes ou genoux
Force	Normale	Faiblesse légère (MRC 4)	Faiblesse modérée (MRC 3)	Faiblesse sévère (MRC 2)	Paralysie (MRC 0-1)
Réflexes profonds	Normal	Réflexe de la cheville diminué	Réflexe de la cheville absent	Réflexe de la cheville absent, autres réflexes réduits	Tous les réflexes absents

Annexe 6. Explication du score attribué pour chaque paramètre du Total Neuropathy Score modifié (TNSm) tiré de (Cavaletti et al., 2007). MRC = medical research council

Annexe 7. Résultats des données du CP et de la FRS étude observationnelle

	Condition yeux ouverts (EO)					Condition yeux fermés (EC)				
	Pré	Post	Différence	%	Valeur <i>p</i>	Pré	Post	Différence	%	Valeur <i>p</i>
CP										
Planaire										
Longueur (mm)	380,73 ± 124,63 (192,01 - 834,58) 352,15 [320,21 – 395,95]	420,81 ± 132,24 (268,39 – 923,50) 388,20 [349,58 – 713,72]	40,08 ± 79,59 (-157,91 – 224,86) 30,71 [-1,33 – 81,09]	11	0,022	492,35 ± 223,10 (298,14 – 1340,21) 423,33 [354,79 – 517,48]	608,95 ± 259,14 (308,80 – 1548,88) 525,5 [417,87 – 728,18]	116,60 ± 123,73 (-246,21 – 407,19) 97,06 [44,46 – 190,15]	24	≤ 0,001
Surface (mm²)	237,67 ± 236,27 (53,26 – 1023,84) 170,46 [97,61 – 216,96]	258,74 ± 220,88 (52,52 – 993,71) 210,66 [124,64 – 282,85]	21,06 ± 134,11 (-389,05 – 420,22) 35,64 [-43,66 – 79,79]	9	0,460	343,36 ± 421,84 (59,92 – 2292,99) 208,43 [126,13 – 369,00]	496,68 ± 371,98 (59,92 – 1330,67) 345,56 [217,86 – 759,85]	153,32 ± 330,80 (-1243,11 – 1015,41) 142,80 [30,95 – 276,45]	45	0,013
Vitesse maximale (mm/s)	67,96 ± 27,89 (31,96 – 196,44) 61,31 [55,85 – 71,09]	72,92 ± 28,66 (39,14 – 177,75) 65,05 [56,05 – 79,35]	4,96 ± 20,02 (-23,41 – 71,33) -0,24 [-8,16 – 12,39]	7	0,292	88,25 ± 39,63 (39,50 – 228,24) 78,26 [64,02 – 98,82]	108,29 ± 50,23 (42,99 – 260,66) 98,27 [72,32 – 126,50]	20,03 ± 27,94 (-25,70 – 89,09) 17,83 [-4,91 – 34,07]	23	0,001
RMS (mm)	0,78 ± 0,32 (0,44 – 2,18) 0,70 [0,63 – 0,80]	0,89 ± 0,36 (0,51 – 2,38) 0,80 [0,69 – 0,88]	0,10 ± 0,17 (-0,23 – 0,57) 0,06 [0 – 0,18]	13	0,011	1,08 ± 0,53 (0,56 – 2,95) 0,91 [0,78 – 1,08]	1,41 ± 0,73 (0,58 – 3,80) 1,16 [0,88 – 1,61]	0,32 ± 0,35 (-0,12 – 1,63) 0,28 [0,08 – 0,52]	30	≤ 0,001
ML										
Longueur (mm)	203,67 ± 73,06 (97,87 – 485,12) 187,52 [163,23 – 213,59]	221,02 ± 83,64 (130,26 – 551,01) 194,84 [171,33 – 263,69]	17,35 ± 47,86 (-106,25 – 128,35) 8,06 [-4,26 – 54,43]	9	0,104	265,54 ± 142,45 (133,51 – 839,95) 221,95 [184,28 – 269,66]	313,11 ± 184,00 (133,51 – 1046,55) 266,06 [204,46 – 367,44]	47,56 ± 96,93 (-219,37 – 386,10) 25,87 [0,00 – 73,37]	18	0,009
RMS (mm)	0,56 ± 0,21 (0,30 – 1,39) 0,52 [0,44 – 0,60]	0,61 ± 0,27 (0,35 – 1,74) 0,52 [0,46 – 0,72]	0,06 ± 0,15 (-0,25 – 0,38) 0,01 [-0,02 – 0,16]	11	0,102	0,77 ± 0,46 (0,35 – 2,58) 0,63 [0,50 – 0,80]	0,94 ± 0,66 (0,35 – 3,39) 0,76 [0,54 – 1,08]	0,17 ± 0,39 (-0,63 – 1,83) 0,08 [-0,01 – 0,29]	22	0,019
AP										
Longueur (mm)	277,52 ± 89,08 (145,64 – 577,38) 256,03 [226,34 – 289,97]	310,45 ± 91,07 (193,51 – 632,23) 296,92 [257,19 – 334,81]	32,93 ± 55,88 (-98,12 – 156,44) 33,99 [4,91 – 54,00]	12	0,011	356,57 ± 144,84 (222,08 – 867,33) 324,47 [263,35 – 387,53]	452,46 ± 164,67 (235,68 – 926,06) 413,05 [322,27 – 557,73]	95,89 ± 84,00 (-73,99 – 261,58) 79,22 [39,70 – 136,09]	27	≤ 0,001
RMS (mm)	0,77 ± 0,30 (0,41 – 2,05) 0,70 [0,60 – 0,79]	0,86 ± 0,31 (0,49 – 2,06) 0,79 [0,69 – 0,91]	0,10 ± 0,17 (-0,22 – 0,52) 0,06 [-0,01 – 0,17]	13	0,011	1,02 ± 0,43 (0,57 – 2,42) 0,89 [0,73 – 1,07]	1,31 ± 0,54 (0,60 – 2,77) 1,16 [0,87 – 1,63]	0,30 ± 0,26 (-0,04 – 1,14) 0,26 [0,15 – 0,41]	29	≤ 0,001
FRS										
V										
Valeurs max (N)	9,75 ± 0,25 (9,14 – 10,34) 9,77 [9,60 – 9,90]	10,08 ± 0,59 (8,77 – 11,29) 10,06 [9,83 – 10,28]	0,33 ± 0,53 (-0,95 – 1,49) 0,28 [0,11 – 0,67]	3	0,007	9,76 ± 0,26 (9,16 – 10,36) 9,77 [9,59 – 9,91]	10,08 ± 0,59 (8,77 – 11,27) 10,08 [9,78 – 10,30]	0,31 ± 0,52 (-0,96 – 1,25) 0,33 [-0,01 – 0,71]	3	0,009
Variabilité (N)	0,01 ± 0,00 (0,01 – 0,02) 0,01 [0,01 – 0,01]	0,01 ± 0,01 (0,01 – 0,04) 0,01 [0,01 – 0,01]	0,00 ± 0,00 (-0,01 – 0,01) 0,00 [0,00 – 0,00]	0	0,746	0,01 ± 0,01 (0,01 – 0,08) 0,01 [0,01 – 0,01]	0,01 ± 0,00 (0,01 – 0,03) 0,01 [0,01 – 0,01]	0,00 ± 0,01 (-0,05 – 0,01) 0,00 [0,00 – 0,00]	0	0,122
ML										
Valeurs max (N)	0,30 ± 1,21 (-0,93 – 5,43) 0,06 [-0,24 – 0,47]	0,81 ± 1,80 (-0,45 – 8,01) 0,23 [-0,05 – 0,99]	0,50 ± 0,91 (-0,82 – 2,90) 0,32 [-0,04 – 0,83]	167	0,023	1,18 ± 1,93 (-1,02 – 6,25) 0,80 [-0,11 – 1,34]	2,32 ± 3,21 (-0,49 – 12,08) 1,31 [0,37 – 3,12]	1,14 ± 2,09 (-1,24 – 9,13) 0,57 [0,02 – 1,77]	97	0,016
Variabilité (N)	0,53 ± 0,41 (0,22 – 2,32) 0,44 [0,36 – 0,58]	0,67 ± 0,54 (0,24 – 2,86) 0,57 [0,38 – 0,71]	0,14 ± 0,21 (-0,08 – 0,79) 0,07 [0,03 – 0,17]	26	0,007	0,77 ± 0,52 (0,27 – 2,21) 0,65 [0,41 – 0,85]	1,05 ± 0,77 (0,24 – 3,16) 0,84 [0,52 – 1,27]	0,28 ± 0,43 (-0,09 – 1,91) 0,20 [0,03 – 0,31]	36	0,006
AP										
Valeurs max (N)	4,61 ± 2,61 (1,88 – 15,39) 4,23 [3,24 – 5,15]	5,57 ± 3,81 (2,25 – 20,06) 4,95 [3,42 – 5,80]	0,96 ± 3,83 (-4,30 – 17,42) 0,65 [-0,45 – 1,30]	21	0,164	5,94 ± 3,19 (2,63 – 14,93) 5,04 [3,57 – 7,53]	6,88 ± 3,40 (2,79 – 18,32) 6,17 [4,47 – 8,21]	0,95 ± 2,77 (-5,06 – 10,20) 0,98 [0,13 – 1,83]	16	0,100

Variabilité (N)	0,75 ± 0,59 (0,30 – 3,26) 0,61 [0,45 – 0,82]	0,92 ± 0,61 (0,36 – 3,38) 0,77 [0,58 – 1,05]	0,17 ± 0,16 (-0,04 – 0,67) 0,12 [0,05 – 0,25]	23	≤ 0,001	1,06 ± 0,58 (0,38 – 2,79) 0,87 [0,66 – 1,39]	1,50 ± 0,82 (0,55 – 3,68) 1,29 [0,97 – 2,00]	0,44 ± 0,39 (-0,03 – 1,80) 0,41 [0,15 – 0,60]	42	≤ 0,001
	Condition yeux ouverts sur mousse (EOF)					Condition yeux fermés sur mousse (ECF)				
	Pré	Post	Différence	%	Valeur p	Pré	Post	Différence	%	Valeur p
CP										
Planaire										
Longueur (mm)	594,60 ± 185,55 (376,57 – 1156,90) 553,54 [478,20 – 653,93]	668,00 ± 214,91 (362,31 – 1288,95) 604,77 [525,80 – 774,31]	73,40 ± 144,52 (-453,27 – 344,98) 67,81 [0,00 – 117,07]	12	0,020	1472,92 ± 674,08 (736,36 – 3154,51) 1147,06 [977,37 – 1777,57]	1877,99 ± 830,16 (801,16 – 3893,56) 1584,86 [1283,64 – 2323,24]	405,08 ± 420,40 (-386,39 – 1357,69) 301,95 [130,06 – 668,55]	28	≤ 0,001
Surface (mm²)	578,79 ± 479,95 (171,95 – 2324,93) 439,11 [295,87 – 687,89]	523,41 ± 374,54 (205,03 – 2359,47) 423,46 [350,67 – 541,70]	-55,38 ± 357,20 (-1673,1 – 290,29) 28,64 [-63,14 – 83,93]	-10	0,568	1991,21 ± 1311,29 (670,11 – 6209,70) 1620,51 [1115,69 – 2365,46]	2624,86 ± 1498,59 (945,13 – 7032,63) 2302,62 [1637,87 – 3237,28]	633,66 ± 857,80 (-1091,41 – 3056,10) 462,65 [104,69 – 1225,71]	32	≤ 0,001
Vitesse maximale (mm/s)	103,35 ± 30,97 (62,43 – 191,21) 96,98 [84,24 – 112,13]	118,98 ± 44,60 (65,65 – 242,81) 101,80 [87,82 – 142,48]	15,63 ± 31,52 (-83,14 – 75,23) 8,86 [-3,30 – 35,33]	15	0,020	254,61 ± 141,70 (107,58 – 701,67) 194,28 [165,72 – 282,96]	324,29 ± 154,46 (142,76 – 653,46) 266,03 [204,73 – 416,04]	69,68 ± 95,35 (-159,81 – 308,99) 47,62 [27,73 – 101,93]	27	≤ 0,001
RMS (mm)	1,33 ± 0,45 (0,80 – 2,66) 1,20 [1,06 – 1,41]	1,50 ± 0,52 (0,79 – 3,07) 1,38 [1,14 – 1,80]	0,17 ± 0,34 (-1,02 – 0,72) 0,11 [-0,02 – 0,41]	13	0,013	3,38 ± 1,71 (1,48 – 7,73) 2,45 [2,18 – 3,86]	4,33 ± 2,05 (1,81 – 9,31) 3,58 [2,73 – 5,62]	0,95 ± 1,15 (-1,62 – 3,89) 0,65 [0,40 – 1,69]	28	≤ 0,001
ML										
Longueur (mm)	349,19 ± 109,49 (222,20 – 692,60) 331,34 [285,31 – 377,31]	376,59 ± 110,75 (210,46 – 724,11) 354,74 [302,76 – 432,08]	27,40 ± 69,96 (-239,56 – 153) 29,65 [0,00 – 61,58]	8	0,072	831,32 ± 368,26 (405,23 – 1825,44) 676,51 [553,57 – 1046,56]	1019,27 ± 422,12 (430,06 – 1944,89) 862,26 [684,35 – 1346,64]	187,95 ± 202,30 (-281,76 – 580,15) 189,86 [38,99 – 305,76]	23	≤ 0,001
RMS (mm)	1,02 ± 0,34 (0,63 – 2,06) 0,93 [0,82 – 1,14]	1,08 ± 0,33 (0,63 – 2,19) 0,98 [0,87 – 1,30]	0,07 ± 0,21 (-0,72 – 0,45) 0,10 [-0,04 – 0,16]	7	0,160	2,48 ± 1,23 (1,08 – 5,95) 1,93 [1,62 – 3,11]	3,02 ± 1,33 (1,20 – 5,85) 2,42 [1,99 – 4,29]	0,53 ± 0,75 (-1,59 – 1,96) 0,47 [0,03 – 0,94]	21	≤ 0,001
AP										
Longueur (mm)	408,12 ± 129,98 (245,68 – 795,44) 377,44 [318,50 – 440,78]	471,80 ± 164,48 (249,05 – 924,70) 426,21 [372,15 – 552,76]	63,68 ± 117,22 (-334,54 – 288,67) 51,22 [0,00 – 107,04]	16	0,006	1035,02 ± 493,26 (525,10 – 2304,64) 779,15 [684,37 – 1197,92]	1362,84 ± 638,88 (590,49 – 3122,63) 1150,85 [933,41 – 1655,43]	327,82 ± 336,86 (-383,53 – 1146,73) 257,83 [152,28 – 515,58]	32	≤ 0,001
RMS (mm)	1,19 ± 0,40 (0,68 – 2,34) 1,10 [0,95 – 1,33]	1,39 ± 0,50 (0,69 – 2,78) 1,24 [1,05 – 1,71]	0,20 ± 0,35 (-0,98 – 0,90) 0,12 [0,03 – 0,41]	17	0,013	3,08 ± 1,55 (1,47 – 6,79) 2,21 [1,98 – 3,69]	4,04 ± 1,93 (1,75 – 9,26) 3,49 [2,65 – 4,99]	0,97 ± 1,09 (-1,24 – 3,84) 0,69 [0,38 – 1,67]	31	≤ 0,001
FRS										
V										
Valeurs max (N)	10,01 ± 0,27 (9,38 – 10,59) 10,05 [9,92 – 10,21]	10,39 ± 0,58 (9,18 – 11,52) 10,32 [10,07 – 10,70]	0,37 ± 0,56 (-0,79 – 1,64) 0,30 [0,10 – 0,74]	4	0,006	10,35 ± 0,44 (9,52 – 11,50) 10,36 [10,01 – 10,54]	10,91 ± 0,80 (9,37 – 13,39) 10,83 [10,38 – 11,38]	0,56 ± 0,65 (-1,21 – 1,88) 0,56 [0,18 – 0,95]	5	0,004
Variabilité (N)	0,04 ± 0,02 (0,01 – 0,09) 0,04 [0,03 – 0,04]	0,05 ± 0,03 (0,02 – 0,13) 0,04 [0,03 – 0,07]	0,01 ± 0,01 (-0,01 – 0,05) 0,01 [0,00 – 0,02]	25	0,003	0,11 ± 0,08 (0,03 – 0,32) 0,09 [0,05 – 0,17]	0,15 ± 0,11 (0,04 – 0,40) 0,12 [0,08 – 0,22]	0,04 ± 0,05 (-0,05 – 0,16) 0,03 [0,00 – 0,07]	36	0,004
ML										
Valeurs max (N)	2,20 ± 1,50 (0,35 – 7,05) 1,55 [1,25 – 3,12]	2,73 ± 1,73 (0,61 – 8,01) 2,71 [1,20 – 3,52]	0,53 ± 1,06 (-1,67 – 3,33) 0,41 [-0,14 – 1,07]	24	0,042	8,36 ± 4,32 (2,00 – 15,13) 6,17 [4,78 – 12,58]	11,38 ± 6,14 (3,09 – 26,13) 12,04 [6,26 – 14,56]	3,02 ± 3,59 (-2,05 – 11,21) 2,13 [0,39 – 4,61]	36	0,006
Variabilité (N)	1,08 ± 0,59 (0,52 – 3,37) 0,90 [0,73 – 1,22]	1,24 ± 0,62 (0,56 – 3,51) 1,12 [0,81 – 1,52]	0,16 ± 0,20 (-0,23 – 0,53)	15	0,006	2,91 ± 1,26 (1,06 – 5,11) 2,88 [1,90 – 3,83]	3,59 ± 1,57 (1,36 – 7,55) 3,65 [2,37 – 4,48]	0,68 ± 0,75 (-0,81 – 2,44) 0,61 [0,18 – 1,16]	23	0,004

0,16 [0,00 – 0,25]										
AP										
Valeurs max (N)	7,24 ± 3,42 (3,72 – 18,83) 6,26 [5,09 – 8,30]	8,28 ± 4,01 (3,24 – 19,43) 7,59 [5,12 – 10,38]	1,04 ± 4,39 (-11,30 – 13,14) 1,64 [-0,70 – 2,91]	14	0,201	15,46 ± 7,40 (5,37 – 37,90) 13,99 [9,72 – 19,78]	18,45 ± 8,60 (6,77 – 42,47) 18,05 [11,75 – 24,24]	2,99 ± 6,88 (-13,41 – 24,14) 2,62 [-0,04 – 4,35]	19	0,066
Variabilité (N)	1,30 ± 0,68 (0,68 – 3,94) 1,18 [0,85 – 1,56]	1,63 ± 0,86 (0,67 – 4,70) 1,46 [1,09 – 1,93]	0,33 ± 0,35 (-0,13 – 1,18) 0,31 [0,07 – 0,54]	25	0,003	3,68 ± 1,65 (1,36 – 8,02) 3,31 [2,28 – 4,88]	4,82 ± 2,07 (1,93 – 9,08) 4,88 [2,92 – 6,30]	1,15 ± 1,32 (-1,77 – 4,51)	31	0,004
	Condition yeux ouverts avec vibration (EOV)					Condition yeux fermés avec vibration (ECV)				
	Pré	Post	Différence	%	Valeur <i>p</i>	Pré	Post	Différence	%	Valeur <i>p</i>
CP										
Planaire										
Longueur (mm)	406,98 ± 126,84 (243,13 – 887,30) 388,44 [305,46 – 460,30]	419,26 ± 113,41 (283,27 – 675,61) 384,09 [331,85 – 507,41]	12,29 ± 91,77 (-211,69 – 174,14) 5,05 [-53,00 – 84,51]	3	0,900	616,81 ± 248,59 (331,79 – 1348,31) 561,76 [417,90 – 738,03]	682,05 ± 266,39 (340,84 – 1123,87) 643,22 [448,62 – 975,96]	65,24 ± 193,84 (-372,35 – 388,92) 34,05 [-53,39 – 242,65]	11	0,211
Surface (mm²)	309,09 ± 397,65 (75,76 – 2096,04) 186,05 [121,99 – 321,48]	250,62 ± 239,09 (63,44 – 1153,67) 181,01 [123,87 – 257,36]	-58,48 ± 271,13 (-1316,43 – 464,33) -34,46 [-97,82 – 54,31]	-19	0,900	522,70 ± 580,04 (89,66 – 2979,88) 381,65 [185,91 – 607,91]	560,27 ± 522,42 (114,26 – 2303,72) 395,42 [208,70 – 729,69]	37,56 ± 372,53 (-1075,76 – 1021,63) 0,00 [-178,66 – 250,08]	7	0,709
Vitesse maximale (mm/s)	74,13 ± 35,98 (40,24 – 224,31) 66,04 [51,43 – 79,75]	73,21 ± 27,19 (42,04 – 144,23) 64,92 [56,38 – 80,19]	-0,91 ± 40,07 (-175,42 – 74,97) 0,15 [-8,93 – 14,89]	-1	0,994	107,12 ± 47,68 (47,02 – 256,70) 95,97 [77,89 – 133,82]	123,38 ± 60,04 (53,86 – 252,75) 112,34 [73,25 – 157,88]	16,26 ± 44,63 (-54,86 – 149,49) 1,77 [-10,93 – 40,11]	15	0,291
RMS (mm)	0,84 ± 0,31 (0,51 – 2,04) 0,80 [0,58 – 1,01]	0,86 ± 0,32 (0,56 – 1,67) 0,79 [0,63 – 0,96]	0,03 ± 0,25 (-0,43 – 0,60) 0,01 [-0,15 – 0,19]	4	0,907	1,36 ± 0,62 (0,67 – 3,24) 1,20 [0,86 – 1,69]	1,54 ± 0,71 (0,66 – 3,01) 1,35 [0,93 – 2,27]	0,19 ± 0,49 (-0,67 – 1,09) 0,16 [-0,21 – 0,50]	14	0,211
ML										
Longueur (mm)	215,88 ± 65,41 (124,74 – 416,65) 204,11 [169,48 – 254,87]	220,16 ± 59,81 (143,69 – 359,19) 189,61 [175,67 – 260,45]	4,28 ± 44,20 (-91,95 – 73,66) 4,41 [-20,66 – 39,55]	2	0,907	303,44 ± 111,91 (153,78 – 559,13) 262,42 [206,70 – 369,23]	331,75 ± 133,76 (172,43 – 605,06) 304,15 [215,68 – 453,42]	28,31 ± 96,68 (-163,36 – 220,54) 4,36 [-34,27 – 96,01]	9	0,211
RMS (mm)	0,59 ± 0,19 (0,33 – 1,17) 0,54 [0,44 – 0,71]	0,60 ± 0,18 (0,38 – 1,03) 0,49 [0,46 – 0,73]	0,01 ± 0,16 (-0,40 – 0,28) 0,02 [-0,07 – 0,10]	2	0,994	0,86 ± 0,35 (0,40 – 1,68) 0,74 [0,55 – 1,11]	0,96 ± 0,44 (0,46 – 2,01) 0,89 [0,60 – 1,30]	0,10 ± 0,33 (-0,50 – 0,83) 0,05 [-0,15 – 0,27]	12	0,211
AP										
Longueur (mm)	297,64 ± 98,27 (185,73 – 694,55) 299,33 [222,98 – 338,20]	309,42 ± 89,23 (198,87 – 533,50) 280,20 [239,74 – 362,14]	11,79 ± 71,97 (-161,05 – 150,99) 6,27 [-45,79 – 66,27]	4	0,900	468,63 ± 206,06 (261,29 – 1116,93) 434,52 [310,79 – 540,31]	522,77 ± 213,27 (251,31 – 934,61) 479,90 [357,07 – 738,57]	54,14 ± 160,82 (-300,60 – 353,16) 41,50 [-30,76 – 172,39]	12	0,211
RMS (mm)	0,82 ± 0,31 (0,52 – 2,06) 0,77 [0,59 – 0,93]	0,85 ± 0,30 (0,54 – 1,62) 0,73 [0,64 – 0,95]	0,03 ± 0,24 (-0,50 – 0,61) 0,02 [-0,15 – 0,18]	4	0,900	1,34 ± 0,62 (0,69 – 3,31) 1,18 [0,89 – 1,60]	1,51 ± 0,68 (0,66 – 3,09) 1,29 [0,96 – 2,07]	0,17 ± 0,50 (-0,84 – 1,18) 0,13 [-0,18 – 0,54]	13	0,211
FRS										
V										
Valeurs max (N)	9,78 ± 0,27 (9,27 – 10,42) 9,79 [9,56 – 9,99]	10,12 ± 0,53 (9,02 – 11,12) 10,10 [9,82 – 10,34]	0,33 ± 0,51 (-0,76 – 1,56) 0,25 [0,15 – 0,67]	4	0,023	9,80 ± 0,27 (9,28 – 10,41) 9,81 [9,58 – 9,99]	10,13 ± 0,57 (8,94 – 11,35) 10,15 [9,76 – 10,34]	0,34 ± 0,51 (-0,69 – 1,59) 0,29 [0,11 – 0,63]	4	0,041
Variabilité (N)	0,01 ± 0,00 (0,01 – 0,02) 0,01 [0,01 – 0,01]	0,01 ± 0,00 (0,01 – 0,02) 0,01 [0,01 – 0,01]	0,00 ± 0,00 (-0,01 – 0,01) 0,00 [0,00 – 0,00]	0	0,868	0,01 ± 0,01 (0,01 – 0,03) 0,01 [0,01 – 0,02]	0,01 ± 0,01 (0,01 – 0,03) 0,01 [0,01 – 0,02]	0,00 ± 0,01 (-0,02 – 0,01) 0,00 [0,00 – 0,00]	0	0,562
ML										
Valeurs max (N)	0,54 ± 1,10 (-0,82 – 4,15) 0,45 [-0,26 – 0,91]	0,68 ± 1,23 (-0,78 – 4,58) 0,52 [-0,10 – 1,27]	0,15 ± 1,10 (-3,85 – 2,89) 0,09 [-0,16 – 0,57]	28	0,317	1,77 ± 1,74 (-0,34 – 7,46) 1,24 [0,70 – 2,52]	2,45 ± 2,13 (-0,27 – 7,79) 1,90 [0,71 – 4,04]	0,69 ± 1,84 (-2,44 – 5,47) 0,32 [-0,81 – 1,63]	39	0,248

Variabilité (N)	0,63 ± 0,30 (0,22 – 1,36) 0,57 [0,38 – 0,82]	0,68 ± 0,36 (0,27 – 1,67) 0,64 [0,44 – 0,76]	0,05 ± 0,18 (-0,27 – 0,41) 0,06 [-0,05 – 0,13]	8	0,317	0,98 ± 0,48 (0,38 – 2,28) 0,89 [0,64 – 1,14]	1,19 ± 0,63 (0,39 – 2,53) 1,06 [0,64 – 1,60]	0,21 ± 0,41 (-0,31 – 1,34) 0,16 [-0,13 – 0,41]	21	0,106
AP										
Valeurs max (N)	6,37 ± 6,26 (2,30 – 32,87) 4,28 [3,61 – 6,10]	6,28 ± 5,08 (2,34 – 26,32) 4,54 [3,46 – 7,51]	-0,10 ± 8,23 (-29,37 – 21,92) 0,20 [-0,62 – 2,15]	-2	0,549	8,58 ± 6,97 (3,02 – 38,31) 6,61 [4,99 – 9,53]	9,17 ± 6,33 (2,58 – 30,61) 7,99 [4,91 – 10,33]	0,59 ± 9,27 (-30,98 – 22,96) 0,94 [-1,54 – 3,84]	7	0,513
Variabilité (N)	0,81 ± 0,39 (0,35 – 1,67) 0,70 [0,54 – 0,87]	0,96 ± 0,66 (0,37 – 2,70) 0,73 [0,59 – 1,04]	0,15 ± 0,37 (-0,31 – 1,17) 0,05 [-0,05 – 0,77]	19	0,284	1,43 ± 0,76 (0,70 – 3,16) 1,15 [0,82 – 1,74]	1,88 ± 1,20 (0,53 – 5,12) 1,60 [1,14 – 2,06]	0,46 ± 0,76 (-0,62 – 2,45) 0,32 [-0,12 – 0,88]	32	0,066
Condition double tâche (DT)										
	Pré	Post	Différence	%	Valeur p					
CP										
Planaire										
Longueur (mm)	384,69 ± 93,94 (222,29 – 590,63) 375,67 [315,67 – 453,33]	447,26 ± 111,67 (283,10 – 711,43) 427,80 [358,46 – 513,21]	62,57 ± 59,69 (-37,61 – 226,26) 64,39 [16,19 – 89,13]	16	≤ 0,001					
Surface (mm²)	185,80 ± 138,37 (62,98 – 692,22) 134,25 [105,08 – 208,08]	260,97 ± 161,44 (71,22 – 768,84) 218,00 [167,03 – 289,00]	75,17 ± 134,56 (-195,27 – 479,45) 68,14 [0,00 – 133,85]	40	0,005					
Vitesse maximale (mm/s)	67,46 ± 22,42 (37,01 – 143,57) 63,69 [48,83 – 79,01]	73,90 ± 21,34 (46,10 – 125,31) 69,20 [57,46 – 86,57]	6,43 ± 24,94 (-78,37 – 53,65) 4,35 [-5,86 – 18,86]	10	0,148					
RMS (mm)	0,80 ± 0,24 (0,48 – 1,32) 0,75 [0,60 – 0,97]	0,93 ± 0,26 (0,53 – 1,50) 0,85 [0,70 – 1,16]	0,14 ± 0,19 (-0,43 – 0,49) 0,13 [0,03 – 0,20]	18	≤ 0,001					
ML										
Longueur (mm)	200,06 ± 57,82 (101,23 – 369,14) 184,95 [162,68 – 217,61]	226,45 ± 68,97 (137,79 – 421,96) 211,99 [175,69 – 255,82]	26,39 ± 34,47 (-19,56 – 113,56) 19,92 [0,00 – 49,48]	13	0,001					
RMS (mm)	0,55 ± 0,18 (0,29 – 1,06) 0,49 [0,43 – 0,61]	0,62 ± 0,21 (0,37 – 1,21) 0,59 [0,45 – 0,71]	0,07 ± 0,14 (-0,45 – 0,37) 0,06 [0,00 – 0,16]	13	0,010					
AP										
Longueur (mm)	285,17 ± 68,28 (183,32 – 432,06) 284,94 [230,92 – 338,01]	337,27 ± 82,54 (210,13 – 513,72) 324,39 [266,86 – 409,15]	52,10 ± 47,86 (-31,93 – 169,77) 45,20 [26,24 – 81,58]	18	≤ 0,001					
RMS (mm)	0,78 ± 0,22 (0,50 – 1,35) 0,73 [0,62 – 0,93]	0,92 ± 0,24 (0,54 – 1,40) 0,87 [0,71 – 1,12]	0,14 ± 0,17 (-0,23 – 0,49) 0,12 [0,04 – 0,21]	18	≤ 0,001					
FRS										
V										
Valeurs max (N)	9,78 ± 0,28 (9,23 – 10,37) 9,80 [9,56 – 9,96]	10,13 ± 0,64 (8,71 – 11,39) 10,15 [9,77 – 10,44]	0,36 ± 0,55 (-0,85 – 1,45) 0,32 [-0,02 – 0,76]	4	0,003					
Variabilité (N)	0,01 ± 0,01 (0,01 – 0,04) 0,01 [0,01 – 0,02]	0,02 ± 0,01 (0,01 – 0,04) 0,01 [0,01 – 0,02]	0,00 ± 0,01 (-0,02 – 0,01) 0,00 [0,00 – 0,00]	0	0,118					
ML										

Valeurs max (N)	0,19 ± 0,71 (-0,72 – 1,74) -0,04 [-0,26 – 0,67]	0,67 ± 0,95 (-1,16 – 2,49) 0,97 [-0,02 – 1,23]	0,48 ± 0,67 (-0,93 – 1,76) 0,44 [-0,03 – 1,02]	253	0,006
Variabilité (N)	0,55 ± 0,27 (0,19 – 1,29) 0,50 [0,34 – 0,70]	0,69 ± 0,33 (0,23 – 1,35) 0,63 [0,42 – 0,94]	0,15 ± 0,15 (-0,04 – 0,48) 0,11 [0,04 – 0,24]	27	≤ 0,001
AP					
Valeurs max (N)	8,36 ± 10,56 (2,37 – 40,72) 4,64 [2,94 – 7,59]	6,22 ± 3,94 (2,52 – 21,98) 5,63 [3,77 – 7,52]	-2,14 ± 11,64 (-36,27 – 18,96) 0,69 [-0,84 – 2,13]	-26	0,391
Variabilité (N)	0,80 ± 0,40 (0,40 – 1,60) 0,70 [0,48 – 1,03]	1,07 ± 0,46 (0,46 – 2,12) 0,98 [0,71 – 1,36]	0,28 ± 0,18 (-0,04 – 0,60) 0,24 [0,12 – 0,41]	35	≤ 0,001

Annexe 7. Résultats des paramètres du CP et de la FRS pour chaque condition. Données sous forme de moyenne ± écart-type (min-max) médiane [IQR 25-75%]. N = 33 pour les paramètres du CP, n = 24 pour la FRS ML et AP, n = 31 pour la FRS V. % = pourcentage de la différence selon la valeur pré, AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, DT = double tâche, EC = yeux fermés, EO = yeux ouverts, F = mousse, FRS = force de réaction du sol, IQR = écart interquartile, ML = médio-latéral, RMS = moyenne quadratique, V = vertical. V = vibration quand liée à EO ou EC (EOV et ECV). Valeurs p corrigées sur la multiplicité des tests

Annexe 8. Corrélations entre les paramètres de CP et de la FRS ML

Corrélations entre les paramètres du CP et de la FRS ML		
	Condition EC	Condition ECF
Longueur totale	$r = 0,46, p = 0,025$	$r = 0,63, p = 0,001$
Longueur AP	$r = 0,10, p = 0,632$	$r = 0,60, p = 0,002$
RMS total	$r = 0,56, p = 0,004$	$r = 0,68, p < 0,001$
RMS AP	$r = 0,31, p = 0,147$	$r = 0,55, p = 0,005$
Vitesse max	$r = 0,42, p = 0,043$	$r = 0,44, p = 0,031$

Annexe 8. Résultats de la corrélation de Spearman entre différents paramètres du CP et de la FRS ML en conditions EC et ECF. AP = antéro-postérieur, CP = centre de pression, EC = yeux fermés sur sol rigide, ECF = yeux fermés sur sol mousse, FRS = force de réaction du sol, ML = médio-latéral, p = valeur p , r = coefficient de corrélation, RMS = moyenne quadratique. Valeurs p non corrigées sur la multiplicité des tests

Annexe 9. Lettre d'information aux patientes de l'étude interventionnelle



Titre complet de recherche :

Effet d'un programme d'exercices sensorimoteurs sur la fonction physique (équilibre et marche) et sur les effets secondaires des chimiothérapies pour des femmes atteintes de cancer du sein triple négatif traitées par taxanes

NOTE D'INFORMATION

Madame,

Le Professeur Joseph Gligorov exerçant à l'hôpital Tenon vous propose de participer à une recherche concernant votre état de santé.

Il est important de lire attentivement cette note avant de prendre votre décision ; n'hésitez pas à demander des explications au Professeur Gligorov ou à ses collègues.

1) Quel est le but de cette recherche ?

Les chimiothérapies peuvent provoquer des douleurs, des fourmillements ou des diminutions de la sensibilité dans les pieds et les mains appelées neuropathies périphériques. Ces neuropathies périphériques peuvent avoir une influence sur les capacités d'équilibre et la marche. Le quotidien peut, dès lors, être impacté. Les programmes d'activité physique, particulièrement les exercices d'équilibre ont montré de très bons résultats dans la littérature scientifique. Nous souhaiterions donc vous proposer de participer à un de ces programmes pour voir si réaliser quelques minutes d'exercices tous les jours pourrait influencer positivement votre fonction physique (équilibre et marche), le risque de survenue et la sévérité des neuropathies périphériques et son impact sur votre qualité de vie.

Pour répondre à la question posée, 3 à 5 personnes présentant un cancer du sein triple négatif étant traitées par taxanes dans l'établissement de soins l'hôpital Tenon, situé 4 rue de Chine, à Paris participeront au programme.

2) En quoi consiste la recherche ?

Dans la recherche proposée, nous allons évaluer l'influence d'un programme d'activité physique sur :

1. la fonction physique : les capacités d'équilibre debout, la marche, se lever d'une chaise-marcher et faire demi-tour ainsi que la confiance dans l'équilibre
2. les effets secondaires des chimiothérapies : les neuropathies périphériques et ses répercussions sur la qualité de vie, la détresse, la fatigue

Pour cela, un programme d'exercices d'équilibre vous sera proposé. Celui-ci consistera à réaliser 10 minutes d'exercices quotidiens pendant 5 semaines, chez vous à domicile. Un soutien téléphonique sera mis en place par une kinésithérapeute afin de vous accompagner tout au long de celui-ci. Les exercices seront adaptés et personnalisés. Vous recevrez le matériel nécessaire pour la bonne réalisation du programme.

En plus du programme, des évaluations seront réalisées par des thérapeutes spécialisés en cancérologie afin de voir l'évolution de votre fonction physique et des potentiels effets secondaires tout au long du traitement, soit 11 semaines.

3) Quel est le calendrier de la recherche ?

Votre participation sera de 12 semaines.

Évaluations :

Une fois par semaine, vous réaliserez des tests de marche simples d'une durée de 10 minutes environ. Une séance sur deux, un questionnaire sur la fatigue devra être renseigné.

A trois reprises, des tests de plus longue durée seront réalisés. Ceux-ci permettront d'évaluer votre capacité à réaliser un geste fréquent du quotidien (se lever d'une chaise-marcher-faire demi-tour), votre confiance en votre équilibre, si une neuropathie périphérique est présente et comment elle impacte votre quotidien. La détresse psychologique sera également évaluée.

Les tests auront lieu le jour des chimiothérapies afin d'éviter un déplacement à l'hôpital supplémentaire.

Type de session	Tests	Durées	Total
Tests cliniques hebdomadaires (9x)	Test d'équilibre sur plateforme	5 minutes	10 minutes
	(Questionnaire de fatigue)	5 minutes)	
Tests cliniques longs (3x)	Tests de neuropathie	15 minutes	45 minutes
	Test d'équilibre sur plateforme	5 minutes	
	Test de marche sur 10 mètres	5 minutes	
	Test se lever d'une chaise-marcher-faire demi-tour	5 minutes	
	Questionnaire sur la confiance en son équilibre	5 minutes	
	Questionnaire de détresse	5 minutes	
	Questionnaire sur la qualité de vie	5 minutes	

Le questionnaire de fatigue est réalisé une semaine sur deux.

Programme :

Le programme durera 5 semaines et vous le réaliserez à domicile afin d'éviter des déplacements. Il commencera environ 6 semaines (entre 5 et 7) après le début de votre chimiothérapie.

Si vous acceptez de participer à cette recherche, le déroulement d'une séance d'exercice sera le suivant :

<i>Exercices</i>	<i>Tests</i>	<i>Durées</i>	<i>Total</i>
Exercices d'équilibre	Exercice 1	2 x 30 secondes	10 minutes
	Repos d'1 minute		
	Exercice 2	2 x 30 secondes	
	Repos d'1 minute		
	Exercice 3	2 x 30 secondes	
	Repos d'1 minute		
	Exercice 4	2 x 30 secondes	
	Repos d'1 minute		
	Exercice 5	2 x 30 secondes	

4) Quels sont les bénéfices liés à votre participation ?

En participant à cette recherche, vous contribuerez à une meilleure connaissance des effets des soins de support en activité physique ce qui permettra de pouvoir accompagner au mieux les patientes durant leurs

traitements chimiothérapeutiques. De plus, vous bénéficierez d'un programme d'activité physique et d'un suivi avec des thérapeutes en cancérologie.

5) Si vous participez, comment vont être traitées les données recueillies pour la recherche ?

Toutes les personnes impliquées dans l'étude sont tenues au secret professionnel. Les données recueillies sont codées lors de leur collecte. Le codage signifie que tout ce qui permet de vous identifier (*p. ex.* le nom, l'adresse, le numéro de téléphone, l'adresse email, *etc.*) est remplacé par un code.

Le code reste en permanence au sein de l'institution/ de l'hôpital. Si des données doivent être transmises à d'autres institutions, elles sont toujours codées. Votre identité n'apparaîtra jamais sur Internet ou dans une publication.

Vos données ne seront conservées que pour une durée strictement nécessaire et proportionnée à la finalité de la recherche. Elles seront conservées dans les systèmes d'information du responsable de traitement jusqu'à *deux ans après la dernière publication des résultats de la recherche*.

Vos données seront ensuite archivées selon la réglementation en vigueur.

Si vous décidez d'arrêter de participer à la recherche, les données recueillies précédemment à cet arrêt seront utilisées, et exclusivement pour les objectifs de cette recherche. En effet, leur effacement serait susceptible de compromettre la validité des résultats de la recherche.

6) Quels sont vos droits ?

Votre participation à cette recherche est entièrement libre et volontaire. Votre décision n'entraînera aucun préjudice sur la qualité des soins et des traitements que vous êtes en droit d'attendre. Si vous ne souhaitez pas participer à la recherche, il vous suffit de le dire à votre médecin.

Vous pourrez, tout au long de la recherche et à l'issue, demander des informations concernant votre santé ainsi que des explications sur le déroulement de la recherche au médecin qui vous suit.

Vous pouvez vous retirer à tout moment de la recherche sans justification, sans conséquence sur la suite de votre traitement ni la qualité des soins qui vous seront fournis et sans conséquence sur la relation avec votre médecin. A l'issue de ce retrait, vous pourrez être suivie par la même équipe médicale. Dans ce cas, les données collectées jusqu'à votre retrait seront utilisées pour l'analyse des résultats de la recherche.

A l'issue de la recherche et après analyse des données relatives à cette recherche, vous pourrez être informée des résultats globaux par l'intermédiaire du médecin qui vous suit dans le cadre de cette recherche.

Vous pouvez également accéder directement ou par l'intermédiaire d'un médecin de votre choix à l'ensemble de vos données médicales en application des dispositions de l'article L 1111-7 du Code de la Santé Publique.

Cadre réservé au service

Nom/Prénom/Identifiant de la patiente :

Opposition exprimée : ☐ **oui** ☐ **non**

Date de délivrance de l'information :

Signature du responsable de la consultation / du service :

Annexe 10. Programme d'exercices sensorimoteurs – modalités et fonctionnement

Modalités

Durée du programme : 5 semaines d'exercices

Fréquence des exercices : 10 minutes d'exercices tous les jours

Nombre d'exercices : 5 exercices de 30 secondes répétés deux fois

Pause entre les exercices : autant que vous le souhaitez mais minimum 1 minute entre chaque exercice

Intensité des exercices : visez une difficulté modérée à un peu difficile, soit à 3-4/5. Si vous cotez l'exercice à 1 ou 2, passez à la difficulté supérieure (*par exemple*, si vous perdez l'équilibre au bout de 5 secondes, l'exercice est trop difficile, si c'est le cas à la 28 ou 30^{ème} seconde, vous avez choisi la bonne difficulté).

1. Très facile	2. Facile	3. Modéré	4. Un peu difficile	5. Difficile

Lieu : à domicile dans un endroit calme, sol dur et plat, une chaise/table proche de vous pour vous sécuriser au besoin

Habits : comme vous êtes confortable et à pieds nus

Matériel : un ballon et une mousse bleue

Support : vous serez contactée toutes les semaines par téléphone pour voir comment se passe le programme et vous aider à adapter les exercices aux besoins

Fonctionnement

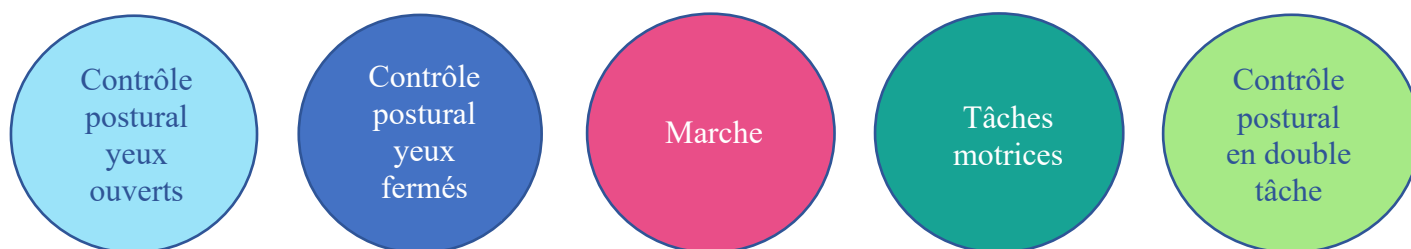
Il y a cinq types d'exercices : contrôle postural yeux ouverts / contrôle postural yeux fermés / marche / tâches motrices / contrôle postural en double tâche.

Avec l'aide d'une kinésithérapeute, un niveau de difficulté pour chaque exercice vous a été attribué (A-B-C-D-E-F).

Vous pouvez passer au niveau inférieur/supérieur selon vos ressentis du jour, les bénéfices n'en seront pas moindres. Gardez à l'esprit de viser une difficulté d'exercice modérée à un peu difficile.

1. Très facile	2. Facile	3. Modéré	4. Un peu difficile	5. Difficile

Cinq types d'exercices



Annexe 10. Modalités et fonctionnement du programme sensorimoteur

Annexe 11. Programme d'exercices sensorimoteurs – exemple de progression

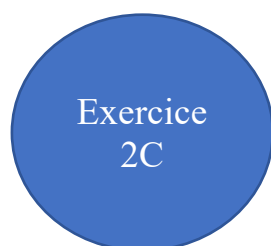
Exercice 2 yeux fermés

Pour l'exercice 2, il vous sera demandé de rester la plus immobile possible durant 30 secondes, les yeux fermés. Mettez-vous dans un endroit calme, préparez un chronomètre (*par exemple*, sur votre téléphone), mettez-vous dans la position décrite dans les consignes avec les genoux légèrement pliés et concentrez-vous sur les sensations que vous ressentez au niveau des pieds et du corps durant l'exercice.

A	B	C	D	E	F
Pieds serrés	En semi-tandem = pied légèrement l'un devant l'autre	En tandem = pied l'un devant l'autre	Pieds serrés en tournant la tête à droite et à gauche	Pieds en tandem en tournant la tête à droite et à gauche	Pieds en tandem en inclinant le buste à droite et à gauche

Annexe 11. Exemple de progression d'un exercice du programme sensorimoteur

Annexe 12. Programme d'exercices sensorimoteurs – exemple d'exercice



Consigne : les yeux fermés, restez la plus immobile possible un pied devant l'autre = position tandem.

Durée : 2 x

15 s pied droit devant puis 15 s pied gauche devant

Position tandem :



Note : photo non floutée pour les participantes

Annexe 12. Exemple d'exercice du programme sensorimoteur

Annexe 13. Liste TIDieR

Items tirés de l'article de Hoffman et al. (2014), traduction libre (Hoffmann et al., 2014) :

« **Point 1.** Nom bref : Indiquez le nom ou une phrase décrivant l'intervention.

Point 2. Pourquoi ? Décrivez la raison d'être, la théorie ou l'objectif des éléments essentiels à l'intervention.

Point 3. Quoi (matériel) : Décrivez tout matériel physique ou informatif utilisé dans l'intervention, y compris ceux fournis aux participants ou utilisés dans la prestation de l'intervention ou dans la formation des prestataires de l'intervention. Indiquez où le matériel peut être consulté (*p. ex.* annexe en ligne, URL).

Point 4. Quoi (procédures) : Décrivez chacune des procédures, activités et/ou processus utilisés dans l'intervention, y compris toute activité de soutien ou de facilitation.

Point 5. Qui a fourni l'intervention : Pour chaque catégorie d'intervenants (*p. ex.* psychologue, infirmière auxiliaire), décrivez leur expertise, leurs antécédents et toute formation spécifique qu'ils ont reçue.

Point 6. Comment : Décrivez les modes de prestation de l'intervention (en face à face ou par un autre mécanisme, tel qu'internet ou le téléphone) et indiquez si l'intervention a été fournie individuellement ou en groupe.

Point 7. Où : Décrivez le(s) type(s) de lieu(x) où l'intervention a eu lieu, y compris toute infrastructure nécessaire ou caractéristique pertinente.

Point 8. Quand et combien : Décrivez le nombre de fois où l'intervention a eu lieu et sur quelle période, y compris le nombre de séances, leur calendrier, leur durée, leur intensité ou leur dose.

Point 9. Adaptation : S'il était prévu que l'intervention soit personnalisée, dosée ou adaptée, décrivez ce qui a été fait, pourquoi, quand et comment.

Point 10. Modifications : Si l'intervention a été modifiée au cours de l'étude, décrivez les changements (quoi, pourquoi, quand et comment).

Point 11. Adhésion (planification) : Si l'adhésion à l'intervention ou la fidélité a été évaluée, décrivez comment et par qui, et si des stratégies ont été utilisées pour maintenir ou améliorer la fidélité, décrivez-les.

Point 12 : Adhésion (intervention réalisée) : Si l'adhésion ou la fidélité à l'intervention a été évaluée, décrivez dans quelle mesure l'intervention a été mise en œuvre comme prévu. »

Annexe 13. Items de la liste TIDieR tirés de l'article de Hoffman et al. (2014), traductions libres

Annexe 14. Programme d'exercices sensorimoteurs – questionnaire de satisfaction

Merci de nous indiquer votre niveau de satisfaction concernant le programme d'exercice qui vous a accompagné ces cinq dernières semaines.

Q1. Êtes-vous satisfaite :	Très satisfaite	Assez satisfaite	Peu satisfaite	Pas satisfaite
Des exercices proposés	4	3	2	1
De la durée quotidienne des exercices (10' environ)	4	3	2	1
De la fréquence du programme (1x/jour)	4	3	2	1
De la durée du programme total (5 semaines)	4	3	2	1
De réaliser les exercices à domicile	4	3	2	1
Du matériel à disposition	4	3	2	1
De la prise en compte de vos difficultés	4	3	2	1
De la disponibilité des accompagnateurs	4	3	2	1
Globalement êtes-vous satisfaite du programme proposé	4	3	2	1

Q2. Durant le programme vous êtes-vous sentie en sécurité ?

Oui / Non

Q3. Est-ce que vous allez continuer à pratiquer de l'activité physique et pourquoi ?

Oui / Non

Q4. En général, lorsque vous pratiquez une activité physique, préférez-vous la pratiquer :

Seule / A plusieurs / Peu importe / Je ne fais pas d'activité physique

Q5. Avez-vous besoin ou envie d'un encadrement pour l'activité physique durant votre prise en charge en cancérologie ?

Oui / Pas systématiquement / Non

Q6. Est-ce que cette expérience a été bénéfique

	Oui	Plutôt oui	Moyennement	Non
Pour votre santé	4	3	2	1
Pour votre moral	4	3	2	1

Dans vos activités au quotidien	4	3	2	1

Q7. Souhaitez-vous ajouter quelque chose (remarque, souhait, impression, ...) ?

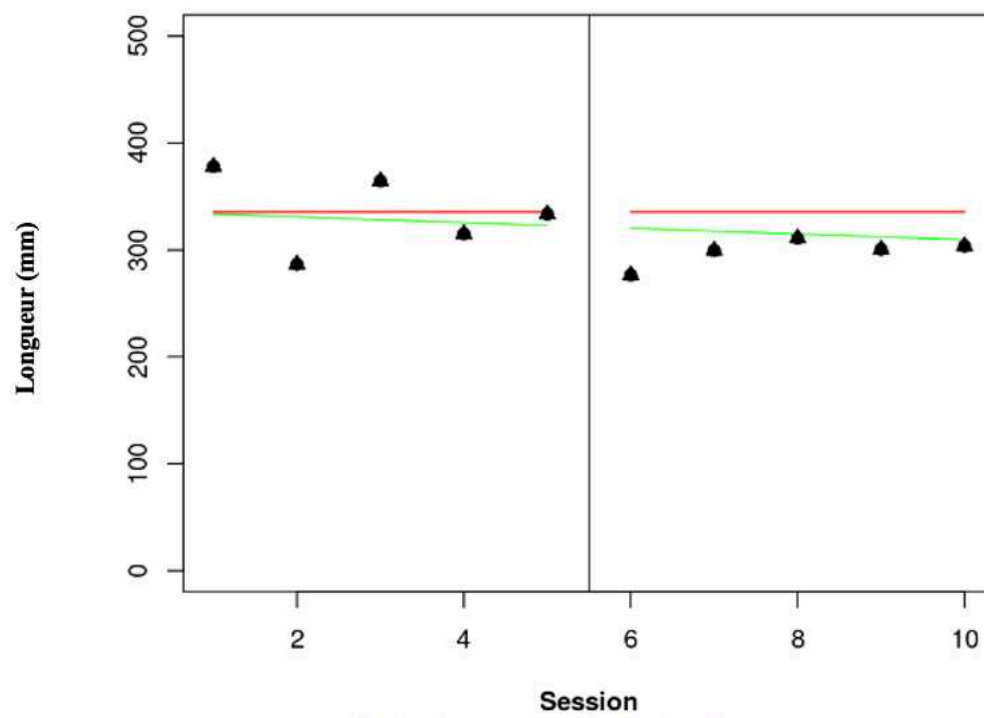
Annexe 14. Questionnaire de satisfaction du programme sensorimoteur

Annexe 15. Programme d'exercices sensorimoteurs – grille d'entretien

Objectif	Question envisagée
Introduction	Comment allez-vous depuis le dernier appel ? Avez-vous toujours (...) ? Avez-vous continué les exercices depuis la fin du programme ?
Cible programme	Quelles ont été vos principales préoccupations physiques durant cette première chimiothérapie ?
	Quel a été l'impact du programme sur ces difficultés ?
	Qu'est-ce que le programme vous a apporté, à vous personnellement ?
Réalisation du programme	Quelles ont été vos difficultés / facilités durant ce programme ? Relance : organisation, programme en tant que tel, évaluations
	Souhaitez-vous y apporter des modifications ? Avez-vous une suggestion à nous faire ? Relance : hôpital/à la maison, groupe/seul, suivi par téléphone/en présentiel, ...
Clôture	Souhaitez-vous ajouter quelque chose ? Est-ce que vous avez pu dire tout ce qui vous tenait à cœur ?

Annexe 15. Grille d'entretien du programme sensorimoteur

Annexe 16. Figure du double critère



Annexe 16. Figure du double critère dans la condition EC pour la 2^{ème} participante tiré du site de Manolov (Manolov, s. d.-b, s. d.-a)

Annexe 17. Paramètre de longueur antérieure

	Tendance de la phase d'observation (baseline trend)	Valeur <i>p</i>	Tau K. Tarlow	Valeur <i>p</i>	Tau phase d'observation corrigée K. Tarlow (baseline corrected Tau)	Valeur <i>p</i>	NAP
Condition yeux ouverts sur sol rigide (EO)							
Participant 1	-0,390	0,288	-0,110	0,745	NA	NA	0,57
Participant 2	-0,527	0,312	0,271	0,402	NA	NA	0,32
Participant 3	0,143	0,764	-0,104	0,745	NA	NA	0,57
Condition yeux fermés sur sol rigide (EC)							
Participant 1	0,000	1,121	-0,273	0,329	NA	NA	0,69
Participant 2	-0,200	0,806	-0,271	0,402	NA	NA	0,68
Participant 3	-0,048	1,000	0,146	0,626	NA	NA	0,40
Condition yeux ouverts sur sol mousse (EOF)							
Participant 1	-0,238	0,548	-0,042	0,935	NA	NA	0,53
Participant 2	0,000	1,194	0,149	0,676	NA	NA	0,40
Participant 3	0,048	1,000	-0,395	0,144	NA	NA	0,77
Condition yeux fermés sur sol mousse (ECF)							
Participant 1	-0,143	0,764	-0,395	0,144	NA	NA	0,77
Participant 2	-0,400	0,462	-0,089	0,835	NA	NA	0,56
Participant 3	-0,810	0,016	-0,252	0,371	0,608	0,023	0,67

*Annexe 17. Résultats de la tendance et des Taus du paramètre de longueur antérieure, accompagnés des valeurs *p* dans les différentes conditions. EO = yeux ouverts, EC = yeux fermés, F = mousse, NA = non applicable, NAP = Nonoverlap of All Pairs, en gras: valeur *p* < 0,05*

Annexe 18. Résultats des paramètres spatio-temporels de la marche

		Pré-phase observation	Fin phase observation	Fin phase intervention
Participant 1	Vitesse de marche (m/s)	1,43	1,25	1,21
	Cadence (pas/min)	113,12	107,82	106,72
	Longueur pas (cm)	0,76	0,70	0,68
	Temps double appui (sec)	24,02	25,26	24,71
	Vitesse de marche double tâche (m/s)	1,15	1,18	1,06
	Cadence double tâche (pas/min)	106,86	165,19	102,69
	Longueur pas double tâche (cm)	0,64	0,64	0,62
	Temps double appui double tâche (sec)	25,17	27,61	24,90
	Vitesse de marche rapide (m/s)	2,02	1,84	1,72
	Cadence rapide (pas/min)	138,67	135,49	129,27
	Longueur pas rapide (cm)	0,87	0,81	0,80
	Temps double appui rapide (sec)	13,72	14,73	19,01
Participant 2	Vitesse de marche (m/s)	1,16	1,16	1,35
	Cadence (pas/min)	115,12	112,08	117,15
	Longueur pas (cm)	0,60	0,62	0,74
	Temps double appui (sec)	19,75	28,24	28,07
	Vitesse de marche double tâche (m/s)	0,93	0,79	1,07
	Cadence double tâche (pas/min)	104,25	91,72	108,07
	Longueur pas double tâche (cm)	0,53	0,52	0,60
	Temps double appui double tâche (sec)	24,60	32,22	27,88
	Vitesse de marche rapide (m/s)	1,59	1,71	1,74
	Cadence rapide (pas/min)	134,48	137,60	134,90
	Longueur pas rapide (cm)	0,71	0,74	0,77
	Temps double appui rapide (sec)	14,56	18,08	18,67
Participant 3	Vitesse de marche (m/s)	1,27	1,37	1,58
	Cadence (pas/min)	109,92	112,26	119,35
	Longueur pas (cm)	0,69	0,73	0,80
	Temps double appui (sec)	26,14	21,17	18,54
	Vitesse de marche double tâche (m/s)	1,11	1,07	1,23
	Cadence double tâche (pas/min)	105,52	101,52	108,45
	Longueur pas double tâche (cm)	0,64	0,63	0,68
	Temps double appui double tâche (sec)	26,68	25,84	20,80
	Vitesse de marche rapide (m/s)	2,02	1,89	.
	Cadence rapide (pas/min)	134,9	132,83	.
	Longueur pas rapide (cm)	0,90	0,85	.

Temps double appui rapide (sec)	14,70	13,31	.

Annexe 18. Résultats de l'évolution des paramètres spatio-temporels de la marche aux trois temps de mesure chez les trois participantes. En bleu, amélioration des paramètres de marche, en orange, dégradation, en jaune, paramètre stable

Annexe 19. Résultats du FACT-taxane et TNSm

		Pré-phase observation	Fin phase observation	Fin phase intervention
Participant 1	Force préhension (Kg)	26,99	26,32	26,63
	TNSm symptômes sensitifs (/4)	0	0	1
	TNSm symptômes moteurs (/4)	0	2	2
	TNSm sensibilité superficielle (/4)	0	0	0
	TNSm sensibilité vibratoire (/4)	0	0	0
	TNSm sensibilité réflexe (/4)	0	1	1
	TNS force (/4)	0	1	0
	TNS score total (/24)	0	4	4
	FACT-tax neurotoxicité (/64)	58	56	43
	FACT-tax total (/172)	114	88	83
Participant 2	Force préhension (Kg)	31,68	31,62	29,04
	TNSm symptômes sensitifs (/4)	0	1	1
	TNSm symptômes moteurs (/4)	0	1	1
	TNSm sensibilité superficielle (/4)	0	0	0
	TNSm sensibilité vibratoire (/4)	0	4	4
	TNSm sensibilité réflexe (/4)	0	0	1
	TNSm force (/4)	0	0	1
	TNSm score total (/24)	0	6	7
	FACT-tax neurotoxicité (/64)	64	63	46
	FACT-tax total (/172)	151,40	162	139
Participant 3	Force préhension (Kg)	22,45	22,55	22,95
	TNSm symptômes sensitifs (/4)	0	0	1
	TNSm symptômes moteurs (/4)	0	0	0
	TNSm sensibilité superficielle (/4)	0	0	0
	TNSm sensibilité vibratoire (/4)	0	0	0
	TNSm sensibilité réflexe (/4)	0	1	1
	TNS force (/4)	0	0	0
	TNS score total (/24)	0	1	2
	FACT-tax neurotoxicité (/64)	61	61	58
	FACT-tax total (/172)	148	144	129

Annexe 19. Résultats de l'évolution des scores aux TNSm et du FACT-tax aux trois temps de mesure chez les trois participantes. En bleu, amélioration du score, en orange, dégradation, en jaune, score stable. FACT = functional assessment of cancer therapy, m = modifié, tax = taxanes, TNS = total neuropathy score

Annexe 20. Résultats des entretiens individuels de l'étude interventionnelle

Thème	Sous-thème	Codage	Citation
Répercussions de la chimiothérapie	Préoccupations physiques	Troubles sensorimoteurs ressentis	- Part02 : Parce que vraiment là au niveau des pieds des doigts c'est c'est (hehe) c'est pas ça en ce moment en tout cas parce que c'est j'ai, j'ai vraiment j'ai, j'ai même voulu faire mes pieds mais je suis obligée d'attendre que parce que j'ai j'ai des douleurs, vraiment des fourmillements et je marche un peu comme un canard là. - Part02 : Oui, oui, oui c'est quand même plus fort que la semaine passée. - Part02 : Mais c'est surtout au bout des doigts aussi que ça reste un peu persistant quoi. Ouais, tout au bout. - Part02 : Oh, les fourmillements, c'est réellement maintenant là que, je les ressens vraiment. Vraiment [ndlr. après la fin du programme]. - Part02 : Oui oui, c'est là maintenant que je les ressens. Parce que pour vous dire que hier quand tu j'ai été au dîner familial. Mais bon, j'ai dû mettre des des, des, des sandales fourrées. Ouais, ouvertes derrière et pour être plus à l'aise quoi. Alors je me suis adaptée en fait. - Part03 : D'accord. Euhm, je disais j'ai pas j'ai pas eu l'impression de ressentir trop euh les effets secondaires dont vous m'aviez parlé qui étaient du coup liés à à ce à ce programme-là. - Part03 : Mais moi personnellement j'avais pas forcément l'impression que du coup, comme j'avais pas forcément l'impression ni d'avoir de perte d'équilibre ni d'avoir de de de perte de sensibilité aux extrémités que ce soit les mains ou les pieds.
		Autres préoccupations ressenties	- Part02 : C'est sur les doigts en fait que je voyais que il y a des peaux qui partaient et tout. - Part03 : Oui [ndlr. effets secondaires fièvre et fatigue]. Et et après plus effectivement ça avançait, plus j'avais j'avais l'impression que que entre le samedi jusqu'au lundi soir, en général, j'avais une espèce de de barre un peu qui qui partait au niveau de la gorge, qui descendait ensuite le lendemain au niveau du cœur où j'avais l'impression d'avoir un poids sur le cœur. Euh et des de, ne me sentir pas bien puis tomber ensuite, j'ai l'impression au niveau de l'estomac le lendemain, vous voyez ? Ça descendait au fur et à mesure, j'avais l'impression et ensuite et ensuite ça redescendait encore un peu plus vers le ventre et à partir du mardi, en général, ça, j'ai l'impression de re revivre quoi. - Part03 : Mais du coup là j'ai plus la barre quoi. Qui étaient les suites encore de la chimio donc je je pense que ça sera mieux. Donc oui c'est ça plus les problématiques un petit peu physiques que j'ai eues en plus. - Part03 : Voilà après des des des préoccupations qui étaient plus liées à l'ordre d'ordre peut-être esthétique mais voilà, sur lesquelles on peut rien faire de toutes façons, mais de de perte de mes cheveux, d'avoir l'impression que je perdais aussi

			euh la densité au niveau des cils, des sourcils euh. Et donc j'ai l'impression qu'ils s'abîmaient. Le toucher, les ongles parfois un peu douloureux, voilà.
Effets du programme	Sphère physique	• Peu d'effets ressentis du programme sur la sphère physique	• Part02 : Pfff. Je sais que j'ai plus de souvenirs, je sais pas si j'en ai vraiment eus [ndlr. préoccupations physiques] physique, physique. • Part03 : D'accord. Euhm, je disais j'ai pas, j'ai pas eu l'impression de ressentir trop euh les effets secondaires dont vous m'aviez parlé qui étaient du coup liés à à ce à ce programme-là donc... donc c'est vrai que du coup c'était difficile de d'évaluer si ça m'apportait quelque chose ou pas en fait. • Part03 : Donc en fait je l'ai plus, je l'ai plus comment dire appréhendé en disant Bah je voilà je vais, je vais, je vais, je vais participer à l'étude et en tout cas si ça peut, si ça peut contribuer à servir de manière générale peut-être à d'autres gens ou je sais pas, tant mieux en fait (petit rire) Voilà mais j'ai. Mais moi personnellement j'avais pas forcément l'impression que du coup, comme j'avais pas forcément l'impression ni d'avoir de perte d'équilibre ni d'avoir de de de perte de sensibilité aux extrémités que ce soit les mains ou les pieds. C'est vrai que je sais pas si c'était si ça arrive dans beaucoup de cas, mais du coup je me rends pas compte si le programme a vraiment contribué à les à les limiter à les éviter ou pas en fait.
	Sphère psychosociale	• Activité physique comme moyen d'évasion	• Part02 : Moi, naturellement, moi naturellement, je suis quelqu'un qui es de, de, de, de sportive. De sportive, oui et avoir eu cette possibilité, ça, ça permet de s'évader. • Part02 : Ça m'a fait rentrer en fait, ça m'a permis de, de, de, de d'être dans un courant de vie normal en quelques sortes pour moi. • Part02 : Franchement, moi ça m'a sortie un peu de dans le cas de la maladie, pas forcément et pourtant, c'était lié à cela, et pourtant c'est un peu contradictoire ce que j'ai dit. Mais moi non. J'ai eu des moments franchement, j'ai eu des moments de détente pendant que je faisais les tests de relaxation [ndlr. mots utilisés par la participante pour parler des exercices quotidiens]. Je me suis détendue, je me suis évadée, j'ai passé à autre chose. Et voilà, c'était, ça me faisait du bien.
		• Importance du contact humain et de l'attention apportée	• Part02 : Euuuuh Qu'est-ce comment je pourrais le dire que. Euh...(temps vide) Ça m'a été bénéfique, ça été bénéfique pour moi moralement et encourageant cette attention cette et ça m'a motivée, ça m'a motivée. • Part02 : Mais c'est un c'est c'est c'est vraiment, enfin qui m'a été réellement agréable, hein ? Vraiment pour moi personnellement, ce contact, ces échanges, cette attention, c'est toujours quelque chose de pour moi, ça a été positif, vraiment positif. Donc ça ne m'a pas dérangée, aucunement. Au contraire, j'ai, j'en ai pris du plaisir en fait, d'être d'avoir été pointée, présente, de venir.

			- Part02 : Mais ces mots doux et autres même dans cette sérénité, ce calme et c'est sérieux. C'est toujours important ce contact humain. Et on a besoin de cette attention, surtout dans cette situation, dans cette traversée. - Part03 : Voilà qui nous demande, comment ça va, comment s'est passée la semaine, que vous m'appeliez dans la semaine. Voilà, j'ai trouvé que c'était du coup euh. Voilà. Appeler (bruit de conversation coupée) de sentir qu'on avait quand même un un cet accompagnement là, mais je pensais psychologique, vous voyez ?
		Bienfaits de la régularité dans l'accompagnement	- Part03 : Euh, je crois que j'ai j'ai tout dit après. Parce que j'ai bien aimé, tellement agréable, c'était malgré tout, d'avoir ce rendez-vous le le vendredi avant la chimio et puis de de revoir un peu, toujours une tête connue quoi. Euh (temps de silence). - Part03 : Bah agréable aussi d'avoir à chaque fois quelqu'un dont on a l'habitude, nous, on nous revoit toutes les semaines qui nous demande, après si on fait le traitement et que bah les infirmières c'est jamais les mêmes réellement à part de temps en temps quoi voilà plein de mes on a l'impression d'être dans l'anonymat (bruit de conversation brouillée). - Part03 : Oui je disais que pour le coup pour la partie traitement de chimio, comme les les infirmiers changent tout le temps et même dans la dans la pendant le traitement c'est pas toujours les mêmes qui rentrent dans la chambre et qui repartent, on a l'impression que c'est un peu, qu'on a un peu un numéro, que c'est l'anonymat, quoi. - Part03 : J'ai trouvé quand même appréciable d'un point de vue psychologiquement, de revoir une tête connue quand même tous les vendredis, euh.
Réalisation du programme	Organisation	Évaluations hebdomadaires peu contraignantes	- Part02 : De façon générale, non. En termes d'organisation non parce que moi c'était c'était planifié le même jour que la chimio, donc franchement ça m'a pas dérangé. Moi personnellement, ça m'a vraiment pas dérangé. - Part03 : Euh, je crois que j'ai j'ai tout dit après. Parce que j'ai bien aimé, tellement agréable, c'était malgré tout, d'avoir ce rendez-vous le le vendredi avant la chimio
		Difficultés à dégager du temps dans le quotidien	- Part02 : Ça allait moins. Oui, parce que le fait bon, ça il y a l'atmosphère familiale aussi, hein, avec ce qu'il y avait à faire et tout, c'est et avoir du temps. - Part03 : Parce qu'après c'était pas très long en fait hein, c'était 10 min, c'était pas non plus euh.

		• Réaliser le programme en menant une activité professionnelle concomitante	• Part02 : Oh pas forcément, pas forcément ouais [<i>ndlr.</i> concentration plus difficile les jours où elle travaillait]. • Part03 : Donc me dire que je que je devais faire en plus tous les jours même si c'était pas long du tout. Mais rien que l'idée de me dire tous les jours faut que je pense à faire les exercices comme je travaillais toute la journée, de les faire le soir et tout. C'est vrai que j'ai trouvé ça. J'ai trouvé ça euh difficile à à à tenir.
		• Réaliser le programme à domicile	• Part02 : Euuuh, pfff, ça peut aller [<i>ndlr.</i> faire le programme à domicile seule] si on est réellement sérieux.
	Motivation	• Diminution de la motivation à pratiquer une activité physique au fil du traitement	• Part02 : parce que moi, je me souviens, au début, j'étais quand même assez motivée (rire). • Part02 : (Rire) Assez motivée (rire) et donc plus que motivée que maintenant quoi. Ça il faut le reconnaître. Parce que moi j'arrivais, je faisais mon vélo, j'ai marché, je, je continue, voilà et tout. • Part02 : Et là j'ai été rattrapée un peu avec l'anémie et les fourmillements. Ça m'a je sais pas, c'est je crois que c'est la grosse secousse finale, la grosse vague qui m'a rattrapée au bout du compte peut-être. • Part03 : Je, je pense que la plus grosse euh difficulté, c'était euh en fait, c'était c'est quelque part de tenir sur la durée. • Part03 : Notamment quand c'est les exercices de tous les jours. Parce que c'est vrai qu'en plus avec le traitement on on on commence à avoir une certaine fatigue qui qui s'accumule, une certaine lassitude qui s'accumule et du coup en fait plus. Au début j'avais pas pas. Enfin ça, ça se passait plutôt bien. C'est vrai que vers la fin du programme, j'étais vraiment euh complètement HS le vendredi mais pas trop en forme le samedi et le dimanche avec j'ai. Et là plus ça avançait plus j'avais l'impression qu'en plus ça se combinait du coup avec une baisse de moral parce que j'ai l'impression que ça finissait jamais quoi.
	Capacités à réaliser le programme	• Facilité à réaliser les exercices	• Part03 : La facilité c'est que les exercices étaient pas étaient pas à part un où j'avais toujours le même [<i>ndlr.</i> tandem yeux fermés] je vous avais dit où j'avais toujours un peu des difficultés. Mais sinon les autres exercices c'était pas, c'était pas très difficile euh. J'avais le sentiment en tout cas pour moi à faire quoi ?
		• Difficulté à réaliser la position tandem	• Part02 : Et la difficulté au niveau des tests, c'était comme je vous l'ai fait savoir, c'était la position tandem, d'où le fait que j'ai voulu refaire un peu avec vous. • Part02 : Pouvoir, éventuellement, voilà. Et c'était ça, c'était ça, hein, c'était ça. Et le fait de fermer les yeux. Oh là là c'était (petit rire évaluatrice) moi (rire participante 2). Ma ma, ma plus grosse difficulté a été fait, le tandem et les yeux fermés. Et les yeux fermés et pas sur tout, hein, quand tant que j'étais sur la plateforme, ça va. Et sur la mousse, moins quand même moins quand même, parce que je je sentais que

			je vacillais, que je m'appuyais d'un côté ou de l'autre pour pouvoir résister. Alors pour le reste, il y avait quoi d'autres ? Part03 : Ou à chaque fois, j'ai dû noter sur le carnet euh que, que euh j'arrivais pas forcément à à à toujours bouger la tête. J'essaie déjà de me concentrer sur être déjà les yeux fermés. Les pieds sur 2 lignes et déjà resté debout. Euh mais, mais voilà, c'est vraiment le seul exercice qui m'a posé des difficultés.
		Variations des capacités d'un jour à l'autre	Part02 : Oh, il y a des moments où, selon la fatigue ressentie physiquement, oui. Eeeet il y a des fois d'une façon générale, ça allait il y a des jours où ça allait moins.
		Besoin de concentration	- Part02 : Au début c'était le le décantage et un peu au niveau de la concentration quand même. Ouais, ouais. - Part02 : Parce que c'est pas seulement avoir du temps, mais pour voir aussi jumeler autant la concentration nécessaire pour le faire.
	Suggestions d'amélioration	Besoin de remonter les exercices à un thérapeute	- Part02 : Moi j'ai toujours moi, j'ai tenu à le refaire avec vous que pour que vous, en tant que spécialiste, que vous ayez une idée précise quand même de ce que j'ai pu faire, me précise au général de ce que j'ai pu faire avec les enfants (rire). - Part02 : Donc moi je trouve qu'il est toujours bon. Qu'il serait bon et au final de pouvoir faire ce qu'on a fait [ndlr. refaire une session en présentiel] avec les autres patients si possible. Dès qu'ils aient fait à la maison et qu'il y ait cette conclusion finale là, en sorte.
		Précision à apporter dans la description des exercices	Part02 : Euh les modifications, c'est peut-être apporter un peu plus de précisions quant aux exercices qu'il faut faire. Ouais, c'est ça, c'est ce que je dirais.
		Souhait d'un jour de pause durant la semaine, le jour de la chimiothérapie	- Part03 : J'aurais, j'aurais bien aimé au début, j'avais cru d'ailleurs (petit rire) peut-être, peut-être ce serait bien de faire genre un jour de, un jour de pause, peut-être le jour justement, où il y a la chimio. Je me rends pas compte, ça ça se... toujours pareil, mais. De dire que, en plus, le matin on est venue, on a fait les exercices, ensuite on a pris la chimio et ensuite il faut refaire à la maison de nouveau une série d'exercices. J'ai trouvé que ça, ça faisait que c'était lourd et (temps de silence) pour le coup moi sur la fin, entre mes plus de 39 de fièvre j'ai pas eu de chance et après où je dormais jusqu'à 7 h du soir en fait j'y arrivais même plus à aller chercher (deux mots inaudibles). - Part03 : Voilà, mais ça m'aurait peut-être déculpabilisée de dire ben on a le droit à un jour de repos et ensuite on réattaque. Enfin voilà, je sais pas.

Annexe 20. Propos rapportés par les participantes lors des entretiens individuels

Annexe 21. Vitesses de marche et corrélations entre le test de marche de 10 m, le TM2 et le TM6 chez différentes populations

Population	Étude	Test de marche de 10 m		TM6/TM2 (m/s)	Corrélation test de marche de 10 m - (Coefficient de corrélation)	
		Confortable (m/s)	Rapide (m/s)			
Cancer (tête et cou) (N = 42)	Eden et al., 2018	1,44	-	TM6 : 1,46	TM6	$r = 0,68$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
Cancer (poumon) (N = 50)	Kim et al., 2023	-	1,34	TM6 : 1,41	TM6	$r = 0,70$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
Personnes âgées en bonne santé générale (N = 50)	Simonsick et al., 2000 Test de 20 m, départ arrêté	-	1,64	TM6 : 1,26	TM6	$0,65 \leq r \leq 0,73$ ($p < 0,05$)
					TM2	-
Adultes en bonne santé générale (N = 46)	Dalgas et al., 2012	1,70	2,56	TM6 : 1,98	TM6	$r = 0,26$ vitesse confortable ns $r = 0,69$ vitesse rapide ($p < 0,05$)
					TM2	-
Adultes en bonne santé générale (N = 74)	Roush et al., 2021	Homme 1,51 Femme 1,42	-	TM6 : Homme 1,50 Femme 1,46 TM2 : Homme 1,51 Femme 1,45	TM6	$r = 0,59$ ($p < 0,05$)
					TM2	$r = 0,63$ ($p < 0,05$)
BPCO (N = 49)	Andersson et al., 2011 Test de 30 m	1,15	1,60	NS	TM6	$r = 0,73$ vitesse confortable ($p < 0,01$) $r = 0,78$ vitesse rapide ($p < 0,01$)
					TM2	-
Pathologie pulmonaire chronique (N = 70)	DePew et al., 2013 Test de 4 m	0,85	-	TM6 : 1,01	TM6	$r = 0,70$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
Pathologie pulmonaire (N = 35)	Hirabayashi et al., 2020 Test de 4 m	1,05	-	NS	TM6	$r = 0,57$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
Pathologie cardiaque (N = 1474)	Kamiya et al., 2018	1,04	-	TM6 : 1,06	TM6	$r = 0,80$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
AVC (N = 25)	Eng et al., 2002 Test de 4 m	0,80	-	TM6 : 0,74	TM6	$r = 0,92$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
AVC (N = 17)	Kelly et al., 2003	0,71	1,03	TM6 : 0,84	TM6	$r = 0,91$ vitesse confortable (valeur p non rapportée) $r = 0,89$ vitesse rapide (valeur p non rapportée)
					TM2	-
AVC (N = 50)	Flansbjerg et al., 2005	0,89 - 0,94	1,30 - 1,40	TM6 : 1,07 - 1,11	TM6	$0,84 \leq r \leq 0,89$ vitesse confortable ($p < 0,01$) $0,94 \leq r \leq 0,95$ vitesse rapide ($p < 0,01$)
					TM2	-
AVC (N = 36)	Tang et al., 2006 Test de 5 m	0,84	1,15	TM6 : 0,95	TM6	$r = 0,79$ vitesse confortable ($p < 0,01$) $r = 0,82$ vitesse rapide ($p < 0,01$)
					TM2	-
AVC (N = 74)	Patterson et al., 2007 Test de 9 m	0,51	-	TM6 : 0,60	TM6	$r = 0,88$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
AVC (N = 38)	Dalgas et al., 2012	0,69	0,92	TM6 : 0,81	TM6	$r = 0,91$ vitesse confortable $r = 0,94$ vitesse rapide ($p < 0,05$)

					TM2	-
Scléroses multiples (N = 50)	Gijbels et al., 2010 Test de 7,6 m, départ arrêté Corrélation tirée de Dalgas et al., 2012	-	1,03	TM6 : 1,14	TM6	$r = 0,88$ (valeur p non rapportée)
					TM2	-
Scléroses multiples (N = 48)	Dalgas et al., 2012 Départ arrêté	N/S	1,37	TM6 : 1,21	TM6	$r = 0,95$ vitesse rapide ($p < 0,05$)
					TM2	-
Scléroses multiples (n = 16 pour les valeurs, 28 pour les corrélations)	Scalzitti et al., 2018	1,19	1,55	TM6 : 1,06 TM2 : 1,17	TM6	$r = 0,97$ vitesse confortable ($p < 0,01$) $r = 0,93$ vitesse rapide ($p < 0,01$) Vitesse rapide vs. vitesse confortable test de 10 m : $r = 0,96$ ($p < 0,01$)
					TM2	$r = 0,92$ vitesse confortable ($p < 0,01$) $r = 0,94$ vitesse rapide ($p < 0,01$)
Troubles neurologiques (N = 46)	Rossier & Wade, 2001 Test de 10 m mesuré pendant le TM2 Corrélation avec le temps et non la vitesse	0,74	-	TM2 : 0,70	TM6	-
					TM2	$r = -0,61$ (valeur p non rapportée)
HTLV-1 avec myélopathie (N = 26)	Adonis et al., 2016	0,60 basé sur la médiane	-	TM6 : 0,50 basé sur la médiane	TM6	$r = 0,93$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
Parkinson (N = 346)	Duncan et al., 2017	1,18	1,64	TM6 : 1,20	TM6	$r = 0,75$ vitesse confortable ($p < 0,01$) $r = 0,79$ vitesse rapide ($p < 0,01$)
					TM2	-
Lésé médullaire (N = 20)	Kim et al., 2004 Vitesse auto-sélectionnée durant test de 4 m	0,55	-	TM6 : 0,53	TM6	$r = 0,98$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
Lésé médullaire (N = 18)	Van Hedel et al., 2007 Corrélations tirées de Dalgas et al., 2012	0,79	1,10	TM6 : 1,11	TM6	$r = 0,93$ vitesse confortable (valeur p non rapportée) $r = 0,93$ vitesse rapide (valeur p non rapportée)
					TM2	-
Lésé médullaire (N = 37)	Scivoletto et al., 2011	1,90 (IQR 1,30 - 2,80)	-	TM6 : 0,63 (IQR 0,34 - 0,89)	TM6	-
					TM2	-
Lésé médullaire (n = 33 de 95 avec indépendance complète)	Amatachaya et al., 2014	0,83	-	TM6 : 0,63	TM6	$r = 0,83$ ($p < 0,01$)
					TM2	-
Lésé médullaire (N = 249)	Forrest et al., 2014	0,81	-	TM6 : 0,67	TM6	$r = 0,94$ [IC 95% 0,92-0,96] (valeur p non rapportée)
					TM2	-
Démence ou Alzheimer (N = 37)	Chan and Pin 2019 Test de 10 m mesuré pendant le TM6	0,64	-	TM6 : 0,54 TM2 : 0,52	TM6	$r = 0,91$ ($p < 0,01$)
					TM2	$r = 0,84$ ($p < 0,01$)

Annexe 21. Vitesses de marche et corrélations entre le test de marche de 10 m, le TM2 et le TM6 évaluées chez différentes populations dans les précédentes études. Adapté de Dalgas et al., 2012. AVC = accident vasculaire cérébral, BPCO = bronchopneumopathie chronique obstructive, HTLV = virus T-Lymphotrope humain, IC = intervalle de confiance, IQR = écarts interquartile, N = nombre de participants, NS = non-spécifié, ns = non-significatif, r = coefficient de corrélation, TM2 = test de marche de 2 min, TM6 = test de marche de 6 min

Annexe 22. Lettre d'information de l'étude de validité des tests de marche en oncologie

Information aux patients

Titre de l'étude

Évaluation de la capacité physique du sujet en oncologie : étude de validation du test de marche de deux minutes (Projet 2MWTOnco).

Promoteur : ce projet est organisé par la Haute École de Santé de Genève filière physiothérapie, en collaboration avec les Hôpitaux Universitaires de Genève.

Madame, Monsieur,

Nous vous proposons de participer à notre projet de recherche qui étudie les capacités à la marche. Cette feuille d'information décrit le projet de recherche.

Information détaillée

1. Objectifs de l'étude

Nous nous intéressons aux capacités à la marche car le cancer et son traitement ont un impact important sur les capacités physiques. Le test de marche de six minutes est fréquemment utilisé en clinique pour évaluer les capacités à la marche. Une variante de ce test existe : le test de marche de deux minutes. Le test de marche de deux minutes s'effectue de la même manière que celui de six minutes : mêmes consignes et même procédure de test. Il offre l'avantage d'être moins fatigant pour les personnes testées et de faire gagner du temps aux physiothérapeutes réalisant les tests. Certains auteurs pensent que le test de marche de deux minutes pourrait remplacer le test de marche de six minutes dans l'évaluation clinique quotidienne mais aucune évaluation n'a été menée dans un contexte oncologique.

Cette étude doit nous permettre de savoir si :

- 1) Un test évaluant la capacité physique à la marche pendant deux minutes (test de marche de deux minutes) est valide en comparaison avec le test de six minutes, fréquemment utilisé en clinique.
- 2) Le test de marche de deux minutes est corrélé à la vitesse de marche naturelle et à la vitesse rapide.
- 3) L'évaluation de la vitesse de marche par le patient donne des résultats similaires à un test réalisé par le thérapeute.

2. Sélection des personnes pouvant participer à l'étude

En tant que physiothérapeutes, nous souhaiterions vous proposer de participer à notre étude. Pour cela, vous devrez être majeur, être en mesure de pouvoir donner votre consentement et pouvoir marcher pendant six minutes.

Si vous souffrez de problèmes cardiaques, de métastases osseuses à risque de fracture, d'ostéoporose à risque de fracture élevé, d'hypertension artérielle non équilibrée ou si vous ne pouvez pas faire les tests de marche pour différentes raisons comme par incapacité à comprendre les consignes, vous ne pourrez pas prendre part à l'étude.

3. Informations générales sur l'étude

- Cette étude, réalisée en Suisse (étude nationale), aura une durée totale de 12 mois. Cinquante participants seront inclus. Les participants seront recrutés dans le service d'oncologie des Hôpitaux Universitaires Genevois (service du Prof. XXX).
- Toutes les personnes incluses dans l'étude auront la même procédure de test et le même suivi.
- Tous les tests seront réalisés la même journée et dureront environ 35 minutes.
- Les personnes qui en exprimeront le souhait pourront recevoir leurs résultats de manière individuelle.
- Nous effectuons cette étude dans le respect des prescriptions de la législation suisse. Nous suivons, en outre, l'ensemble des directives reconnues au niveau international.
- Vous trouverez aussi un descriptif de l'étude sur le site Internet de l'Office fédéral de la santé publique : www.kofam.ch.

4. Déroulement pour les participants

- Vous effectuerez cinq tests : un test consistant à marcher six minutes, un consistant à marcher deux minutes, deux autres nécessitant de marcher sur 10 mètres (une fois à vitesse naturelle et une fois à vitesse rapide) indiquant votre vitesse de marche et un test d'équilibre. L'entièreté des tests ne devrait pas durer plus de 35 minutes.
- Les tests seront réalisés par des physiothérapeutes confirmés ayant l'habitude d'administrer des tests de marche.
- Vous aurez un temps de repos entre chaque test.
- Vous effectuerez les tests dans un ordre spécifique prédéfini avant l'étude. L'ordre des tests sera tiré au sort afin que chacun ait sa propre séquence de test. Il diffèrera donc entre les participants.

Aucun examen et aucune mesure ne sont invasives ou douloureuses dans ce protocole.

Tous les tests se réaliseront dans le service aux Hôpitaux Universitaires Genevois (HUG).

Tableau synthétique du déroulement :

Tableau synoptique du déroulement :			
Phase	Tests	Durées	Total
Examen clinique	Marche 2 minutes	5 minutes	35 minutes
	Repos selon vos besoins, environ 5 minutes		
	Marche 6 minutes	10 minutes	
	Repos selon vos besoins, environ 5 minutes		
	Deux tests de marche sur 10m	5 minutes	
	Repos selon vos besoins, environ 5 minutes		
	Test d'équilibre	3 minutes	

La durée totale pour vous est de 30 minutes environ sur une journée.

Il se peut que nous devions vous exclure de l'étude avant le terme prévu. Cette situation peut se produire si vous n'arrivez pas à effectuer tous les tests (dégradation de l'état médical, fatigue excessive, ...).

5. Bénéfices pour les participants

Il n'y a pas de bénéfice individuel. Les bénéfices éventuels sont pour les futurs patients.

Les résultats des tests déjà validés pourront être utilisés par les physiothérapeutes pour votre suivi.

6. Droits des participants

Vous devez prendre part à cette étude uniquement selon *votre* propre volonté. Si vous choisissez de ne pas participer ou si vous choisissez de participer et revenez sur votre décision pendant le déroulement de l'étude, vous n'aurez pas à justifier votre refus. Cela ne changera rien à votre prise en charge médicale habituelle. Vous pouvez à tout moment poser toutes les questions nécessaires au sujet de l'étude. Veuillez-vous adresser pour ce faire à la personne indiquée à la fin de la présente feuille d'information.

7. Obligations des participants

En tant que participant à l'étude, vous serez tenu :

- de suivre les instructions de votre investigateur et de vous conformer au plan de l'étude (suivre scrupuleusement les consignes qui vous seront indiquées pour chaque test et respecter les temps de repos);
- d'informer votre investigateur de l'évolution de la maladie et de lui signaler tout nouveau symptôme, tout nouveau trouble et tout changement dans votre état (pendant la journée et pendant chaque test) ;

8. Risques et contraintes pour les participants

Cette étude comporte les risques habituels liés aux tests de capacité physique (*p. ex.* fatigue, essoufflement, chute).

Vous ne devrez rien payer pour participer à l'étude.

9. Autres possibilités de traitement

Vous n'êtes pas tenu de participer à l'étude. Cette étude n'a pas pour objet l'évaluation d'un traitement, dès lors, elle ne modifie en rien votre prise en charge. Si vous décidez de ne pas prendre part à cette étude, votre traitement habituel continuera dans les conditions normales du service avec le même professionnalisme et la même attention pour vous prendre en charge le mieux possible.

10. Confidentialité des données et des échantillons

Pour les besoins de l'étude, nous enregistrerons vos données personnelles et médicales. Seul un nombre limité de personnes peut consulter vos données sous une forme non codée, et exclusivement afin de pouvoir accomplir des tâches nécessaires au déroulement du projet.

Les données recueillies à des fins de recherche sont codées lors de leur collecte. Le codage signifie que toutes les données permettant de vous identifier (*p. ex.* le nom, la date de naissance, etc.) sont remplacées par un code (le codage respecte les recommandations de swissethics). Le code reste en permanence au sein de l'institution/ de l'hôpital. Les personnes ne connaissant pas ce code ne peuvent pas lier ces données à votre personne. Dans le cas d'une publication, les données agrégées ne vous sont donc pas imputables en tant que personne. Votre nom n'apparaîtra jamais sur Internet ou dans une publication. Parfois, les journaux scientifiques exigent la transmission de données individuelles (données brutes). Si des données individuelles doivent être transmises, elles sont toujours codées et ne permettent donc pas de vous identifier en tant que personne. Toutes les personnes impliquées dans l'étude de quelque manière que ce soit sont tenues au secret professionnel. Toutes les directives relatives à la protection des données sont respectées et vous avez à tout moment le droit de consulter vos données.

Toutes les données et les documents (papiers et électroniques sur serveur protégé) seront archivés et conservés de manière sécurisée dans une armoire fermée dans le bureau de l'investigatrice principale pendant une durée de 10 ans.

En cas de réutilisation des données pour d'autres projets de recherche : si vous avez signé le consentement général dans le service de l'hôpital, il se peut que les données et échantillons liés à votre santé soient ultérieurement exploités dans de futurs projets de recherches.

Durant son déroulement, l'étude peut faire l'objet d'inspections. Celles-ci peuvent être effectuées par la commission d'éthique qui s'est chargée de son contrôle initial et l'a autorisé ou par l'organisme qui l'a initiée. Il se peut que l'investigateur doive communiquer vos données personnelles et médicales pour les besoins de ces inspections.

En cas de dommage, un représentant de l'assurance peut également être amené à consulter vos données. Toutes les personnes sont tenues au secret professionnel.

Il est possible que le médecin s'occupant de votre suivi médical soit contacté au sujet de votre état de santé.

11. Retrait de l'étude

Vous pouvez, à tout moment, vous retirer de l'étude si vous le souhaitez. Les données médicales recueillies jusque-là seront tout de même analysées, ceci afin de ne pas compromettre la valeur de l'étude dans son ensemble.

Après l'analyse, nous rendrons vos données anonymes, en effaçant définitivement le code les reliant à votre personne. Après cela, plus personne ne pourra savoir que ces données sont les vôtres.

12. Compensation des participants

Si vous participez à cette étude, vous ne recevrez pour cela aucune compensation.

Votre participation n'aura aucune conséquence financière pour vous ou votre assurance maladie.

13. Réparation des dommages subis

L'organisme (promoteur) qui a initié l'étude et est en charge de sa réalisation est responsable des dommages que vous pourriez subir en relation avec les activités de recherche (*p.ex.* examens). Les conditions et la procédure sont fixées par la loi.

Si vous avez subi un dommage, veuillez-vous adresser à l'investigatrice de l'étude indiquée ci-dessous.

14. Financement de l'étude

L'étude est financée par le fonds de recherche interne de la HES-SO, commission du domaine de santé (Projet 02-A18).

15. Interlocuteur(s)

En cas de doute, de craintes ou d'urgences pendant ou après l'étude, vous pouvez vous adresser à tout moment à l'un des interlocuteurs suivants :

Investigateur :

Aline Reinmann

Assistante et étudiante en doctorat à la Haute Ecole de Santé HEdS, filière physiothérapie

Adresse : XX

Tél : XX

Mail : XX

Collaborateurs :

Dr Bodmer et Dr Kössler, médecins adjoints, chefs d'unité en oncologie HUG, Nicolas Müller, physiothérapeute dans le service en oncologie

Tél : XX

Adresse : XX

Déclaration de consentement

Déclaration de consentement écrite pour la participation à un projet de recherche

Veuillez lire attentivement ce formulaire. N'hésitez pas à poser des questions lorsque vous ne comprenez pas quelque chose ou que vous souhaitez avoir des précisions.

Numéro BASEC de l'étude : (après soumission à la commission d'éthique compétente) :	
Titre de l'étude : (titre scientifique et titre usuel)	Titre scientifique : Évaluation de la capacité physique du sujet en oncologie : étude de validation du test de marche de deux minutes (Projet 2MWTONco)
Institution responsable : (Promoteur avec adresse complète) :	Haute École de Santé de Genève Avenue de Champel 47 1206 Genève
Lieu de réalisation de l'étude :	Hôpitaux Universitaires Genevois (HUG), service d'oncologie
Investigatrice responsable du projet sur le site : (nom et prénom en caractères d'imprimerie) :	ALINE REINMANN
Participant / participante : (nom et prénom en caractères d'imprimerie) :	
Date de naissance :	☐ femme ☐ homme

- Je déclare avoir été informé-e, par l'investigatrice responsable de cette étude soussignée, oralement et par écrit, des objectifs et du déroulement de l'étude ainsi que des effets présumés, des avantages, des inconvénients possibles et des risques éventuels.
- Je prends part à cette étude de façon volontaire et j'accepte le contenu de la feuille d'information qui m'a été remise sur l'étude précitée. J'ai eu suffisamment de temps pour prendre ma décision.
- J'ai reçu des réponses satisfaisantes aux questions que j'ai posées en relation avec ma participation à l'étude. Je conserve la feuille d'information et reçois une copie de ma déclaration de consentement écrite.
- J'accepte que mon médecin traitant soit informé de ma participation à l'étude.
- J'accepte que les spécialistes compétents du promoteur de l'étude, de la Commission d'éthique compétente, puissent consulter mes données brutes afin de procéder à des contrôles, à condition toutefois que la confidentialité de ces données soit strictement assurée.
- Je serai informé-e des découvertes ayant une incidence directe sur ma santé. Si je ne souhaite pas obtenir ces informations, j'en aviserai l'investigatrice.
- Je sais que mes données personnelles peuvent être transmises à des fins de recherche dans le cadre de ce projet uniquement et sous une forme codée.
- Je peux, à tout moment et sans avoir à me justifier, révoquer mon consentement à participer à l'étude, sans que cela n'ait de répercussion défavorable sur la suite de ma prise en charge.
- Je suis informé que la responsabilité civile de l'hôpital/institution couvre les dommages éventuels que je pourrais subir imputables au projet.
- Je suis conscient-e que les obligations mentionnées dans la feuille d'information destinée aux participants doivent être respectées pendant toute la durée de l'étude. La direction de l'étude peut m'en exclure à tout moment dans l'intérêt de ma santé.

Lieu, date	Signature du participant / de la participante

Attestation de l'investigatrice : Par la présente, j'atteste avoir expliqué au participant / à la participante la nature, l'importance et la portée de l'étude. Je déclare satisfaire à toutes les obligations en relation avec ce projet conformément au droit en vigueur. Si je devais prendre connaissance, à quelque moment que ce soit durant la réalisation du projet, d'éléments susceptibles d'influer sur le consentement du participant / de la participante à prendre part au projet, je m'engage à l'en informer immédiatement.

Lieu, date	Nom et prénom de l'investigatrice assurant l'information aux participants en caractères d'imprimerie. Signature de l'investigatrice :

Annexe 22. Lettre d'information de l'étude de validité des tests de marche en oncologie

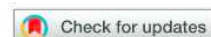
BMJ Open Influence of chemotherapy on postural control and quality of life in women with gynaecological cancer: a protocol of a prospective observational study

Aline Reinmann ¹, Anne-Violette Bruyneel ¹, Joseph Gligorov ², Serge Mesure,³ Christophe Combescure,⁴ Thibaud Koessler,^{5,6} Alexandre Bodmer^{5,6}

To cite: Reinmann A, Bruyneel A-V, Gligorov J, *et al.* Influence of chemotherapy on postural control and quality of life in women with gynaecological cancer: a protocol of a prospective observational study. *BMJ Open* 2022;**12**:e061664. doi:10.1136/bmjopen-2022-061664

► Prepublication history for this paper is available online. To view these files, please visit the journal online (<http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2022-061664>).

Received 03 February 2022
Accepted 31 July 2022



© Author(s) (or their employer(s)) 2022. Re-use permitted under CC BY-NC. No commercial re-use. See rights and permissions. Published by BMJ.

For numbered affiliations see end of article.

Correspondence to

Aline Reinmann;
aline.reinmann@hesge.ch

ABSTRACT

Introduction Chemotherapy-induced peripheral neuropathy is a frequent side effect of some chemotherapies that can cause postural control disorders and has a serious impact on quality of life (QoL). An enhanced understanding of postural control dysfunction could help build a systematic and accurate assessment as well as specific exercises to limit the impact on QoL. This study aims to assess the influence of chemotherapy on postural control and the QoL for women with gynaecological cancer.

Methods and analysis This prospective observational study will include 37 participants with cancer treated using neurotoxic chemotherapy. Their postural control in various conditions (rigid and foam surfaces, eyes open and closed, with and without tendon vibration, and dual tasks), limits of stability, QoL and modified Total Neuropathy Score will be assessed. A linear mixed model will compare postural control pre-chemotherapy and post-chemotherapy.

Ethics and dissemination This study was approved by an ethical review board in Geneva (CCER-2020-01639). The study findings will be disseminated through conference presentations and publications in peer-reviewed journals.

Trial registration number NCT04692168.

BACKGROUND AND RATIONALE

Chemotherapy-induced peripheral neuropathy (CIPN) is a frequent side effect of chemotherapy treatments.¹ More than 60% of patients with cancer experience CIPN within one month of completing their therapy. Due to a multifactorial process that includes nerve fibre damage, oxidative stress, and inflammation,² CIPN generates sensory symptoms (neuropathic pain, tingling, numbness, and hypo/hypersensitivity) as well as motor (weakness, hyporeflexia, and cramps), gait, and postural control impairments.³

Postural control disorders are among the most frequent posturodynamic impairments described by cancer survivors.³ Postural control is defined as the 'act of maintaining,

STRENGTHS AND LIMITATIONS OF THIS STUDY

- ⇒ The main strength of this study lies in its evaluation of various conditions of postural control with sensory input disturbance to obtain an enhanced understanding of postural control adjustment strategies after chemotherapy.
- ⇒ This study considers static and dynamic stability.
- ⇒ As a test session is relatively long, some fatigue may be experienced.
- ⇒ Specific inclusion criteria are applied (age, comorbidities and treatment type), so the study population may not represent all people with gynaecological cancer.

achieving or restoring a state of balance during any posture or activity',⁴ whereas balance is 'the ability to keep the body's centre of mass within the limits of the base of support'.⁵ This complex physical capacity includes 'static stability', namely 'the ability to control the centre of mass when the base of support does not change', and 'dynamic stability', namely 'the ability to weight shift, controlling the centre of mass within the base of support'.⁵ Studies assessing postural control using a force platform have demonstrated that chemotherapy patients have increased centre of pressure (CP) parameters compared with healthy individuals.^{6–12} The increased CP root mean square (RMS), ellipse area, and velocity found in people with cancer indicate the reduced accuracy of position control, the delayed detection of imbalance and more corrective actions required for maintaining stability.^{6–8–10–12–13}

These disturbances can be observed in a static balance task with eyes open and in a balance task with disturbed sensory input (i.e., eyes closed or on an unstable surface),¹¹ making postural control more difficult. The eyes-closed condition limits the availability of

visual input, and an unstable surface such as foam disrupts the somatosensory system by altering proprioceptive feedback in the feet and reducing the muscle response efficiency at the ankles.¹⁴ Therefore, the vestibular system is mainly used to develop an efficient postural strategy for managing postural control.¹²

Among all patients treated with chemotherapy, those with CIPN tend to exhibit more pronounced postural control disorders.^{8, 15} These disturbances have been predominantly found in test conditions relying on the vestibular and somatosensory systems (i.e., on a rigid surface).⁸ A possible explanation is that the pain, paraesthesia, and loss of sensitivity found in the CIPN may limit somatosensory feedback and prevent adequate postural adjustment.⁸

However, the link between the CIPN-associated decrease in peripheral sensory capacities and postural disorders is unclear. Whereas some authors^{12, 16} have reported a link between CIPN and impaired postural control capacity, others have not.^{13, 17} Thus, the roles of the somatosensory system and CIPN in postural control disorders in patients with cancer remain unclear. According to a recent review by Wang *et al.*,³ further work is required to clarify the involvement of the different systems—namely the CIPN-altered somatosensory, vision, and vestibular systems—in postural control disorders.³

This study will perform postural control tests by disturbing different sensory inputs, individually and in combination, to provide information on the sensory inputs preferentially used by patients and the coping mechanisms employed when one or more systems are disrupted by treatment. To date, no longitudinal design study has assessed postural control under conditions of a somatosensory system disturbance. The somatosensory system can be disturbed, for example, with a foam surface or a vibration system. A vibration system, recommended in experimental settings,¹⁸ involves inducing an illusion of movement by stimulating the neuromuscular spindles of afferent Ia fibres of the sural triceps tendon, thus disrupting somatosensory feedback. So far, unstable surfaces have been chosen in all oncology studies, but the smaller amplitudes of disturbances generated by vibrations make this system appropriate on individuals with postural control disorders. The consequences of performing a common daily dual task on posture will also be investigated in this study to determine whether using a common cognitive and fine motor task, such as texting (potentially impaired by CIPN), may disrupt postural control and increase the risk of falling.

Finally, this study will assess dynamic stability to complement the limited data in the literature on post-chemotherapy patients who appear to have impaired dynamic balance.^{12, 19} An improved understanding of the alterations in postural control may help establish the need for a systematic evaluation of postural control after chemotherapy, specifying the appropriate evaluation. Based on this assessment, an adapted and specific exercise programme could be designed to limit the multiple

impacts of impaired postural control in the daily lives of these patients. Indeed, with postural control disorders, the fear of falling increases,²⁰ the physical activity level decreases leading to deconditioning, daily living activities become difficult, and autonomy becomes limited.²¹ Overall, these patients' quality of life (QoL) is severely impaired.²² Thus, an enhanced understanding of CIPN-related postural control disorders and compensatory strategies for maintaining balance is essential for helping to alleviate CIPN's impact on the QoL.

Objectives

Primary objective

This study aims to compare postural control prior to and after neurotoxic chemotherapy in women with gynaecological cancer under various conditions (open/closed eyes, rigid/soft surface, with/without vibration and dual tasks). The hypothesis is that following 12 weeks of chemotherapy, the participants' postural control ability will be diminished due to the side effects of the treatments.

Secondary objectives

The study also aims to compare the modifications of postural control according to the conditions tested, thus identifying the underlying sensorimotor dysfunction. The hypothesis is that postural control will be particularly altered in conditions where somatosensory input is necessary (rigid surface and visual disturbance) since the decrease in sensory feedback caused by CIPN should result in reduced postural control that cannot be compensated for with vision.

The modifications of standing dynamic stability (the limits of stability (LOS)) and the QoL of individuals with gynaecological cancer after chemotherapy will also be assessed. The hypothesis is that the treatment will negatively impact the LOS and the QoL due to CIPN-related symptoms, the loss of function, and autonomy.

This study also aims to investigate the association between the severity of CIPN (mild, moderate, severe) and the postural control, dynamic balance and QoL of individuals with gynaecological cancer. This study hypothesises that the postural control, dynamic balance and QoL will deteriorate with the increasing severity of CIPN.

METHODS AND ANALYSIS

Study design and setting

This prospective observational study will be conducted from October 2020 to December 2022 at the Geneva University Hospitals in Switzerland in the oncology department.

Study participants

Eligibility criteria

Women with an oncological disease about to start chemotherapy known to be neurotoxic will be recruited. [Table 1](#) details the inclusion and exclusion criteria. The upper age limit is set to minimally influence the results with the

Table 1 Eligibility criteria

Inclusion criteria	Exclusion criteria
Women ▶ Between 18 and 65 years; ▶ With a gynaecological cancer about to start chemotherapy known to be neurotoxic (paclitaxel, docetaxel, nab-paclitaxel or paclitaxel-carboplatin); ▶ Able to stand upright for 30 s on a flat surface without assistance; ▶ Able to provide written consent.	Women ▶ With pre-existing vestibular, uncorrectable visual, or somatosensory disorders or other pathologies altering postural control that would influence testing; ▶ With exposure to known neurotoxic chemotherapy (paclitaxel, docetaxel, nab-paclitaxel, vinorelbine, trastuzumab-emtansine, eribulin or paclitaxel-carboplatin) that may have caused previous CIPN; ▶ With an inability to perform the test due to poor comprehension of instructions or psychological problems.

CIPN, chemotherapy-induced peripheral neuropathy.

natural age-related deterioration of postural control and muscle mass.²³

Recruitment procedure

Potential participants will be screened consecutively among patients in the hospital's oncology department to determine whether they meet the eligibility criteria. Oncologists will ask their patients for their consent to be contacted about the study. In case of agreement, a research assistant who is not involved in routine care will call the participants and provide them with all the necessary information (i.e., the nature of the study, its purpose, procedures involved, expected duration, potential risks and benefits and any potential discomfort). An information sheet will be provided after the phone call by mail or post. The research assistant will then call the participants back after a minimum period of 24 hours to allow them to make a decision and ask questions. In case of acceptance to participate in the study, two appointments will be scheduled concurrently with another hospital appointment (e.g., medical evaluation, blood test) to avoid adding an extra hospital visit. Consent will be obtained before the participants undergo any study procedures.

Blinding

During the second test, the participants and the assessor will be blinded to the results of the first postural control test.

Outcomes

Primary outcome

Postural control

Participants will be asked to stay as still as possible for three trials of 30 s in different sensory disturbances conditions on a force platform to assess postural control. The mediolateral RMS of the CP will be measured to provide information on the excursion of CP from the mean position.²⁴ The higher the RMS, the further the CP moves away from the mean position towards the base of support, indicating a decrease in postural stability.

Secondary outcomes

Other parameters of postural control

The following CP parameters will be measured to assess postural stability, the accuracy of control of the position, the ability to detect imbalance, and the extent of corrective actions for maintaining balance: total RMS, anteroposterior RMS, area, total length, anteroposterior and mediolateral length, anteroposterior and mediolateral delta (maximal-minimal value), maximal velocity, mean velocity and anteroposterior and mediolateral variability. Regarding the ground reaction forces, force peaks (maximal and minimal values); anteroposterior, mediolateral and vertical deltas; the number of oscillations; and force variability will be measured.

Dynamic standing balance

The same parameters as for postural control will be used to measure the LOS reflecting dynamic stability. The anteroposterior and mediolateral deltas of the CP length will be normalised to the mean size of the foot (the distance between the heel and hallux without shoes) according to the following formula :

$$LOS_{\text{normalised}} = \frac{\text{Measured value (mm)}}{\left(\frac{\text{Size left foot (mm)} + \text{Size right foot (mm)}}{2} \right)} \times 100$$

Quality of life

Physical, social/family, emotional and functional well-being will be assessed through patient-reported outcomes.

CIPN assessment

The severity of CIPN will be assessed using a composite score based on participants' symptoms and signs.

Assessment procedure

Two 75 min assessments will be scheduled: one before chemotherapy (baseline) and one during the first month following the end of neurotoxic chemotherapy (approximately 12 weeks of treatment, [figure 1](#)). A specifically trained physiotherapist will conduct all tests in a quiet room. Appointment reminders will be sent to participants.

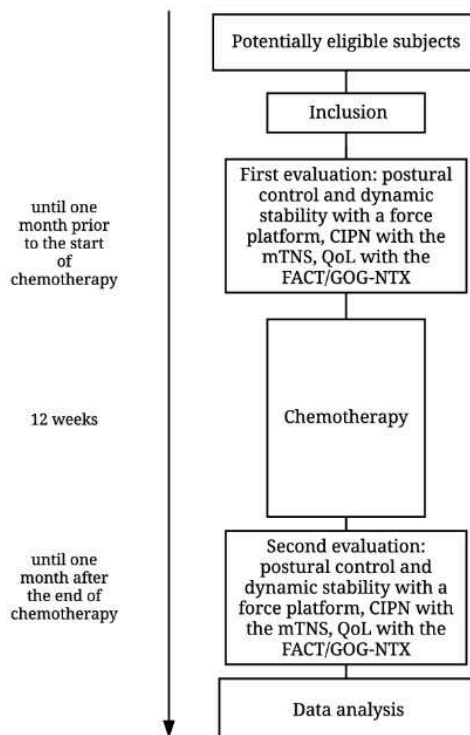


Figure 1 Experimental procedure. CIPN, chemotherapy-induced peripheral neuropathy; FACT/GOG-NTX, Functional Assessment of Cancer Therapy/Gynaecologic Oncology Group Neurotoxicity; QoL, quality of life; mTNS, modified Total Neuropathy Score.

Participants' characteristics and lifestyles will be collected during the baseline appointment. At both test sessions, individuals will perform the modified Total Neuropathy Score (mTNS) to assess CIPN,

be tested on a force platform to assess postural control and fill in the Functional Assessment of Cancer Therapy/Gynaecologic Oncology Group-Neurotoxicity (FACT/GOG-NTX) questionnaire to assess QoL. All participants will follow the same procedure. The score, tests, and questionnaire have been chosen according to our objectives and their clinimetric qualities (table 2).

Postural control

Postural control will be measured by a 600 × 500 mm force platform (Biomechanical Force Plate Systems type 9260AA6, Kistler Instrument AG, Winterthur, Switzerland). This equipment will record the three components of ground reaction force—anteroposterior, mediolateral and vertical—and the modification of the CP at 100 Hz, as recommended²⁵ and used in oncology.¹³ As in the study by Fino *et al.*²⁶, the feet will be 10 cm apart between the heels and 15 cm apart between the halluces.²⁶ Participants will be instructed to stand as still as possible for 30 s²⁷ while looking at a fixed point on a wall at eye level at a distance of 0.9 m.²⁸ Participants will perform the procedure three times with a rest period of 10 s between the trials.²⁷ If a loss of balance results in the test being stopped, participants will restart the trial. A maximum of five attempts will be allowed. The mean of the successful trials will be recorded for the data analysis in all postural control tests. Data collection will start 5 s after participants are positioned to avoid perturbations linked to the trial initiation.¹³

Participants will be asked to maintain balance under the conditions of sensory disturbance described in table 3. The various conditions will be performed randomly according to a previously defined randomised list to avoid fatigue and learning bias.

Table 2 Clinimetric qualities of the tests

Clinimetric quality	Postural control with a portable force platform	LOS test	FACT/GOG-NTX	mTNS
Validity	Inground force platform, CP RMS: ICC = 0.73, p<0.05 CP length: ICC = 0.86, p<0.05	MDRT forward, r = 0.35, p<0.01 backward, r = 0.16, p>0.05 right, r = 0.75, p<0.01 left, r = 0.64, p<0.01 Cronbach's α = 0.75 (internal consistency)	NCI-CTC, r = 0.6 – 0.76 Cronbach's α = 0.8 – 0.85 (internal consistency)	TNS, r = 0.99, p<0.001 SOT, r = -0.64, p<0.01 TUG, r = 0.65, p<0.01 FACT/Tax, r = -0.62, p<0.01
Reliability:				
Intra-rater		ICC = 0.86		TNS: ICC = 0.99
Test-retest	CP area: ICC = 0.94 (0.81 – 0.98) CP range: ICC = 0.88 (0.55 – 0.96) CP velocity: ICC = 0.84 (0.55 – 0.95) CP velocity max: ICC = 0.8 (0.29 – 0.94)		Korean version, four items of NTX: ICC = 0.84	
Reference	Validity ⁵⁰ Test-retest reliability ²⁷	Validity ⁵¹ Intra-rater reliability ³⁶	Validity ⁵² Test-retest reliability ⁵³	Validity ⁴¹ Intra-rater reliability ⁵⁴

-, no studies found; CP, centre of pressure; FACT/GOG-NTX, Functional Assessment of Cancer Therapy/Gynaecologic Oncology Group-Neurotoxicity; ICC, intraclass correlation coefficient; LOS, limits of stability; MDRT, Multi-Directional Reach Test; mTNS, modified TNS; NCI-CTC, National Cancer Institute Common Toxicity Criteria; NTX, neurotoxicity; RMS, root mean square; SOT, Sensory Organisation Test; TNS, Total Neuropathy Score; TUG, Timed Up and Go.

Table 3 Conditions tested for postural control assessment with sensory input disturbance

Condition	Eyes	Surface	Vibration	Cognitive task	Altered sensory information	Unaltered sensory information
EO	Open	Rigid	No	No	–	Somatosensory, vestibular, vision
EC	Closed	Rigid	No	No	Vision	Somatosensory, vestibular
EOF	Open	Foam	No	No	Somatosensory	Vestibular, vision
ECF	Closed	Foam	No	No	Somatosensory, vision	Vestibular
EOV	Open	Rigid	Yes	No	Somatosensory	Vestibular, vision
ECV	Closed	Rigid	Yes	No	Somatosensory, vision	Vestibular
DT	Open	Rigid	No	Yes	–	Somatosensory, vestibular, vision

C, close; DT, dual task; E, eyes; F, foam; O, open; V, vibration.

Foam surface conditions (EOF, ECF)

A 6 cm high piece of foam (48 × 40 × 6 cm) will be added under participants' feet to modify the proprioceptive feedback (Airex, Airex AG, Sins, Switzerland).¹⁴

Vibration conditions (EOV, ECV)

As the sural triceps are the predominant muscles for standing postural control,²⁹ vibrators (Vibrasens, Technoconcept, Manosque, France) will be positioned on the Achilles tendons to create an illusion of muscle elongation and disturb the somatoproprioceptive feedback.³⁰ A frequency of 80 Hz with an amplitude of approximately 0.5 mm will be predefined to allow greater responses.³¹ After the test, participants will pause while sitting for 30 s to allow the effects of the vibration to disappear.³²

Dual-task condition (DT)

Participants will be asked to write the following unusual text message on a smartphone while maintaining balance: 'la vache noire saute par-dessus la barrière en métal et mange l'herbe verte',³³ which means 'the black cow jumps over the metal fence and eats the green grass'. This task is a cognitive-motor nonverbal task used in everyday life.³⁴ Participants will be asked to perform both tasks simultaneously without prioritising either.

Dynamic balance

As participants' performance during a quiet stance may not directly correspond to their performance during more dynamic tasks,³⁵ a LOS test on a force platform will be performed to complete the tests (Biomechanical Force Plate Systems type 9260AA6, Kistler Instrument AG, Winterthur, Switzerland). Participants, standing on the force platform with arms at their sides, will bend as far as possible in four directions (anterior, posterior, right and left) without falling. They will be asked not to bend their hips during the test and not to lift any part of their feet off the platform.³⁶ The position will be systematically controlled and corrected by the assessor. Participants will perform this procedure three times, and the average of the three trials will be recorded.³⁶ The recorded parameters will be the same as those for standing postural control. Prior, participants will practise by performing two unrecorded tests in each direction to avoid learning

bias.³⁷ If the test is stopped in case of balance loss, the participants may retry the test a maximum of five times.

Quality of life

The FACT/GOG-NTX questionnaire will assess physical (0–28 points), social/family (0–28 points), emotional (0–24 points) and functional (0–28 points) well-being and other areas of concern (0–44 points) corresponding to the specific components of neurotoxicity to obtain subscores and a total score. This questionnaire's good clinimetric qualities support its use for assessing the negative consequences of chemotherapy and their impact on patients' QoL.³⁸ Moreover, this questionnaire was validated in French in a previous study.³⁹ The participants will respond to the different statements on a scale between 0 (not at all) and 4 (a lot), considering the previous seven days.

CIPN assessment

The mTNS is a component score from 0 to 24 used to accurately classify CIPN.^{17 40} The score is composed of the following components: patient-reported sensory and motor symptoms, superficial sensitivity, vibratory sensitivity, strength and tendon reflexes.⁴¹ Each component is individually scored on a scale between 0 (no symptoms) and 4 (most severe symptoms; table 4).⁴² The final score is obtained by summing the various components. A score below 9 indicates mild CIPN, between 9 and 16 moderate CIPN, and above 16 severe CIPN.⁴⁰

Sensory and motor symptoms

Participants will be asked if they experienced sensory (tingling, pins and needles, pain, burning) or motor (weakness, numbness, mobility) symptoms in the last seven days.⁴³

Superficial sensitivity

The superficial sensitivity will be tested with a cotton swab cut at the tip to make it protrude as carried out by Smith *et al*⁴⁴ and easily performed in the clinic.⁴⁴ The different areas to be tested are as follows: the dorsal aspect of the hallux interphalangeal joint, medial malleolus, anteroinferior part of the leg, patella, anterosuperior part of the thigh, fingertips, dorsal surface of the hand, head of the

Table 4 Parameters assessed in the modified Total Neuropathy Score

Parameters	Score				
	0	1	2	3	4
Sensory symptoms	None	Symptoms limited to fingers or toes	Symptoms extend to the ankle or wrist	Symptoms extend to the knee or elbow	Symptoms above the knee or elbow or functionally disabling
Motor symptoms	None	Slightly difficult	Moderately difficult	Require help/assistance	Paralysis
Superficial sensitivity	Normal	Reduced in fingers or toes	Reduced up to the wrist or ankle	Reduced up to the elbow or knee	Reduced to above the elbow or knee
Vibratory sensitivity	Normal	Reduced in fingers or toes	Reduced up to the wrist or ankle	Reduced up to the elbow or knee	Reduced to above the elbow or knee
Strength	Normal	Mild weakness (MRC 4)	Moderate weakness (MRC 3)	Severe weakness (MRC 2)	Paralysis (MRC 0–1)
Reflexes	Normal	Ankle reflex reduced	Ankle reflex absent	Ankle reflex absent, others reduced	All reflexes absent

Adapted from Cavaletti *et al.*⁴²
MRC, Medical Research Council.

ulna, lower-anterior part of the forearm, olecranon and the anterosuperior part of the arm. Participants will be asked whether they feel the stimulation.⁴⁴ The tests will be conducted distally to proximally.⁴⁴

Vibratory sensitivity

A Rydel-Seiffer 128 Hz tuning fork will measure vibration sensitivity. Participants will be asked to close their eyes and indicate when they can no longer feel the vibration.⁴⁴ Vibration sensitivity will be considered normal if they score 7 or 8.⁴³ The tuning fork will be placed in the same areas as the superficial sensitivity test.⁴⁴

Muscular strength

The muscular strength of the toe extensors/flexors, tibialis anterior, sural triceps, quadriceps and hamstrings will be tested for the lower limbs with manual muscle testing (from 0 = no visible contraction to 5 = normal strength).⁴⁵ For the upper limbs, the flexor/extensor muscles of the fingers, flexor/extensor muscles of the wrist, and flexor/extensor muscles of the elbow will be selected.⁴² The muscle with the worst score will be retained.⁴²

Tendon reflexes

A reflex hammer will assess the Achilles, patellar, biceps and triceps brachii tendons. They will be scored as normal, reduced, or absent.⁴²

Monitoring

As this study presents no more risks than the usual patient care in an oncological context, only internal monitoring is planned to ensure that participants' rights and welfare are respected, that the reported data are accurate and verifiable from the source documents, and that the study is conducted per the protocol, procedures and applicable regulations.

Withdrawal and discontinuation

Participants will be free to withdraw from the study at any time. The criteria for participant withdrawal will be a deterioration of medical stability, a procedure being stopped for safety reasons, and the withdrawal of informed consent. All data collected before that point will be considered in the analyses.

Each adverse event will be registered and reported to medical staff throughout the procedure.

Statistical analysis

Statistical analysis will be performed with the Stata V.15 software package (StataCorp, Texas, USA, 2017).

Sample size calculation

Sample size calculation was performed using the G*Power V.3.1 software package and a two-sided *t*-test for paired data (HHU Düsseldorf, Germany, 2017).⁴⁶ With the significance level set at 0.05, a power of 90%, and an effect size of 0.61, the number of participants required for this study is 31. The assumption of the effect size is based on a previous study that evaluated the effect of chemotherapy on postural control, which found mediolateral RMS CP values of 3.3 ± 1.1 mm at the baseline and 4.3 ± 1.9 mm at the last follow-up after chemotherapy.¹⁶ We assume a correlation of 0.5 between the baseline and the last follow-up. With a conservative assumption that this correlation is null, the power is still 89% for detecting a mean difference of 1.3 mm in CP RMS (3.3 ± 1.1 mm at the baseline and 4.6 ± 1.9 mm at the last follow-up) with the calculated sample size.

We anticipate a 16% drop-out rate as occurred in a study with a similar population³⁵; therefore, 37 participants should be included to reach the 31 participants

according to the following calculation: $(1 / (1 - 0.16)) = 1.19$, so $1.19 \times 31 = 37$ participants.

Data management

The study data will be collected and managed using Research Electronic Data Capture (REDCap) tools hosted at HES-SO.⁴⁷ The data will be backed up frequently.

Data treatment

All CP data from the postural control tests will be treated with a fifth-order low-pass Butterworth filter at 30 Hz before being analysed.

Descriptive statistics

Participants' clinical data will be described in terms of demographic, medical and lifestyle information. Qualitative variables will be expressed in frequency, while continuous variables will be expressed via the mean and standard deviation.

Statistical analysis

Primary outcome

To compare the postural control pre-chemotherapy and post-chemotherapy, a linear mixed model with a random effect on the intercept due to the participant cluster will be performed. The primary analysis will compare the mediolateral RMS of the CP adjusted for the conditions tested and potential confounding factors. In this model, the dependent variable will be the CP RMS under the seven conditions (i.e., EO, EC, EOF, ECF, EOv, ECV, DT) and pre-post. The independent variables will be the conditions tested, the periods (pre-post), and potential confounding factors (i.e., smoking status, age, body mass index).

In the secondary analysis of the primary outcome, a modification of the pre-post differences across the conditions tested will be investigated. For this purpose, an interaction term between the conditions and pre-post will be added to the previous model.

Secondary outcomes

1. The other postural control parameters will be analysed using similar methods for the primary outcome.
2. Similar methods will be used to analyse the LOS parameters and the QoL total score.
3. The association between the severity of CIPN (i.e., mild, moderate, severe) and the pre-post change in postural control (CP parameters) will be investigated in two specific conditions (where postural control was most affected by chemotherapy) using linear regression models with mixed effects (one model per condition). An interaction term between the severity of CIPN (i.e., mild, moderate, severe) and pre-post will be introduced to the model. The model will be adjusted for potential confounding factors (i.e., smoking status, age, body mass index).

The conditions of application of each model will be verified. A threshold value of $p < 0.05$ will be adopted for statistical significance. All statistical tests will be two-sided.

Patients and public involvement

Patients and public involvement were not applied in this project. However, oncology clinicians were included in the conception and design of the study since the project is a co-production between researchers and clinicians.

ETHICS AND DISSEMINATION

Recruitment and consent

All participants will give their written consent.

Amendment

Each significant amendment to the protocol will be communicated to all relevant parties after approval is received from the ethics committee.

Data collection, storage and access

Data will be de-identified and stored in a secure folder and electronic database. Only the investigators and the statistician will have access to the final dataset.

Dissemination strategy

Outcomes will be disseminated through publications in peer-reviewed journals and presentations at international conferences. Data will be available on request with reasonable justification.

DISCUSSION

This observational study aims to improve the knowledge of the objective characterisation and underlying causes of CIPN-related postural control dysfunction.³ It will incorporate a comprehensive postural control assessment with various visual and somatosensory disturbance test conditions. This study should also provide more information about stability limits. Currently, few data are available on patients with CIPN regarding how far they can move without falling or disturbing their balance.⁴⁸

An improved understanding of postural control dysfunctions will help determine the value of systematic screening for these disorders after chemotherapy and identify the most relevant tests to use according to the test conditions affected by chemotherapy. In addition, it could help establish the interest of setting up personalised exercises. CIPN management remains challenging for the oncology team because therapeutic options for restoring or maintaining patients' function have not been thoroughly delineated.⁴⁹ Whereas structured exercise programmes have provided promising results on CIPN functional consequences, the modalities and content remain to be determined.⁴⁹ Thus, an improved understanding of the mechanisms linked to postural control impairments and coping strategies for maintaining balance after chemotherapy is required to offer specific physical activity programmes and alleviate the negative consequences of postural control disorders in patients' daily lives.

This study has limitations. The comprehensive postural control assessment, including different test conditions as well as a subjective and objective evaluation of CIPN,³ will

take time. The whole study procedure will last 75 min, so participants may experience fatigue. However, the order of the tests will be randomised, and breaks will be planned to limit the impact of fatigue.

Furthermore, the study population will be limited to women aged under 65 years with gynaecological cancer treated with taxanes and without pre-existing disorders affecting postural control. Therefore, study's results may not apply to older patients who are undergoing other treatments or who have comorbidities.

Despite these limitations, the results should contribute to new scientific knowledge to further understand chemotherapy-related postural control disorders.

Author affiliations

¹Geneva School of Health Sciences, HES-SO University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Geneva, Switzerland

²Department of Oncology, AP-HP, Sorbonne University, Paris, France

³Institute of Movement Sciences, National Centre of Scientific Research, Aix-Marseille-University, Marseille, France

⁴CRC & Division of clinical epidemiology, Department of health and community medicine, University of Geneva & University Hospitals of Geneva, Geneva, Switzerland

⁵Service of Oncology, Geneva University Hospitals, Geneva, Switzerland

⁶University of Geneva, Geneva, Switzerland

Twitter Serge Mesure @SergeM

Acknowledgements We thank Prof. Angèle Gayet-Ageron from the University of Geneva & University Hospitals of Geneva for her help writing the data analysis plan.

Contributors All authors have substantially contributed to the conception of the work and revised it critically. All authors approved the submitted version. AR conceived and designed the study and drafted and revised the manuscript, while A-VB conceived, designed, supervised the study and drafted and revised the manuscript. JG supervised the study and drafted and revised the manuscript. SM conceived and designed the study and drafted and revised the manuscript, while CC conceived the statistical analysis and drafted and revised the manuscript. TK conceived, designed, supervised the study and drafted and revised the manuscript. AB conceived, designed, supervised the study and drafted and revised the manuscript.

Funding This work was supported by a private foundation.

Competing interests None declared.

Patient and public involvement Patients and/or the public were not involved in the design, or conduct, or reporting, or dissemination plans of this research.

Patient consent for publication Not applicable.

Provenance and peer review Not commissioned; externally peer reviewed.

Open access This is an open access article distributed in accordance with the Creative Commons Attribution Non Commercial (CC BY-NC 4.0) license, which permits others to distribute, remix, adapt, build upon this work non-commercially, and license their derivative works on different terms, provided the original work is properly cited, appropriate credit is given, any changes made indicated, and the use is non-commercial. See: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

ORCID iDs

Aline Reinmann <http://orcid.org/0000-0003-4526-861X>

Anne-Violette Bruyneel <http://orcid.org/0000-0003-4764-9336>

Joseph Gligorov <http://orcid.org/0000-0002-9900-6386>

REFERENCES

- Seretny M, Currie GL, Sena ES, et al. Incidence, prevalence, and predictors of chemotherapy-induced peripheral neuropathy: A systematic review and meta-analysis. *Pain* 2014;155:2461–70.
- Hu L-Y, Mi W-L, Wu G-C, et al. Prevention and treatment for chemotherapy-induced peripheral neuropathy: therapies based on CIPN mechanisms. *Curr Neuropharmacol* 2019;17:184–96.
- Wang AB, Housley SN, Flores AM, et al. A review of movement disorders in chemotherapy-induced neurotoxicity. *J Neuroeng Rehabil* 2021;18:16.
- Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, et al. What is balance? *Clin Rehabil* 2000;14:402–6.
- Sibley KM, Straus SE, Inness EL, et al. Balance assessment practices and use of standardized balance measures among Ontario physical therapists. *Phys Ther* 2011;91:1583–91.
- Herman HK, Monfort SM, Pan XJ, et al. Effect of chemotherapy-induced peripheral neuropathy on postural control in cancer survivors. *JCO* 2017;35:128.
- Kneis S, Wehrle A, Freyler K, et al. Balance impairments and neuromuscular changes in breast cancer patients with chemotherapy-induced peripheral neuropathy. *Clin Neurophysiol* 2016;127:1481–90.
- Monfort SM, Pan X, Loprinzi CL, et al. Impaired Postural Control and Altered Sensory Organization During Quiet Stance Following Neurotoxic Chemotherapy: a Preliminary Study. *Integr Cancer Ther* 2019;18:1534735419828823.
- Morishita S, Mitobe Y, Tsubaki A, et al. Differences in Balance Function Between Cancer Survivors and Healthy Subjects: A Pilot Study. *Integr Cancer Ther* 2018;17:1144–9.
- Niederer D, Schmidt K, Vogt L, et al. Functional capacity and fear of falling in cancer patients undergoing chemotherapy. *Gait Posture* 2014;39:865–9.
- Schmitt AC, Repka CP, Heise GD, et al. Comparison of posture and balance in cancer survivors and age-matched controls. *Clin Biomech* 2017;50:1–6.
- Wampler MA, Topp KS, Miaskowski C, et al. Quantitative and clinical description of postural instability in women with breast cancer treated with taxane chemotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:1002–8.
- Müller J, Ringhof S, Vollmer M, et al. Out of balance - Postural control in cancer patients before and after neurotoxic chemotherapy. *Gait Posture* 2020;77:156–63.
- Patel M, Fransson PA, Lush D, et al. The effect of foam surface properties on postural stability assessment while standing. *Gait Posture* 2008;28:649–56.
- McCrary JM, Goldstein D, Trinh T, et al. Balance Deficits and Functional Disability in Cancer Survivors Exposed to Neurotoxic Cancer Treatments. *J Natl Compr Canc Netw* 2019;17:949–55.
- Monfort SM, Pan X, Patrick R, et al. Gait, balance, and patient-reported outcomes during taxane-based chemotherapy in early-stage breast cancer patients. *Breast Cancer Res Treat* 2017;164:69–77.
- Varedi M, Lu L, Howell CR, et al. Peripheral Neuropathy, Sensory Processing, and Balance in Survivors of Acute Lymphoblastic Leukemia. *J Clin Oncol* 2018;36:2315–22.
- Pérennou D. Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *La Lettre de Médecine Physique et de Réadaptation* 2012;28:120–32.
- Evans ES, Ketcham CJ, Hibberd JC, et al. Examination of clinical and laboratory measures of static and dynamic balance in breast cancer survivors. *Physiother Theory Pract* 2021;37:1199–209.
- Schwenk M, Grewal GS, Holloway D, et al. Interactive Sensor-Based Balance Training in Older Cancer Patients with Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. *Gerontology* 2016;62:553–63.
- Duregon F, Vendramin B, Bullo V, et al. Effects of exercise on cancer patients suffering chemotherapy-induced peripheral neuropathy undergoing treatment: A systematic review. *Crit Rev Oncol Hematol* 2018;121:90–100.
- Izycki D, Niezgoda A, Kaźmierczak M, et al. Chemotherapy-induced peripheral neuropathy - epidemiology and pathogenesis. *Ginekol Pol* 2016;87:293–9.
- Lauretani F, Maggio M, Ticinesi A, et al. Muscle weakness, cognitive impairment and their interaction on altered balance in elderly outpatients: results from the TRIP observational study. *Clin Interv Aging* 2018;13:1437–43.
- Quijoux F, Nicolai A, Chairi I, et al. A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code. *Physiol Rep* 2021;9:e15067.
- Ruhe A, Fejer R, Walker B. The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions--a systematic review of the literature. *Gait Posture* 2010;32:436–45.
- Fino PC, Horak FB, El-Gohary M, et al. Postural sway, falls, and self-reported neuropathy in aging female cancer survivors. *Gait Posture* 2019;69:136–42.
- Pinsault N, Vuilleme N. Test-retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance. *Med Eng Phys* 2009;31:276–86.

- 28 Scheibel A, Zamfirescu F, Gagey PM. *Pratiques en posturologie*. Paris: Elsevier Masson, 2017.
- 29 Duclos NC, Maynard L, Abbas D, et al. Hemispheric specificity for proprioception: Postural control of standing following right or left hemisphere damage during ankle tendon vibration. *Brain Res* 2015;1625:159–70.
- 30 Dumas M, Valkanidis TC, Hatzitaki V. Putting proprioception for balance to the test: Contrasting and combining sway referencing and tendon vibration. *Gait Posture* 2019;67:201–6.
- 31 Abrahámová D, Mancini M, Hlaváčka F, et al. The age-related changes of trunk responses to Achilles tendon vibration. *Neurosci Lett* 2009;467:220–4.
- 32 Capiciková N, Rocchi L, Hlavacka F. Human postural response to lower leg muscle vibration of different duration. *Physiol Res* 2006;55 Suppl 1:S129–34.
- 33 Strubhar AJ, Rapp B, Thomas D. Changes in Gait and Texting Ability During Progressively Difficult Gait Tasks. *Int J Exerc Sci* 2017;10:743–53.
- 34 Ghai S, Ghai I, Effenberg AO. Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis. *Clin Interv Aging* 2017;12:557–77.
- 35 Monfort SM, Pan X, Patrick R, et al. Natural history of postural instability in breast cancer patients treated with taxane-based chemotherapy: a pilot study. *Gait Posture* 2016;48:237–42.
- 36 Juras G, Slomka K, Fredyk A, et al. Evaluation of the Limits of Stability (LOS) Balance Test. *J Hum Kinet* 2008;19:39–52.
- 37 Keklicek H, Kirdi E, Yalcin A, et al. Learning effect of dynamic postural stability evaluation system. *J Back Musculoskelet Rehabil* 2019;32:7–14.
- 38 Calhoun EA, Welshman EE, Chang CH, et al. Psychometric evaluation of the Functional Assessment of Cancer Therapy/ Gynecologic Oncology Group-Neurotoxicity (FACT/GOG-Ntx) questionnaire for patients receiving systemic chemotherapy. *Int J Gynecol Cancer* 2003;13:741–8.
- 39 Bonomi AE, Cella DF, Hahn EA, et al. Multilingual translation of the Functional Assessment of Cancer Therapy (FACT) quality of life measurement system. *Qual Life Res* 1996;5:309–20.
- 40 Vasquez S, Guidon M, McHugh E, et al. Chemotherapy induced peripheral neuropathy: the modified total neuropathy score in clinical practice. *Ir J Med Sci* 2014;183:53–8.
- 41 Wampler MA, Miaskowski C, Hamel K. The modified Total Neuropathy Score: a clinically feasible and valid measure of Taxane-Induced peripheral neuropathy in women with breast cancer. *J Support Oncol* 2006;4:9–16.
- 42 Cavaletti G, Jann S, Pace A, et al. Multi-center assessment of the Total Neuropathy Score for chemotherapy-induced peripheral neurotoxicity. *J Peripher Nerv Syst* 2006;11:135–41.
- 43 Cavaletti G, Bogliun G, Marzocchi L, et al. Early predictors of peripheral neurotoxicity in cisplatin and paclitaxel combination chemotherapy. *Ann Oncol* 2004;15:1439–42.
- 44 Smith EML, Cohen JA, Pett MA, et al. The reliability and validity of a modified total neuropathy score-reduced and neuropathic pain severity items when used to measure chemotherapy-induced peripheral neuropathy in patients receiving taxanes and platinum. *Cancer Nurs* 2010;33:173–83.
- 45 Reese NB. *Muscle and Sensory Testing*. 3e edition. St. Louis, Mo: Saunders, 2011.
- 46 Faul F, Erdfelder E, Buchner A, et al. Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods* 2009;41:1149–60.
- 47 Harris PA, Taylor R, Minor BL, et al. The REDCap consortium: Building an international community of software platform partners. *J Biomed Inform* 2019;95:103208.
- 48 Bahar-Ozdemir Y, Akyuz G, Kalkandelen M, et al. The Effect of Therapeutic Exercises on Balance, Quality of Life, and Pain in Patients Who Were Receiving Neurotoxic Chemotherapy. *Am J Phys Med Rehabil* 2020;99:291–9.
- 49 Toftthagen CS, Chevillat AL, Loprinzi CL. The Physical Consequences of Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy. *Curr Oncol Rep* 2020;22:50.
- 50 Walsh M, Church C, Hoffmeister A, et al. Validation of a Portable Force Plate for Evaluating Postural Sway. *Percept Mot Skills* 2021;128:191–9.
- 51 Holbein-Jenny MA, McDermott K, Shaw C, et al. Validity of functional stability limits as a measure of balance in adults aged 23–73 years. *Ergonomics* 2007;50:631–46.
- 52 Huang HQ, Brady MF, Cella D, et al. Validation and reduction of FACT/GOG-Ntx subscale for platinum/paclitaxel-induced neurologic symptoms: a gynecologic Oncology Group study. *Int J Gynecol Cancer* 2007;17:387–93.
- 53 Lee M, Lee Y, Kim K, et al. Development and Validation of Ovarian Symptom Index-18 and Neurotoxicity-4 for Korean Patients with Ovarian, Fallopian Tube, or Primary Peritoneal Cancer. *Cancer Res Treat* 2019;51:112–8.
- 54 Cornblath DR, Chaudhry V, Carter K, et al. Total neuropathy score: validation and reliability study. *Neurology* 1999;53:1660–4.

IXb. Article de l'Étude 1 : pré-print

Postural control impairments following neurotoxic chemotherapy in women with cancer: a prospective observational study

Aline Reinmann ^{a,b}, Alexandre Bodmer ^c, Thibaud Koessler ^{c, d}, Joseph Gligorov ^{b, e}, Anne-Violette Bruyneel ^a

^a Geneva School of Health Sciences, HES-SO University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, physiotherapy Department, CH-1227 Carouge, Geneva, Switzerland

^b Sorbonne University, INSERM, Centre de Recherche Saint Antoine, CRSA, F-75012, Paris, France

^c Service of Oncology, Geneva University Hospitals, Geneva, Switzerland

^d University of Geneva, Geneva, Switzerland

^e Department of Oncology, Sorbonne University, AP-HP, Tenon Hospital, Paris, France

Corresponding author

Aline Reinmann Geneva School of Health Sciences, HES-SO University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Rue des Caroubiers 25, CH-1227 Carouge, Geneva, Switzerland

Email address

aline.reinmann@hesge.ch (ORCID number: 0000-0003-4526-861X)

alexandre.bodmer@hug.ch (ORCID number: none)

thibaud.koessler@hug.ch (ORCID number: 0000-0001-9196-9076)

joseph.gligorov@aphp.fr (ORCID number: 0000-0002-9900-6386)

anne-violette.bruyneel@hesge.ch (ORCID number: 0000-0003-4764-9336)

Acknowledgments

We thank Johanna Robertson PT, PhD for language editing.

We thank Serge Mesure PT, PhD for his contribution to the data interpretation.

We thank Christophe Combescure, PhD for statistical support.

Clinical Trial Registration number

NCT04692168, registration date: 28.12.2020

Abstract (246/250 words)

Purpose: This study aimed to compare changes in postural control in different testing conditions involving sensory disturbances, quality of life and neurotoxicity concerns in women with cancer before and after chemotherapy with taxanes. The second aim was to compare postural control between chemotherapy-induced peripheral neuropathy (CIPN) severity subgroups.

Method: The 33 participants with breast cancer (age 48.15 ± 9.88 years) were tested during the month preceding (baseline) and the month after the end of chemotherapy. Postural control was assessed on a force platform (100Hz) in different conditions: eyes open/closed, rigid/foam surface, with/without tendon vibration, dual task, and limits of stability. CIPN severity and neurotoxicity concerns were also evaluated. Paired *t*-tests or Wilcoxon sign rank tests were used, and a Benjamini-Hochberg correction was applied.

Results: After chemotherapy, greater postural adjustments were required to maintain balance in the reference condition ($p \leq 0.02$), and in conditions with visual ($p \leq 0.02$), foam ($p \leq 0.04$), and dual task disturbances ($p \leq 0.01$), but not in the vibration and limits of stability conditions. No difference was found between the CIPN subgroups. The neurotoxicity score worsened after chemotherapy (-8.61 ± 7.53 , $p \leq 0.01$).

Conclusions: Postural control was impaired after chemotherapy, particularly in conditions with visual disturbances and dual task. Anteroposterior center of pressure displacements with mediolateral ground reaction forces were particularly increased.

Clinical implications: Systematic assessment of postural control with eyes closed in women with breast cancer would help to identify chemotherapy-induced postural control disorders and determine treatment needs.

Trial Registration: Clinical Trial Registration number NCT04692168

Keywords: breast cancer, chemotherapy, postural control, peripheral neuropathy

1. Introduction

Postural control [1], defined as the ‘act of maintaining, achieving or restoring a state of balance during any posture or activity’ [2], can be altered by chemotherapy. The alterations in postural control could be related to chemotherapy-induced peripheral neuropathy (CIPN) found in over 60% of patients treated with taxanes [3]. CIPN causes pain, paresthesia, dysesthesia, impaired sensation, increased vibratory and reflex sensitivity, and loss of nerve conduction in the lower limbs, which could prevent adequate postural adjustment [4].

Several studies previously found impairment of quasi-static balance in people treated with chemotherapy compared to matched healthy individuals [5–10]. The increase in speed, length, root mean square (RMS), and area of center of pressure (CP) parameters demonstrated an increase in energy expenditure and overcorrection of the CP to maintain balance [11, 12] as well as a move closer to the limits of stability [12]. Three longitudinal studies [12–14] that took baseline postural parameters into account showed a decrease in postural control from the first cycle of taxane chemotherapy, which persisted beyond the end of the treatment [12, 13].

Postural control disorders induced by chemotherapy lead to the development of coping strategies. Previous studies found that visual perturbations accentuated postural control impairment post chemotherapy, suggesting an upweighting of visual information because of a deficient somatosensory system [1, 4, 15]. However, the small number of prospective studies with different sensory test conditions limits the understanding of the evolution of postural control and coping strategies after chemotherapy. Studies that are specific to one cancer type and treatment administered [1], and that integrate different testing conditions, with perturbations of different sensory inputs through various means [4] are required. Adaptation strategies implemented by individual can be assessed with eyes shut to test the influence of the visual system and standing on foam or using tendon vibration to test the influence of the somatosensory system [16, 17]. Dual-task and dynamic stability assessments can complement the evaluation by resembling daily life situations [18, 19].

Measurement of CP and ground reaction force (GRF) parameters using a force platform would allow changes in postural adjustments and postural muscle actions to be precisely determined and would provide further insights into compensatory strategies used to maintain balance. The CP corresponds to the point of application of the mean reaction force and provides an indication of postural adjustments in the horizontal plane [11], whereas the ground reaction force indicates the resulting dynamics of postural muscle activation in the three planes [20]. These parameters are thus complementary and CP and GRF data would help to determine appropriate evaluations and the need for a systematic assessment of postural control after chemotherapy. Postural control deficits increase the

fear of falling [21] that may lead to deconditioning and difficulties in daily living activities impacting the person's autonomy and quality of life [22].

This study had three aims. 1) To compare the quasi-static and dynamic postural control ability of women with cancer before and after chemotherapy in different conditions of postural perturbation to identify underlying sensorimotor dysfunctions and coping strategies. We hypothesized that postural control would be reduced post chemotherapy, particularly in visual disturbance conditions, because of the decrease in sensory feedback caused by somatosensory deficits. 2) To investigate quality of life, specifically neurotoxicity concerns, after chemotherapy. We hypothesized that neurotoxicity score would be increased post chemotherapy because of CIPN. 3) To determine the association between CIPN severity (mild, moderate, or severe) and the severity of impairment of postural control, dynamic balance and neurotoxicity concerns. We hypothesized that postural control, dynamic balance and neurotoxicity score would be negatively impacted by the CIPN severity.

2. Methods

2.1. Study design

This observational prospective study took place in the Geneva University Hospitals from October 2021 to December 2022. The study reporting followed the STROBE guidelines.

2.2. Participants

We included women aged 18 to 65 years with gynecological or breast cancer who were about to start neurotoxic chemotherapy (paclitaxel, docetaxel, nab-paclitaxel or paclitaxel-carboplatin) and who could stand upright for 30s without assistance. Women with pre-existing pathologies altering postural control like diabetes, previous exposure to known neurotoxic chemotherapy, or an inability to perform the tests because of difficulties in comprehension or psychological problems were excluded.

The participants were consecutively recruited during a medical appointment. After consenting to be contacted, a research assistant not involved in their routine care reached the participant and provided written and oral information about the study (nature, purpose, procedure, risks, and benefits). The participant had at least 24-hours

reflection time before giving written consent and starting the study procedure. The study was approved by the Geneva ethics committee (2020-01639).

2.3. Study procedure

Participants completed two assessments: one within one month before the start and one within one month after the end of chemotherapy. The chemotherapy lasted about 12 weeks. After collecting demographic and lifestyle data, postural control was assessed using a force platform, CIPN using the modified Total Neuropathy Score (mTNS), quality of life and neurotoxicity using the Functional Assessment of Cancer Therapy/Gynaecologic Oncology Group Neurotoxicity (FACT/GOG-NTX). The tests were conducted by a specifically trained physiotherapist in a quiet room.

2.4. Test descriptions

Quasi-static postural control was measured using a 600 x 500 mm force platform at 100Hz (Biomechanical Force Plate Systems type 9260AA6, Kistler Instrument AG, Winterthur, Switzerland), a valid [23] and reliable tool [24]. The participants were instructed to stand as still as possible for 30s [24], arms at their side, heels 10cm apart and halluces 15cm apart [5], looking at a fixed point on a wall at eye level at a distance of 0.9m [25]. The procedure was repeated three times per condition with 10s rest between the trials [24]. The test was conducted under different conditions performed randomly: on rigid surface with eyes open (EO) and closed (EC), on foam surface with eyes open (EOF) and closed (ECF), with vibration eyes open (EOV) and closed (ECV), with dual task (DT). For the foam conditions, a 48 x 40 x 6cm piece of foam was used to modify proprioceptive feedback (Airex, Airex AG, Sins, Switzerland) [16]. For the vibration conditions, vibrators (Vibrasens, Technoconcept, Manosque, France) with a 80Hz frequency and 0.5mm amplitude [26] were positioned on the Achilles tendon to disturb somatoproprioceptive feedback [27]. The cognitive task involved participants writing an unusual text message on a smartphone while maintaining balance. Since postural control is a constant search for equilibrium and reflects a continuous process [28], the term ‘quasi-static’ has been preferred to the term ‘static’ postural control.

Dynamic balance was tested with the limits of stability by asking participants to lean as far as possible in four directions (anterior, posterior, right and left) three times without bending their hips or lifting either foot off the platform, [29]. Two learning trials were conducted prior to the test to avoid learning bias [30].

The changes in center of pressure (CP) and ground reaction forces (GRF) were extracted for all conditions. We calculated the mediolateral (ML) root mean square (RMS), the total RMS, the anteroposterior (AP) RMS, the CP area, the total length, the AP and ML lengths, and the maximal velocities [31]. The selected GRF parameters were AP, ML, and vertical (V) maximum peak values, and force variability.

CIPN were assessed using the mTNS (range 0-24). This included person-reported sensory and motor symptoms, sensation, vibratory sensitivity, strength and tendon reflexes [32]. Each component is individually scored between 0 and 4 and the sum of the components gives the final score. A score below 9 indicates mild CIPN, between 9 and 16 moderate CIPN, and above 16 severe CIPN [33]. More information is provided in the previously published protocol [34]. This tool has excellent validity ($r = 0.99$ compared to TNS) [32] and intra-rater reliability (ICC = 0.99) [35].

Quality of life and neurotoxicity were assessed using the FACT/GOG-NTX questionnaire which measures physical, social/family, emotional and functional well-being, and neurotoxicity concerns on a 4-point Likert Scale (range 0-152). Sub-scores and total score were calculated, with higher scores indicating better quality of life and lesser neurotoxicity concerns [36]. A good internal consistency (Cronbach's $\alpha > 0.8$) [37] and test-retest reliability (ICC = 0.84) [38] as well as the validation in French [39] support its use in practice.

2.5. Statistical analysis

Sample size calculation was performed using the G*Power V.3.1 software package and a two-sided t-test for paired data (HHU Düsseldorf, Germany, 2017) [40]. With the significance level set at 0.05, a power of 90%, and an effect size of 0.61 [12], 31 participants were required for this study. A 16% drop-out was anticipated [12], which required 37 participants to be included.

Data processing of all CP data from the postural control tests was performed using a fifth-order low-pass Butterworth filter at 30 Hz. Then, the mean of the three trials was calculated for all postural control tests. For the limits of stability, the AP et ML, CP length deltas were normalized using the formula: CP parameter (mm) / mean size of right and left feet (mm). Romberg (eyes closed / open) and proprioceptive (foam / rigid surface) ratios were calculated for CP total length [41]. Vibration ratios (vibration / non vibration) were also calculated. The V GRF was normalized to the participant's bodyweight (V GRF (N) / body weight (Kg)).

Categorical variables are expressed as frequencies and continuous variables are expressed as means and standard deviations.

A modification of the initial statistical analysis plan was necessary because the initially planned linear mixed models [34] did not fulfil application conditions (residues' homoscedasticity could not be confirmed). After verifying the distribution of the CP and GRF deltas, paired *t*-tests were used to assess the change in the CP and GRF parameters pre- and post-chemotherapy in each condition (EO, EC, EOF, ECF, EOv, ECv and DT). In the case of non-normal distribution, a Wilcoxon sign rank test was used. To account for the number of *t*-tests, a multiplicity correction was applied. This correction was based on Benjamini Hochberg's formula using an online calculator (<https://www.sdmproject.com/utilities/?show=FDR>). The same procedure was used for dynamic standing balance. Paired *t*-tests were used to assess changes in FACT/GOG-Ntx total and sub-scores. The association between CIPN severity and the pre-post change in CP parameters in EC and ECF conditions was tested using a Mann Whitney test for each severity subgroup (mild vs. moderate, no participant had severe CIPN). For all analyses, a two-tailed *p*-value <0.05 was considered significant. The analyses were conducted using Stata software (v.15, Stata Corporation, USA).

3. Results

3.1. Study completion and socio-demographic characteristics

Participants were recruited from October 2020 to July 2022. Mean inclusion rate per week was 6%. Most reasons for refusal were side-effects of cancer and treatments (*i.e.* fatigue), already having too many medical appointments, and not wishing to participate. In total, 35 participants were included (**Table 1**). They all gave informed consent to participate in the study. The high proportion of breast cancer was due to the greater representation of patient with breast cancer in the study unit and the treatment protocol that facilitated their inclusion (longer delay between the first appointment and the start of neurotoxic chemotherapy compared with gynecological cancers). Neurological comorbidities concerned distal upper extremity problems.

Demographic characteristics (N = 35)	
Characteristics	
Age (years)	48.71 ± 9.86 (28 - 65)
Height (cm)	163.44 ± 5.61 (153 - 175)
Weight (Kg)	68.01 ± 13.17 (42 - 90)
BMI (Kg/m ²)	25.49 ± 5.03 (16.82 – 35.25)

Comorbidities, n (%)	
None	8 (25)
Respiratory	4 (11)
Cardiovascular	3 (9)
Musculoskeletal	11 (31)
Dermatology	3 (9)
Digestive	9 (26)
Neurological	3 (9)
Endocrine/metabolic	6 (17)
Psychiatric	7 (20)
Cancer type, n (%)	
Breast	34 (97)
Uterus	1 (3)
TNM classification (n = 34)	
T0	4
T1	11
T2	14
T3	4
T4	1
N0	18
N1	10
N2	3
N3	3
M0	31
M1	3
Treatment	
EC + Paclitaxel	21
Paclitaxel	2
EC + Paclitaxel changed for Docetaxel	3
Paclitaxel changed for Nab-Paclitaxel	2
EC + Paclitaxel + Carboplatin	4
Cyclophosphamide + Docetaxel	2
Paclitaxel + Carboplatin	1
Treatment change, n (%)	5 (14)
Smoking	
Smoked in the past, n (%)	19 (54)
Current smoker, n (%)	11 (31)
Pack-year (n = 19)	16.93 ± 11.17 (3 - 40)
Alcohol	
Consumption (mean glasses of alcohol / week)	1.62 ± 4.87 (0 - 28)
Physical activity	
From 3 to 6 MET (hour / week)	10.04 ± 5.59 (1 - 28)
Above 6 MET (hour / week)	0 ± 0 (0 - 0)

Table 1. Demographic characteristics. Data are mean ± SD (Min-Max) or n (%). BMI = Body Mass Index, EC = epirubicin and cyclophosphamide, TNM = Tumor, lymph Nodes, Metastasis.

Two participants did not complete the second assessment for logistical reasons or because they had too many medical appointments so 33 completed the whole procedure (age 48.15 ± 9.88 years, height 163.89 ± 5.40 cm, weight 68.26 ± 13.14 Kg, 100% breast cancer). Assessments took place 14 ± 19 days before and 15 ± 11 days after the neurotoxic chemotherapy. Ten (30%) participants had a treatment change (early discontinuation or change of treatment) because of CIPN. Thirteen participants (39%) progressed from CIPN grade 1 to 2 after chemotherapy (*Supplementary files*). Twenty-five participants (76%) had a difference in NTx score greater than three points, considered to be the minimal clinical important change [42]. A total of twenty-seven participants (82%) had evidence of CIPN (either treatment change, grade 2 mTNS, or NTx score change ≥ 3). Fatigue score post assessment was higher by 16.06 ± 29.68 units on a VAS (/100), $p = 0.019$ at the second assessment.

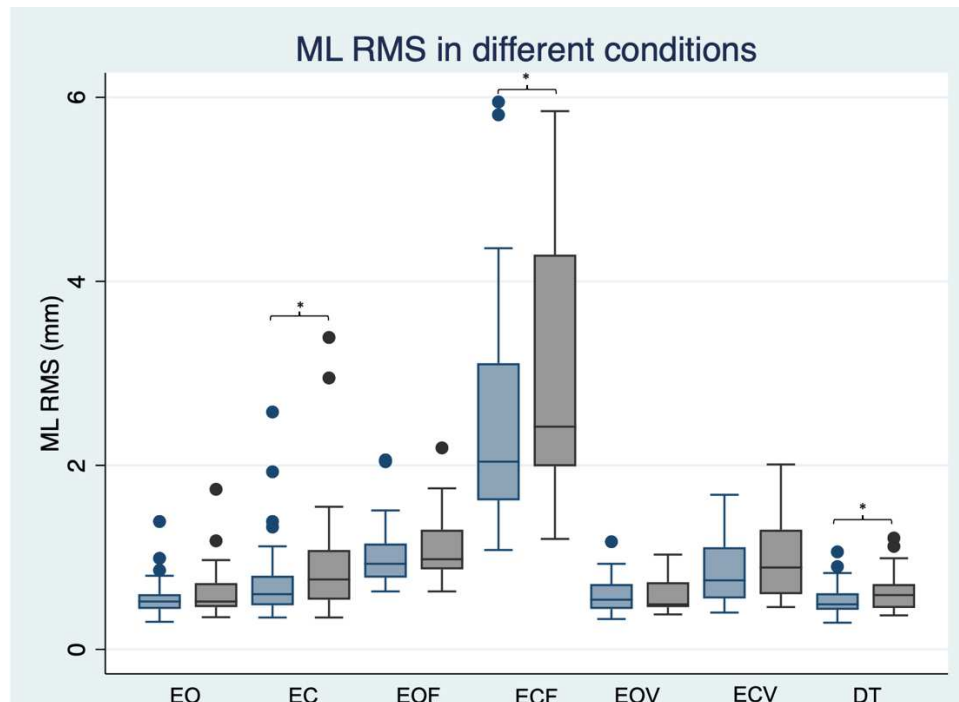
Errors in the handling of the platform lead to six missing values for ML and AP GRF. One participant was excluded from the ML and AP GRF analyses and two from the V GRF analyses due to outliers that did not correspond to the actual CP values for the conditions performed.

3.2. Comparison between baseline and post-treatment quasi-static balance in each condition

In EO condition, total and AP CP lengths and RMS were increased after chemotherapy ($p < 0.02$) whereas the ML length and RMS, the area, and the maximum speed were not significantly different (**Table 2, Graph 1**). For GRF parameters, ML maximum peak values and variability, AP variability, and V maximum peak values were increased ($p < 0.02$) whereas the AP maximum peak values, and the V variability were not significantly different ($p > 0.05$).

Eyes open condition (EO)					Eyes closed condition (EC)				Eyes closed on foam condition (ECF)			
	Pre	Post	Difference	p-value	Pre	Post	Difference	p-value	Pre	Post	Difference	p-value
CP												
Planar												
Length (mm)	380.73 ± 124.63 (192.01 – 834.58)	420.81 ± 132.24 (268.39 – 923.50)	40.08 ± 79.59 (-157.91 – 224.86)	0.022	492.35 ± 223.10 (298.14 – 1340.21)	608.95 ± 259.14 (308.80 – 1548.88)	116.60 ± 123.73 (-246.21 – 407.19)	≤0.001	1472.92 ± 674.08 (736.36 – 3154.51)	1877.99 ± 830.16 (801.16 – 3893.56)	405.08 ± 420.40 (-386.39 – 1357.69)	≤0.001
Area (mm²)	237.67 ± 236.27 (53.26 – 1023.84)	258.74 ± 220.88 (52.52 – 993.71)	21.06 ± 134.11 (-389.05 – 420.22)	0.460	343.36 ± 421.84 (59.92 – 2292.99)	496.68 ± 371.98 (59.92 – 1330.67)	153.32 ± 330.80 (-1243.11 – 1015.41)	0.013	1991.21 ± 1311.29 (670.11 – 6209.70)	2624.86 ± 1498.59 (945.13 – 7032.63)	633.66 ± 857.80 (-1091.41 – 3056.10)	≤0.001
Maximal speed (mm/s)	67.96 ± 27.89 (31.96 – 196.44)	72.92 ± 28.66 (39.14 – 177.75)	4.96 ± 20.02 (-23.41 – 71.33)	0.292	88.25 ± 39.63 (39.50 – 228.24)	108.29 ± 50.23 (42.99 – 260.66)	20.03 ± 27.94 (-25.70 – 89.09)	0.001	254.61 ± 141.70 (107.58 – 701.67)	324.29 ± 154.46 (142.76 – 653.46)	69.68 ± 95.35 (-159.81 – 308.99)	≤0.001
RMS (mm)	0.78 ± 0.32 (0.44 – 2.18)	0.89 ± 0.36 (0.51 – 2.38)	0.10 ± 0.17 (-0.23 – 0.57)	0.011	1.08 ± 0.53 (0.56 – 2.95)	1.41 ± 0.73 (0.58 – 3.80)	0.32 ± 0.35 (-0.12 – 1.63)	≤0.001	3.38 ± 1.71 (1.48 – 7.73)	4.33 ± 2.05 (1.81 – 9.31)	0.95 ± 1.15 (-1.62 – 3.89)	≤0.001
ML												
Length (mm)	203.67 ± 73.06 (97.87 – 485.12)	221.02 ± 83.64 (130.26 – 551.01)	17.35 ± 47.86 (-106.25 – 128.35)	0.104	265.54 ± 142.45 (133.51 – 839.95)	313.11 ± 184.00 (133.51 – 1046.55)	47.56 ± 96.93 (-219.37 – 386.10)	0.009	831.32 ± 368.26 (405.23 – 1825.44)	1019.27 ± 422.12 (430.06 – 1944.89)	187.95 ± 202.30 (-281.76 – 580.15)	≤0.001
RMS (mm)	0.56 ± 0.21 (0.3 – 1.39)	0.61 ± 0.27 (0.35 – 1.74)	0.06 ± 0.15 (-0.25 – 0.38)	0.102	0.77 ± 0.46 (0.35 – 2.58)	0.94 ± 0.66 (0.35 – 3.39)	0.17 ± 0.39 (-0.63 – 1.83)	0.019	2.48 ± 1.23 (1.08 – 5.95)	3.02 ± 1.33 (1.20 – 5.85)	0.53 ± 0.75 (-1.59 – 1.96)	≤0.001
AP												
Length (mm)	277.52 ± 89.08 (145.64 – 577.38)	310.45 ± 91.07 (193.51 – 632.23)	32.93 ± 55.88 (-98.12 – 156.44)	0.011	356.57 ± 144.84 (222.08 – 867.33)	452.46 ± 164.67 (235.68 – 926.06)	95.89 ± 84.00 (-73.99 – 261.58)	≤0.001	1035.02 ± 493.26 (525.10 – 2304.64)	1362.84 ± 638.88 (590.49 – 3122.63)	327.82 ± 336.86 (-383.53 – 1146.73)	≤0.001
RMS (mm)	0.77 ± 0.30 (0.41 – 2.05)	0.86 ± 0.31 (0.49 – 2.06)	0.10 ± 0.17 (-0.22 – 0.52)	0.011	1.02 ± 0.43 (0.57 – 2.42)	1.31 ± 0.54 (0.60 – 2.77)	0.30 ± 0.26 (-0.04 – 1.14)	≤0.001	3.08 ± 1.55 (1.47 – 6.79)	4.04 ± 1.93 (1.75 – 9.26)	0.97 ± 1.09 (-1.24 – 3.84)	≤0.001
GRF												
V												
Max values (N)	9.75 ± 0.25 (9.14 – 10.34)	10.08 ± 0.59 (8.77 – 11.29)	0.33 ± 0.53 (-0.95 – 1.49)	0.007	9.76 ± 0.26 (9.16 – 10.36)	10.08 ± 0.59 (8.77 – 11.27)	0.31 ± 0.52 (-0.96 – 1.25)	0.009	10.35 ± 0.44 (9.52 – 11.50)	10.91 ± 0.80 (9.37 – 13.39)	0.56 ± 0.65 (-1.21 – 1.88)	0.004
Variability (N)	0.01 ± 0.00 (0.01 – 0.02)	0.01 ± 0.01 (0.01 – 0.04)	0.00 ± 0.00 (-0.01 – 0.01)	0.746	0.01 ± 0.01 (0.01 – 0.08)	0.01 ± 0.00 (0.01 – 0.03)	0.00 ± 0.01 (-0.05 – 0.01)	0.122	0.11 ± 0.08 (0.03 – 0.32)	0.15 ± 0.11 (0.04 – 0.40)	0.04 ± 0.05 (-0.05 – 0.16)	0.004
ML												
Max values (N)	0.30 ± 1.21 (-0.93 – 5.43)	0.81 ± 1.80 (-0.45 – 8.01)	0.50 ± 0.91 (-0.82 – 2.90)	0.023	1.18 ± 1.93 (-1.02 – 6.25)	2.32 ± 3.21 (-0.49 – 12.08)	1.14 ± 2.09 (-1.24 – 9.13)	0.016	8.36 ± 4.32 (2.00 – 15.13)	11.38 ± 6.14 (3.09 – 26.13)	3.02 ± 3.59 (-2.05 – 11.21)	0.006
Variability (N)	0.53 ± 0.41 (0.22 – 2.32)	0.67 ± 0.54 (0.24 – 2.86)	0.14 ± 0.21 (-0.08 – 0.79)	0.007	0.77 ± 0.52 (0.27 – 2.21)	1.05 ± 0.77 (0.24 – 3.16)	0.28 ± 0.43 (-0.09 – 1.91)	0.006	2.91 ± 1.26 (1.06 – 5.11)	3.59 ± 1.57 (1.36 – 7.55)	0.68 ± 0.75 (-0.81 – 2.44)	0.004
AP												
Max values (N)	4.61 ± 2.61 (1.88 – 15.39)	5.57 ± 3.81 (2.25 – 20.06)	0.96 ± 3.83 (-4.30 – 17.42)	0.164	5.94 ± 3.19 (2.63 – 14.93)	6.88 ± 3.40 (2.79 – 18.32)	0.95 ± 2.77 (-5.06 – 10.20)	0.100	15.46 ± 7.40 (5.37 – 37.90)	18.45 ± 8.60 (6.77 – 42.47)	2.99 ± 6.88 (-13.41 – 24.14)	0.066
Variability (N)	0.75 ± 0.59 (0.30 – 3.26)	0.92 ± 0.61 (0.36 – 3.38)	0.17 ± 0.16 (-0.04 – 0.67)	≤0.001	1.06 ± 0.58 (0.38 – 2.79)	1.50 ± 0.82 (0.55 – 3.68)	0.44 ± 0.39 (-0.03 – 1.80)	≤0.001	3.68 ± 1.65 (1.36 – 8.02)	4.82 ± 2.07 (1.93 – 9.08)	1.15 ± 1.32 (-1.77 – 4.51)	0.004

Table 2. CP and GRF parameters. Data are mean ± SD (Min-Max). n = 33 for CP, n = 24 for ML and AP GRF, n = 31 for V GRF. AP = anteroposterior, CP = center of pressure, GRF = Ground Reaction Force, ML = medio-lateral, V = vertical. Corrected p-values



Graph 1. Box plot of ML RMS in different conditions. In blue, results pre chemotherapy, in grey, results post chemotherapy. E = eyes, C = closed, DT = dual task, F = foam, ML = mediolateral, RMS = root mean square, V = vibration. $n = 33$

In EC condition, all CP and GRF parameters were increased after chemotherapy ($p < 0.02$) except for the GRF AP maximum peak values, and V variability (**Table 2**).

In EOF condition, the total and AP CP lengths, the maximal CP speed, and the total and AP CP RMS were increased. Except for the AP maximum peak GRF, all the GRF parameters were increased ($p < 0.04$, **Supplementary file**).

In ECF condition, all CP and GRF parameters were increased after chemotherapy ($p < 0.01$, **Table 2**).

In EOv and ECV conditions, no differences in CP and GRF parameters were found. Only the V maximum peak GRF was significantly increased ($p = 0.02$ for EOv and 0.04 for ECV).

In DT condition, all CP and GRF parameters were increased except the maximal speed, the AP maximum peak GRF, and the V variability ($p > 0.12$, **Supplementary file**).

The Romberg and the Romberg on foam increased from 1.29 to 1.45 and 2.46 to 2.79 ($p < 0.01$), respectively. The proprioceptive ratios did not change (1.60 to 1.62, $p = 0.62$ with eyes open and 3.06 to 3.15 with eyes closed, $p = 0.50$). The vibration ratios changed from 1.09 to 1.02 with eyes open and 1.31 to 1.14 with eyes closed ($p < 0.01$).

3.2.1. Comparison between baseline and post-treatment CP and GRF parameters in the dynamic standing balance condition

For the limits of stability, CP and GRF parameters did not change post chemotherapy, except for the V maximum GRF, which increased ($p < 0.01$).

3.2.2. Comparison between baseline and post-treatment quality of life and neurotoxicity with the FACT/GOG-Ntx

Only the neurotoxicity subscale was impaired after the chemotherapy (-8.61 ± 7.53 , -23% , $p < 0.01$, **Table 3**).

FACT/GOG-Ntx questionnaire (n = 33)					
	Pre	Post	Difference		p-value
Physical well-being (/28)	19.27 $\pm$ 5.90 (7 – 28)	17.21 $\pm$ 5.52 (9 – 28)	-2.06 $\pm$ 6.29 (-15 – 10)		0.585
Social / familial well-being (/28)	22.02 $\pm$ 4.24 (10 – 28)	21.65 $\pm$ 4.47 (6 – 26.83)	-0.36 $\pm$ 4.10 (-9 – 9)		0.201
Emotional well-being (/24)	18.36 $\pm$ 3.74 (8 – 24)	18 $\pm$ 3.86 (9 – 24)	-0.36 $\pm$ 3.72 (-9 – 7)		1.000
Functional well-being (/28)	16.46 $\pm$ 5.34 (7 – 25)	15.52 $\pm$ 4.96 (5 – 26)	-0.94 $\pm$ 4.96 (-10 – 10)		1.000
Neurotoxicity subscale (/44)	38.18 $\pm$ 6.60 (16 – 44)	29.58 $\pm$ 9.66 (9 – 44)	-8.61 $\pm$ 7.53 (-25 – 3)		≤ 0.001
Total	114.29 $\pm$ 19.10 (68 – 141)	101.96 $\pm$ 20.18 (75 – 141)	-12.33 $\pm$ 18.34 (-48 – 15.83)		0.035

Table 3. FACT/GOG-Ntx results. Data are mean $\pm$ SD (Min-Max). Corrected p-values

3.2.3. Comparison between subgroups of CIPN severity (mTNS)

No differences between the pre-post change in postural control of the mild and moderate severity subgroups were found in the EC, ECF, and limits of stability conditions for any parameters except the GRF AP variability in the EC condition for which the value of the moderate severity subgroup was higher than the one of the mild severity subgroup ($+0.38$ N, $p = 0.04$, **Supplementary files**). Only changes in the neurotoxicity subscale score were accentuated in the moderate vs. mild CIPN subgroup ($+5.73$, $p = 0.04$).

4. Discussion

This study found a reduction in postural control after chemotherapy in women with breast cancer, shown by an increase in CP and GRF parameter values. The difference was greatest in the conditions with visual or dual task perturbation, confirming our hypothesis. Quasi-static balance in the vibration condition, and dynamic standing

balance were unchanged after chemotherapy. The neurotoxicity subscale score was poorer after chemotherapy. Contrary to our hypothesis, no difference in postural control parameters was found between the two subgroups of CIPN severity.

The reduction in postural control post chemotherapy in the reference condition (EO) as well as in the conditions with sensory disturbances (EC, EOF, ECF, DT) is consistent with other studies [12–14]. As in previous work [12, 14], multidirectional instabilities were observed with CP and GRF parameters providing complementary information on changes in postural adjustments and efforts made to maintain balance. While CP parameters changed mainly in the total and AP directions, GRF max changed mainly in the ML plan. This may indicate an increased AP correction of the CP to keep the center of mass projection as close as possible to the base of support [43], with a greater ML hip muscle activity to maintain balance [44] after chemotherapy.

The different testing conditions revealed more postural control impairments after chemotherapy in conditions with visual perturbances (EC, ECF). In these conditions, almost all parameters deteriorated, in line with previous work [12, 14]. The greater instabilities when visual input was disturbed may be explained by a reweighting of sensory information with increased use of visual and vestibular inputs following chemotherapy [1]. This coping strategy hypothesis is supported by the increase in the Romberg ratios on rigid and foam surfaces as well as the increased postural instabilities in DT condition after chemotherapy, where visual inputs could not be used for stabilization.

Foam conditions (EOF, ECF) demonstrated strong muscle activity to maintain balance both pre and post chemotherapy with high ML and V GRF max and variability. Foam seemed to act as a mechanical perturbator of the somatosensory system that enhanced the effort of standing and required more active neural control [20, 45, 46]. After chemotherapy, postural instabilities were found on foam with eyes open and closed.

In contrast, in vibration conditions (EOV, ECV) no post-chemotherapy loss of postural control was found. Disruption of Ia fibers induced by molecular and cellular dysfunctions after chemotherapy [47] could have limited the impact of the vibration. Taxanes slow the feedback transmitted by Ia fibers and reduce its reliability, impacting the stretch reflex [6]. Our exploratory analyses revealed lower CP values in participants with absent ankle reflex, being less disturbed by vibration than other participants, but the differences were not significant ($p \geq 0.56$). Vibration may not be an appropriate method to highlight post-chemotherapy sensory coping strategies for reduced postural control.

Chemotherapy-induced postural instability may affect activities of daily living, particularly those involving dual tasks. This study showed an increase in postural instability under DT conditions, probably because of an increase in cognitive interference [18] and inability to use vision for stabilization, busy writing the message.

In contrast, dynamic stability, which is also relevant to daily life, was not changed post chemotherapy, a finding that differs from the results of a previous study [48]. Methodological difficulties related to the understanding and execution of the tests, fatigue, and the high inter-participant variability, as reported previously [12, 49], may have affected the findings [49] and further studies are needed to provide more information on the effect of chemotherapy on limits of stability.

Given the decrease in postural control in conditions that primarily rely on somatosensory and vestibular inputs [8], the sensory impairments, and the poorer neurotoxicity sub-scale scores on the quality of life questionnaire beyond the minimal clinically significant difference [50], we assumed that somatosensory deficits might be associated with postural instability. However, only few CP and GRF parameters were moderately correlated with the mTNS score in exploratory analysis (*Supplementary files*), corroborating a previous study [14], and not with the NTx score. Furthermore, contrary to our hypothesis, there were no differences in postural control disorders between the CIPN severity subgroups. Thus, greater severity of CIPN does not appear to lead to greater deterioration in postural control.

An explanation, supported by several studies [1, 4, 51, 52] and the elevated baseline CP values in this study, is that other factors were also involved in the alteration of postural control. Physical inactivity [14, 51], vestibular deficits [6], or previous treatments, such as mastectomy [53], could play an important role in the development of postural disorders. Moreover, cognitive impairments [14], such as attentional deficits linked to anxiety and fatigue [1], or proximal proprioceptive deficits preventing accurate force generation [14, 51, 52] may have contributed to the postural impairment.

4.1. Limitations

Selection bias favored inclusion of people with breast cancer, reducing the external validity of the study. Only one assessment was performed pre and post chemotherapy. Repeated measurements would have been preferable because of the high variability of test results identified in a previous study [54]. Despite the random order of test conditions and the breaks between trials, the 75-minute duration of the evaluations may have caused fatigue that could have affected the results [55]. Due to clinical constraints, some tests (five pre, four post) exceeded the one-

month pre- and post-treatment interval, which could have influenced the results (the longer the period, the more divergent the results) [51]. According to exploratory analyses, the effects of fatigue and time interval appeared to be minimal.

4.2. Perspectives

The high variability of the results highlights the heterogeneity of postural control impairment after chemotherapy. Many factors in addition to somatosensory deficits may impact postural control. According to our exploratory analyses (*Supplementary files*), physical inactivity seemed to influence postural control disorders and should be evaluated with more objective validated measures in future studies. Individual assessment of previous treatments, fatigue, cognitive impairments, and comorbidities will also help to clarify the factors involved in impaired postural control.

4.3. Practical implications and conclusions

In conclusion, given the severity of impairment of postural control found, we suggest that postural control should be systematically evaluated with eyes closed on hard surface in women with breast cancer to identify chemotherapy-induced postural impairment. With a force platform, CP total and AP length and RMS with ML max GRF could be used to observe postural control changes. In a clinical setting without the use of force or stabilometric platforms, the literature recommends functional balance tests such as the Fullerton Advanced Balance Scale to assess postural control [10, 56]. Based on what has been observed, supportive physical activity care could include sensorimotor exercises with eyes closed and dual task exercises to limit postural control disorders after chemotherapy. Sensorimotor exercises programs revealed to be efficient in preventing postural control impairment in patients treated with taxanes for breast cancer [57], and with vinca-alkaloids or oxaliplatin for lymphoma and colorectal cancers [58]. They also may have a positive impact on preventing and treating CIPN sign and symptoms which encourage their use in practice [59, 60]. Further high-quality studies are required to better define their effects and formulate recommendations [61].

Statements and Declarations

Funding

No funding was received for conducting this study.

Competing interests

The authors have no relevant financial or non-financial interests to disclose.

Authors' contribution statements

All authors (Aline Reinmann, Alexandre Bodmer, Thibaud Kössler, Joseph Gligorov, Anne-Violette Bruyneel) contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by Aline Reinmann, Alexandre Bodmer and Anne-Violette Bruyneel. The first draft of the manuscript was written by Aline Reinmann and all authors (Aline Reinmann, Alexandre Bodmer, Thibaud Kössler, Joseph Gligorov, Anne-Violette Bruyneel) commented on previous versions of the manuscript. All authors (Aline Reinmann, Alexandre Bodmer, Thibaud Kössler, Joseph Gligorov, Anne-Violette Bruyneel) read and approved the final manuscript.

Ethical approval

This prospective study involving human participants was in accordance with the ethical standards of the institutional and national research committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards. The Human Investigation Committee (IRB) of Geneva approved this study (Geneva CCER – 2020-01639).

Clinical trials number

NCT04692168

Consent to participate

All participants consented to participate in this study before undergoing any study procedure.

Data availability

Data will be made available in the Yareta repository.

References

1. Wang AB, Housley SN, Flores AM, Kircher SM, Perreault EJ, Cope TC (2021) A review of movement disorders in chemotherapy-induced neurotoxicity. *J NeuroEngineering Rehabil* 18:16. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00818-2>
2. Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP (2000) What is balance? *Clin Rehabil* 14:402–406.

<https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>

3. Seretny M, Currie GL, Sena ES, Ramnarine S, Grant R, MacLeod MR, Colvin LA, Fallon M (2014) Incidence, prevalence, and predictors of chemotherapy-induced peripheral neuropathy: A systematic review and meta-analysis. *Pain* 155:2461–2470. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2014.09.020>
4. Monfort SM, Pan X, Loprinzi CL, Lustberg MB, Chaudhari AMW (2019) Impaired Postural Control and Altered Sensory Organization During Quiet Stance Following Neurotoxic Chemotherapy: A Preliminary Study. *Integr Cancer Ther* 18:1–8. <https://doi.org/10.1177/1534735419828823>
5. Fino PC, Horak FB, El-Gohary M, Guidarelli C, Medysky ME, Nagle SJ, Winters-Stone KM (2019) Postural sway, falls, and self-reported neuropathy in aging female cancer survivors. *Gait Posture* 69:136–142. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.01.025>
6. Kneis S, Wehrle A, Freyler K, Lehmann K, Rudolphi B, Hildenbrand B, Bartsch HH, Bertz H, Gollhofer A, Ritzmann R (2016) Balance impairments and neuromuscular changes in breast cancer patients with chemotherapy-induced peripheral neuropathy. *Clin Neurophysiol* 127:1481–1490. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.07.022>
7. Morishita S, Mitobe Y, Tsubaki A, Aoki O, Fu JB, Onishi H, Tsuji T (2018) Differences in Balance Function Between Cancer Survivors and Healthy Subjects: A Pilot Study. *Integr Cancer Ther* 17:1144–1149. <https://doi.org/10.1177/1534735418790387>
8. Schmitt AC, Repka CP, Heise GD, Challis JH, Smith JD (2017) Comparison of posture and balance in cancer survivors and age-matched controls. *Clin Biomech* 50:1–6. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2017.09.010>
9. Varedi M, Lu L, Howell CR, Partin RE, Hudson MM, Pui C-H, Krull KR, Robison LL, Ness KK, McKenna RF (2018) Peripheral Neuropathy, Sensory Processing, and Balance in Survivors of Acute Lymphoblastic Leukemia. *J Clin Oncol Off J Am Soc Clin Oncol* 36:2315–2322. <https://doi.org/10.1200/JCO.2017.76.7871>
10. Wampler MA, Topp KS, Miaskowski C, Byl NN, Rugo HS, Hamel K (2007) Quantitative and Clinical Description of Postural Instability in Women With Breast Cancer Treated With Taxane Chemotherapy. *Arch Phys Med Rehabil* 88:1002–1008. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2007.05.007>
11. Duclos N, Duclos C, Mesure S (2017) Contrôle postural : physiologie, concepts principaux et implications pour la réadaptation
12. Monfort SM, Pan X, Patrick R, Singaravelu J, Loprinzi CL, Lustberg MB, Chaudhari AMW (2016) Natural History of Postural Instability in Breast Cancer Patients Treated with Taxane-Based Chemotherapy: A Pilot Study. *Gait Posture* 48:237–242. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.011>
13. Monfort SM, Pan X, Patrick R, Ramaswamy B, Wesolowski R, Naughton MJ, Loprinzi CL, Chaudhari AMW, Lustberg MB (2017) Gait, Balance, and Patient-Reported Outcomes during Taxane-Based Chemotherapy in Early Stage Breast Cancer Patients. *Breast Cancer Res Treat* 164:69–77. <https://doi.org/10.1007/s10549-017-4230-8>
14. Müller J, Ringhof S, Vollmer M, Jäger LB (2020) Out of balance – Postural control in cancer patients before and after neurotoxic chemotherapy. *Gait Posture* 77:156–163. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2020.01.012>
15. Kneis S, Wehrle A, Dalin D, Wiesmeier IK, Lambeck J, Gollhofer A, Bertz H, Maurer C (2020) A new approach to characterize postural deficits in chemotherapy-induced peripheral neuropathy and to analyze postural adaptations after an exercise intervention. *BMC Neurol* 20:. <https://doi.org/10.1186/s12883-019-1589-7>
16. Patel M, Fransson PA, Lush D, Gomez S (2008) The effect of foam surface properties on postural stability assessment while standing. *Gait Posture* 28:649–656. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2008.04.018>
17. Pérennou D (2012) Physiologie et physiopathologie du contrôle postural. *Lett Médecine Phys Réadapt* 28:120–132. <https://doi.org/10.1007/s11659-012-0316-1>
18. Ghai S, Ghai I, Effenberg AO (2017) Effects of dual tasks and dual-task training on postural stability: a systematic review and meta-analysis. *Clin Interv Aging* 12:557–577. <https://doi.org/10.2147/CIA.S125201>
19. Newton RA (2001) Validity of the multi-directional reach test: a practical measure for limits of stability in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 56:M248–252. <https://doi.org/10.1093/gerona/56.4.m248>
20. Sozzi S, Do M-C, Schieppati M (2022) Vertical ground reaction force oscillation during standing on hard and compliant surfaces: The “postural rhythm.” *Front Neurol* 13:
21. Schwenk M, Grewal GS, Holloway D, Muchna A, Garland L, Najafi B (2016) Interactive Sensor-Based Balance Training in Older Cancer Patients with Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. *Gerontology* 62:553–563. <https://doi.org/10.1159/000442253>
22. Duregon F, Vendramin B, Bullo V, Gobbo S, Cugusi L, Di Blasio A, Neunhaeuserer D, Zaccaria M, Bergamin M, Ermolao A (2018) Effects of exercise on cancer patients suffering chemotherapy-induced peripheral neuropathy undergoing treatment: A systematic review. *Crit Rev Oncol Hematol* 121:90–100. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2017.11.002>
23. Walsh M, Church C, Hoffmeister A, Smith D, Haworth J (2020) Validation of a Portable Force Plate for

- Evaluating Postural Sway. *Percept Mot Skills* 0031512520945092. <https://doi.org/10.1177/0031512520945092>
24. Pinsault N, Vuillermé N (2009) Test–retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance. *Med Eng Phys* 31:276–286. <https://doi.org/10.1016/j.medengphys.2008.08.003>
25. Scheibel A, Zamfirescu F, Gagey P-M, Villeneuve P (2017) *Pratiques en posturologie* - Pierre-Marie Gagey, Alain Scheibel, Philippe Villeneuve, Françoise Zamfirescu - Google Livres, Elsevier Masson. Paris
26. Abrahámová D, Mancini M, Hlaváčka F, Chiari L (2009) The age-related changes of trunk responses to Achilles tendon vibration. *Neurosci Lett* 467:220–224. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.10.041>
27. Doumas M, Valkanidis TC, Hatzitaki V (2019) Putting proprioception for balance to the test: Contrasting and combining sway referencing and tendon vibration. *Gait Posture* 67:201–206. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.10.012>
28. Paillard T (2012) Effects of general and local fatigue on postural control: A review. *Neurosci Biobehav Rev* 36:162–176. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.05.009>
29. Juras G, Kajetan S, Fredyk A, Sobota G, Bacik B (2008) Evaluation of the Limits of Stability (LOS) Balance Test. *J Hum Kinet* 19:39–52. <https://doi.org/10.2478/v10078-008-0003-0>
30. Keklicek H, Kırdı E, Yalcin A, Yuce D, Topuz S (2019) Learning effect of dynamic postural stability evaluation system. *J Back Musculoskelet Rehabil* 32:7–14. <https://doi.org/10.3233/BMR-181172>
31. Quijoux F, Nicolai A, Chairi I, Bargiotas I, Ricard D, Yelnik A, Oudre L, Bertin-Hugault F, Vidal P, Vayatis N, Buffat S, Audiffren J (2021) A review of center of pressure (COP) variables to quantify standing balance in elderly people: Algorithms and open-access code. *Physiol Rep* 9:e15067. <https://doi.org/10.14814/phy2.15067>
32. Wampler MA, Miaskowski C, Hamel K (2006) The Modified Total Neuropathy Score: A Clinically Feasible and Valid Measure of Taxane-Induced Peripheral Neuropathy in Women With Breast Cancer. *J Support Oncol* 4:9–16
33. Vasquez S, Guidon M, McHugh E, Lennon O, Grogan L, Breathnach OS (2014) Chemotherapy induced peripheral neuropathy: the modified total neuropathy score in clinical practice. *Ir J Med Sci* 183:53–58. <https://doi.org/10.1007/s11845-013-0971-5>
34. Reinmann A, Bruyneel A-V, Gligorov J, Mesure S, Combescure C, Koessler T, Bodmer A (2022) Influence of chemotherapy on postural control and quality of life in women with gynaecological cancer: a protocol of a prospective observational study. *BMJ Open* 12:e061664. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2022-061664>
35. Cornblath DR, Chaudhry V, Carter K, Lee D, Seysedadr M, Miernicki M, Joh T (1999) Total neuropathy score: validation and reliability study. *Neurology* 53:1660–1664. <https://doi.org/10.1212/wnl.53.8.1660>
36. Calhoun EA, Welshman EE, Chang C-H, Lurain JR, Fishman DA, Hunt TL, Cella D (2003) Psychometric evaluation of the Functional Assessment of Cancer Therapy/Gynecologic Oncology Group-Neurotoxicity (FACT/GOG-Ntx) questionnaire for patients receiving systemic chemotherapy. *Int J Gynecol Cancer Off J Int Gynecol Cancer Soc* 13:741–748. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1438.2003.13603.x>
37. Huang HQ, Brady MF, Cella D, Fleming G (2007) Validation and reduction of FACT/GOG-Ntx subscale for platinum/paclitaxel-induced neurologic symptoms: a gynecologic oncology group study. *Int J Gynecol Cancer Off J Int Gynecol Cancer Soc* 17:387–393. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1438.2007.00794.x>
38. Lee S-H, Ha Y, Jung M, Yang S, Kang W-S (2019) The Effects of a Mobile Wellness Intervention with Fitbit Use and Goal Setting for Workers. *Telemed J E-Health Off J Am Telemed Assoc* 25:1115–1122. <https://doi.org/10.1089/tmj.2018.0185>
39. Bonomi AE, Cella DF, Hahn EA, Bjordal K, Sperner-Unterweger B, Gangeri L, Bergman B, Willems-Groot J, Hanquet P, Zittoun R (1996) Multilingual translation of the Functional Assessment of Cancer Therapy (FACT) quality of life measurement system. *Qual Life Res Int J Qual Life Asp Treat Care Rehabil* 5:309–320. <https://doi.org/10.1007/BF00433915>
40. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang A-G (2009) Statistical power analyses using G*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods* 41:1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149>
41. Yelnik A, Herman P (2021) *Troubles de l'équilibre : aspects sensoriels: De la physiologie à la rééducation*. Elsevier Health Sciences, France
42. Smith EML, Pang H, Cirrincione C, Fleishman S, Paskett ED, Ahles T, Bressler LR, Fadul CE, Knox C, Le-Lindqwister N, Gilman PB, Shapiro CL (2013) Effect of duloxetine on pain, function, and quality of life among patients with chemotherapy-induced painful peripheral neuropathy: a randomized clinical trial. *JAMA J Am Med Assoc* 309:1359–1367. <https://doi.org/10.1001/jama.2013.2813>
43. Winter DA (1995) Human balance and posture control during standing and walking. *Gait Posture* 3:193–214. [https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)
44. Winter DA, Prince F, Frank JS, Powell C, Zabjek KF (1996) Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance. *J Neurophysiol* 75:2334–2343. <https://doi.org/10.1152/jn.1996.75.6.2334>
45. Sozzi S, Nardone A, Schieppati M (2021) Specific Posture-Stabilising Effects of Vision and Touch Are

- Revealed by Distinct Changes of Body Oscillation Frequencies. *Front Neurol* 12:756984. <https://doi.org/10.3389/fneur.2021.756984>
46. Sozzi S, Ghai S, Schieppati M (2022) Incongruity of Geometric and Spectral Markers in the Assessment of Body Sway. *Front Neurol* 13: <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.871930>
 47. Burgess J, Ferdousi M, Gosal D, Boon C, Matsumoto K, Marshall A, Mak T, Marshall A, Frank B, Malik RA, Alam U (2021) Chemotherapy-Induced Peripheral Neuropathy: Epidemiology, Pathomechanisms and Treatment. *Oncol Ther* 9:385–450. <https://doi.org/10.1007/s40487-021-00168-y>
 48. Rattanakrong N, Siriphorn A, Boonyong S (2022) The alteration of static and dynamic postural stability among women with breast cancer during taxane-based chemotherapy: a descriptive study. *Physiother Theory Pract* 1–9. <https://doi.org/10.1080/09593985.2022.2139654>
 49. Wagner AR, Chaudhari AM, Merfeld DM (2021) Might Vestibular “Noise” Cause Subclinical Balance Impairment and Falls? *Int J Phys Med Rehabil* 9:001
 50. Zimmer P, Trebing S, Timmers-Trebing U, Schenk A, Paust R, Bloch W, Rudolph R, Streckmann F, Baumann FT (2018) Eight-week, multimodal exercise counteracts a progress of chemotherapy-induced peripheral neuropathy and improves balance and strength in metastasized colorectal cancer patients: a randomized controlled trial. *Support Care Cancer* 26:615–624. <https://doi.org/10.1007/s00520-017-3875-5>
 51. Müller J, Kreutz C, Ringhof S, Koeppl M, Kleindienst N, Sam G, Schneeweiss A, Wiskemann J, Weiler M (2021) Chemotherapy-induced peripheral neuropathy: longitudinal analysis of predictors for postural control. *Sci Rep* 11:2398. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-81902-4>
 52. Wang AB, Housley SN, Flores AM, Cope TC, Perreault EJ (2022) Cancer survivors post-chemotherapy exhibit unique proprioceptive deficits in proximal limbs. *J NeuroEngineering Rehabil* 19:32. <https://doi.org/10.1186/s12984-022-01010-w>
 53. Głowacka I, Nowikiewicz T, Siedlecki Z, Hagner W, Nowacka K, Zegarski W (2016) The Assessment of the Magnitude of Frontal Plane Postural Changes in Breast Cancer Patients After Breast-Conserving Therapy or Mastectomy - Follow-up Results 1 Year After the Surgical Procedure. *Pathol Oncol Res POR* 22:203–208. <https://doi.org/10.1007/s12253-015-9995-7>
 54. Soucy C, Bouchard DR, Hrubeniuk T, Sénéchal M (2022) Variability in physical function for patients living with breast cancer during a 12-week exercise program. *Support Care Cancer Off J Multinatl Assoc Support Care Cancer* 30:69–76. <https://doi.org/10.1007/s00520-021-06394-4>
 55. Gebel A, Busch A, Stelzel C, Hortobágyi T, Granacher U (2022) Effects of Physical and Mental Fatigue on Postural Sway and Cortical Activity in Healthy Young Adults. *Front Hum Neurosci* 16:871930. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.871930>
 56. Huang MH, Hile E, Croarkin E, Wampler-Kuhn M, Blackwood J, Colon G, Pfalzer LA (2019) Academy of Oncologic Physical Therapy EDGE Task Force: A Systematic Review of Measures of Balance in Adult Cancer Survivors. *Rehabil Oncol* 37:92. <https://doi.org/10.1097/01.REO.0000000000000177>
 57. Vollmers PL, Mundhenke C, Maass N, Bauerschlag D, Kratzenstein S, Röcken C, Schmidt T (2018) Evaluation of the effects of sensorimotor exercise on physical and psychological parameters in breast cancer patients undergoing neurotoxic chemotherapy. *J Cancer Res Clin Oncol* 144:1785–1792. <https://doi.org/10.1007/s00432-018-2686-5>
 58. Streckmann F, Elter T, Lehmann HC, Baurecht H, Nazarens T, Oschwald V, Koliymitra C, Otten S, Draube A, Heinen P, Steinmetz T, Hallek M, Leitzmann M, Bloch W, Balke M (2024) Preventive Effect of Neuromuscular Training on Chemotherapy-Induced Neuropathy: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Intern Med*. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2024.2354>
 59. Streckmann F, Lehmann HC, Balke M, Schenk A, Oberste M, Heller A, Schürhörster A, Elter T, Bloch W, Baumann FT (2019) Sensorimotor training and whole-body vibration training have the potential to reduce motor and sensory symptoms of chemotherapy-induced peripheral neuropathy-a randomized controlled pilot trial. *Support Care Cancer Off J Multinatl Assoc Support Care Cancer* 27:2471–2478. <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4531-4>
 60. Kneis S, Wehrle A, Müller J, Maurer C, Ihorst G, Gollhofer A, Bertz H (2019) It’s never too late - balance and endurance training improves functional performance, quality of life, and alleviates neuropathic symptoms in cancer survivors suffering from chemotherapy-induced peripheral neuropathy: results of a randomized controlled trial. *BMC Cancer* 19: <https://doi.org/10.1186/s12885-019-5522-7>
 61. Streckmann F, Balke M, Cavaletti G, Toscanelli A, Bloch W, Décard BF, Lehmann HC, Faude O (2022) Exercise and Neuropathy: Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports Med Auckl NZ* 52:1043–1065. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01596-6>

RESEARCH

Open Access



Can a physical activity program improve functional capacity and fatigue in people with cancer? A retrospective analysis

Aline Reinmann^{1,2*} , Edouard Laré³, Anne-Violette Bruyneel¹ , Joseph Gligorov^{2,4} , Alexandre Bodmer^{3†} and Thibaud Koessler^{3,5†}

Abstract

Purpose The primary aim was to determine the effect of a physical activity (PA) program with education sessions on walking capacity and fatigue in people with cancer. The secondary objective was to assess the factors that moderated the program's effect on walking capacity and fatigue among sociodemographic, physical capacity and symptom-related factors. Satisfaction with the program was also evaluated.

Method A retrospective, observational study of data from a 12-week program of twice-weekly group PA sessions combined with education sessions was conducted. The 6-min walk test (6MWT), the Multidimensional Fatigue Inventory (MFI-20) and program satisfaction were assessed. Paired t-tests were applied to assess changes in 6MWT and MFI-20. Multiple linear regressions were applied to determine the influence of age, gender, initial walking capacity and fatigue on the effects of the program.

Results Among the 264 participants (age 57.36 ± 12.43 years; 189 women; 134 with breast cancer), 125 (47%) completed the program. Walking capacity ($+41.63 \pm 91.00$ m) and fatigue (-2.01 ± 3.77) were improved after the program ($p < 0.001$). Age and gender did not influence the program's effect; however, lower initial walking capacity and higher fatigue scores were associated with larger improvements after the program. Satisfaction with the program was high among participants who completed it.

Conclusions Walking capacity and fatigue improved significantly after the PA program, but the drop-out rate was high. The program could be individualized based on an individual's initial walking capacity or fatigue score to enhance its effectiveness.

Keywords Cancer, Physical activity, Exercise therapy, Walking, Fatigue, Education

[†]Alexandre Bodmer and Thibaud Koessler contributed equally to this work.

*Correspondence:

Aline Reinmann
aline.reinmann@hesge.ch

¹ Geneva School of Health Sciences, HES-SO University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Rue Des Caroubiers 25, CH-1227 Carouge, Geneva, Switzerland

² INSERM, Centre de Recherche Saint Antoine, Sorbonne University, CRSA, 75012 Paris, France

³ Service of Oncology, Geneva University Hospitals, Geneva, Switzerland

⁴ Department of Oncology, Sorbonne University, Tenon Hospital, AP-HP Paris, France

⁵ University of Geneva, Geneva, Switzerland



© The Author(s) 2025. **Open Access** This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons licence and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.

Introduction

Diminished physical fitness and fatigue are frequent consequences of cancer and cancer treatments [1, 2]. Physical fitness is defined as “a set of attributes that people have or achieved that relates to the ability to perform physical activity” [3]. It includes health-related fitness (e.g. cardiorespiratory endurance and muscular strength) and skill-related fitness (e.g. postural control). Both these types of fitness are affected by cancer. Maximal oxygen uptake is decreased up to 20% in people with breast cancer compared to women of the same age not affected by cancer [2]. Loss of muscle mass and function cause impairment of force production [4]. Treatment-related somatosensory deficits can cause postural control disorders [5]. These physical fitness disorders can alter physical function, which is the “physical capacity to perform a functional activity required in daily life” [6], such as walking [7, 8]. Thus, people with cancer adopt a conservative gait pattern that includes decreased gait speed, stride/step length, and power output as well as increased stride/step time, double support time, and step width variability [5, 9]. Diminished physical function associated with other negative cancer-related side effects like fatigue are problematic as they can restrict participation in PA, which in turn leads to general physical deconditioning, loss of independence in activities of daily living and reduced quality of life [9, 10].

PA is essential to counteract the repercussions of altered physical fitness. It has been extensively evaluated in phase I to III studies with different contexts (hospital, rehabilitation center, outpatient clinic; supervised or unsupervised), diverse interventions (aerobic, resistance, combined), protocols (frequency, intensity, time, type of activity [FITT]), and timings of delivery [11]. The results revealed that whatever the FITT modalities or timing of PA delivery, PA effectively improved physical function [12–14], quality of life [13] and fatigue [15]. By enhancing physical fitness components such as strength, power, balance, and maximal oxygen uptake [16–18], physical activity can improve walking capacity, as evidenced by increased distances on the 6-min walk test (6MWT) following participation in exercise programs [16]. PA can also enhance empowerment and reduce stress as well as reducing recurrence rate and increasing survival [19].

Despite the established benefits of PA, 78% of people with cancer are not sufficiently active [20]. Only 15% of people with cancer reached the PA cancer guidelines of at least 150 min of moderate to vigorous PA per week [21]. The American College of Sports Medicine guidelines recommend performing aerobic or combined training three times weekly at moderate intensity, for 12 weeks, to improve physical function and fatigue [22].

Combining therapeutic education sessions with the PA program is also suggested [23]. Despite these recommendations, people with cancer decrease their PA by up to two hours per week after the diagnosis [24]. Barriers to PA are multiple and include physiological factors (relating to the cancer and side effects of treatment), psychosocial and cultural factors (self-efficacy and motivation), and economic and environmental factors (cost, weather and access to facilities) [25].

To facilitate access to PA, many hospitals, clinics, and community-based centers offer specific supervised programs that include aerobic and resistance exercises [26, 27]. Implemented in everyday practice, these programs face the realities of clinical settings (more heterogeneous populations, practical challenges) that can influence their effectiveness. Therefore, the effectiveness of programs conducted in clinical practice should also be assessed through phase IV studies [28]. These studies aim to evaluate existing practices to identify necessary adaptations and propose effective, evidence-based, and specific interventions. To achieve this, they focus on identifying program moderators. Moderators are defined as factors present before the therapeutic intervention that can impact the treatment [29]. These factors help determine for whom and under what conditions the intervention will be effective [29]. Regarding rehabilitation programs, the effectiveness of these programs could depend on a variety of factors such as sociodemographic factors (age, gender, body mass index [BMI] and marital status), cancer-related factors (type of cancer, timing of interventions and treatment), and initial levels of fatigue and physical capacity. A lower initial PA level may result in greater benefits from the PA program (larger increase in 6MWT distance) [30] but further studies are needed to confirm this [13]. Similarly, further studies are needed to assess whether initial fatigue level influences PA response [13]. Sociodemographic and cancer-related factors seem to have only small influences on the effects of PA [13–15]. Defining moderators that promote better outcomes in PA programs will help to better target programs, better individualize future PA programs, and thus improve supportive care for people with and after cancer.

The primary aim of this retrospective study was to assess the effect of a PA program associated with educational sessions on walking capacity and fatigue in people with cancer. The secondary aim was to evaluate moderators of the program's effect on walking capacity and fatigue among sociodemographic (age and gender), physical capacity (walking capacity) and symptom-related (fatigue) factors. We also assessed participant satisfaction at the end of the program.

Methods

Participants

To participate in the PA program, participants had to be at least 18 years old and have or have had an oncological disease with a medical prescription from the oncologist authorizing participation in the rehabilitation program at the Geneva University Hospital (HUG). They were excluded if they had medical conditions restricting participation in the program, such as bone metastasis or osteoporosis with a risk of fracture, verified by an oncologist. Active cancer treatments (chemotherapy, hormonal therapy, radiotherapy) were not exclusion criteria.

Design, data source and variables

We conducted a retrospective study of data collected from September 2017 to July 2019 by physiotherapists for all the people who attended the rehabilitation program. Sociodemographic variables (age, gender, weight, height, BMI, type of cancer and treatment) were collected before the program, while clinical data (walking capacity, fatigue, and satisfaction) were collected both before and after the program.

Rehabilitation program description

The program consisted of twice-weekly group physiotherapy sessions and three education sessions held at the HUG. Groups consisted of 10–15 participants with a diagnosis of cancer. The group program lasted 12 weeks and was supervised by two physiotherapists specialized in oncology. The education sessions consisted of presentations by healthcare professionals followed by discussions with participants. Topics covered included: PA, cancer and treatment, and nutrition. Concerning the PA program, one weekly session consisted of circuit training to work on strength, coordination, and balance, and the second weekly session involved endurance training. Circuit training sessions lasted one hour and included a 15 min warm-up and a 15 min cool down. The circuit training was composed of 15 stations of 1 min exercise and 1 min rest. The exercises, which included body-weight, elastic band, and free weight training, varied each week to enhance motivation. Three difficulty levels were offered for each exercise. The endurance sessions involved either an easy to moderate 60-min outdoor walk or a moderate to difficult 90-min walk, or indoor training on endurance equipment (stationary bicycle ergometer, treadmill, elliptical machine), depending on each participant's abilities. The target was to reach moderate to vigorous exercise intensity (5/10 on the BORG scale) during all sessions (0-no effort to 10-maximum effort) as recommended [22]. Each participant adapted their effort to their state of health and skills on the day. Thus,

the starting level of exercise and progression were established according to the perceived exertion. Adherence rate was not monitored. Any adverse events would have been reported to the oncologist in charge of the patient.

Evaluations

During the first and the last weeks of the program, participants took part in an evaluation session during which walking capacity and fatigue were assessed by the physiotherapists who also performed the rehabilitation.

The 6-min walk test (6MWT)

6MWT is a very common test of exercise capacity used in oncology [31]. It is moderately to strongly correlated with other walking capacity tests such as the 2-min walking test and the 10-m walk test in individuals with cancer ($0.61 < r < 0.84$, $p < 0.001$) [32] and has excellent test–retest reliability ($ICC = 0.96$) [33].

The 6MWT was conducted according to the guidelines of the European Respiratory Society / American Thoracic Society [34]. The participants had to walk back and forth along a 30 m corridor aiming to walk 'as far as possible in six minutes'. No incentives were given. After six minutes, participants were asked to stop, and the distance walked was measured by means of markers on the wall. Heart rate (HR), oxygen saturation (SpO_2) measured by a fingertip pulse oximeter, perceived exertion (BORG) and the walking distance were collected before, every two minutes, and at the end of the test. The time to recover HR and SpO_2 (return to baseline values) was also recorded.

The Multidimensional Fatigue Inventory (MFI-20) questionnaire

The MFI-20 is a 20-item questionnaire that assesses the influence of cancer on general physical and mental fatigue, activity, and motivation [35]. Subscale scores range from 4 to 20 with higher scores indicating higher fatigue. This questionnaire is validated in French ($r = 0.83$) and is highly reliable (Cronbach's alpha coefficient = 0.80) [35, 36]. It is recommended in an oncological context where assessment of fatigue is an important aspect of patient monitoring [36].

Satisfaction questionnaire

The satisfaction questionnaire was designed by the HUG to assess participant satisfaction with the rehabilitation program (Supplementary file). It includes questions about hospital choice, the program admission process, the program, and facilities that are rated on a Likert scale from 1 (excellent) to 5 (poor) and 6 (don't know) (range 14–82) (Table 3). This questionnaire was completed at the end of the program.

Statistical analysis

Descriptive statistics were expressed as frequencies and percentages for qualitative variables (sex, type of cancer, treatment, and satisfaction) and mean $\pm$ standard deviation for continuous variables (age, height, body weight, BMI, functional capacities, and fatigue results).

For the primary objective, paired t-tests were used to assess change in 6MWT distance and change in fatigue from the start to the end of the PA program after confirming the normality of the distribution of the differences with an exploratory data analysis. Cohen's *d* effect sizes were calculated.

To assess whether sociodemographic factors, baseline level of PA, and baseline fatigue moderated the effects of the PA program, multiple linear regression analyses were conducted. In these models, the evolution of the dependent variable (DV, either walking capacity or fatigue) was considered as a function of the initial parameter values (IV), with age and gender included as covariates. The assumptions of the model, including linearity of the DV vs. IV, normality and homoscedasticity of residuals, were verified. Multiple linear regression analyses were preferred over mixed models because the mixed models had non-significant likelihood ratio tests, minimal variances of the random effects, and higher Akaike Information Criterion (AIC) and Bayesian Information Criterion (BIC) values compared to the multiple linear regressions.

Analyses were conducted with Stata software (v.15, Stata Corporation, USA; v.25) and a *p*-value < 0.05 was considered significant for all analyses.

Results

Socio-demographic characteristics

A total of 264 participants, mean age 57.36 ± 12.43 years underwent the baseline assessment (Table 1). Breast cancer was by far the most represented cancer (51%, $n = 134$) followed by lung (9%, $n = 23$) and colorectal cancers (7%, $n = 18$).

Study completion

Among the 264 participants, 47% finished the program. Data of 139 persons were missing (drop-out or methodological reasons). The reasons for drop out were not monitored. No major adverse events occurred during the program.

The initial walking distance of individuals who did not complete the program was not different from the initial walking distance of those who finished it (mean $\pm$ SD (min–max): 475.88 ± 120.82 (120 – 720) vs. 487.98 ± 100.30 (120–780), $p = 0.389$). The same result was found for general fatigue (13.33 ± 3.74 (4 – 20) vs. 12.88 ± 3.74 (4 – 20), $p = 0.335$).

Changes in 6MWT distance

6MWT distance improved by 41.63 ± 91.00 m (+9%, $p < 0.001$, $d = 0.41$, $n = 121$) from the start to the end of the program (Table 2). BORG, HR, SpO_2 values, and recovery time did not change.

Changes in fatigue

All the dimensions of the MFI20 questionnaire were improved after the program (Table 2). General and physical fatigue, reduced PA, reduced motivation, and mental fatigue were decreased by -2.01 ± 3.77 (–16%, $p < 0.001$, $d = -0.55$, $n = 121$), -2.54 ± 4.05 (–20%, $p < 0.001$, $d = -0.58$, $n = 121$), -2.03 ± 3.89 (–18%, $p < 0.001$, $d = 0.48$, $n = 121$), -0.79 ± 3.10 (–9%, $p = 0.008$, $d = -0.24$, $n = 121$), and -1.07 ± 3.63 (–11%, $p = 0.003$, $d = -0.24$, $n = 121$).

Changes in the 6MWT according to age, gender, and initial walking distance

The change in walking distance was not influenced by age ($p = 0.415$) or gender ($p = 0.093$) but did vary based on the initial walking distance value ($p < 0.001$, Table 3). Multiple linear regression analysis indicated that for each additional meter of initial walking distance, the change in walking distance after the program would decrease by 0.43 m. The *p*-value of the multiple linear regression was significant ($p < 0.001$).

Changes in general fatigue according to age, gender, and initial fatigue

Change in general fatigue did not differ according to age ($p = 0.627$) or gender ($p = 0.739$) but it did differ according to the initial general fatigue value ($p < 0.001$, Table 3). The change in fatigue score after the program would decrease by 0.51 points for each additional point in the initial fatigue score.

Satisfaction

Participants were particularly satisfied, both in terms of the location of the program and the program itself (Table 4): 91% stated they would recommend it “without a doubt” and 9% “probably”.

Discussion

This retrospective study showed that at the end of a PA exercise program combined with education sessions, walking distance and all dimensions of fatigue in people with different types of cancer had improved (small to moderate effect sizes [37]). However, the drop-out rate was high. Low walking capacity and high fatigue levels were associated with greater benefits from the program, while age and gender had no influence on the results.

Table 1 Participant characteristics

Characteristics	All participants		Participants who completed the program		Participants who dropped out of the program		p-value finishers vs. drop-out
	Values	n	Values	n	Values	n	
Age, (years)	57.36 ± 12.43 (18–89)	263	58.21 ± 11.49 (31–89)	125	56.59 ± 13.22 (18–88)	138	0.292
Age women	56.22 ± 12.17 (18–88)	188	56.63 ± 11.13 (31–81)	99	55.76 ± 13.28 (18–88)	89	0.629
Age men	60.21 ± 12.69 (23–89)	75	64.23 ± 11.00 (40–89)	26	58.08 ± 13.11 (23–74)	49	0.045
Gender, n (%)		264		125		139	
Women	189 (72)	189	99 (79)	99	90 (65)	90	
Men	75 (28)	75	26 (21)	26	49 (35)	49	
Height, (cm)	164.93 ± 9.61 (147–202)	149	163.17 ± 8.17 (147–186)	69	166.45 ± 10.51 (150–202)	80	0.037
Height women	160.76 ± 6.56 (147–178)	106	160.67 ± 6.43 (147–176)	55	160.84 ± 6.76 (150–178)	51	0.895
Height men	175.23 ± 8.05 (163–202)	43	173.00 ± 6.82 (163–186)	14	176.31 ± 8.48 (163–202)	29	0.210
Weight, (kg)	73.63 ± 18.09 (42–174)	150	71.57 ± 16.42 (42–120)	69	75.38 ± 19.33 (43–174)	81	0.199
Weight women	69.29 ± 16.24 (42–105)	107	67.80 ± 14.96 (42–102)	55	70.88 ± 17.50 (43–105)	52	0.330
Weight men	84.41 ± 18.14 (60–174)	43	86.36 ± 13.62 (67–120)	14	83.47 ± 20.12 (60–174)	29	0.630
BMI, (kg/m²)	27.04 ± 5.97 (16.16–58.14)	149	26.74 ± 5.13 (16.16–39.35)	69	27.30 ± 6.64 (17.16–58.14)	80	0.569
BMI women	26.85 ± 6.02 (16.16–45.33)	106	26.21 ± 5.31 (16.16–39.35)	55	27.54 ± 6.70 (17.16–45.33)	51	0.259
BMI men	27.52 ± 5.88 (19.82–58.14)	43	28.83 ± 3.82 (20.68–34.69)	14	26.89 ± 6.63 (19.82–58.14)	29	0.317
Cancer type, n (%)		264		125		139	
Appendix	1 (< 1)		1 (1)		0		
Bladder	2 (1)		1 (1)		1 (1)		
Bone	1 (< 1)		0		1 (1)		
Breast	134 (51)		76 (61)		58 (42)		
Brain	9 (3)		3 (2)		6 (4)		
Brain lymphoma	1 (< 1)		0		1 (1)		
Colorectal	18 (7)		9 (7)		9 (7)		
Gall bladder	2 (1)		1 (1)		1 (1)		
Gynecological	14 (5)		4 (3)		10 (7)		
Kidney	3 (1)		1 (1)		2 (1)		
Leukemia	4 (2)		3 (2)		1 (1)		
Liver	3 (1)		1 (1)		2 (1)		
Lung	23 (9)		8 (6)		15 (11)		
Lymphoma	8 (3)		2 (2)		6 (4)		
Mediastinum	1 (< 1)		0		1 (1)		
Oesophagus	2 (1)		0		2 (1)		
ORL	6 (2)		2 (2)		4 (3)		
Pancreas	6 (2)		2 (2)		4 (3)		
Prostate	11 (4)		6 (6)		5 (4)		
Skin	4 (2)		2 (2)		2 (2)		
Small intestine	1 (< 1)		0		1 (1)		
Spleen	1 (< 1)		1 (1)		0		
Stomach	7 (3)		2 (2)		5 (4)		
Thyroid	2 (1)		0		2 (1)		
Therapy, n (%)		232		105		127	
C	39 (15)		15 (14)		24 (19)		
C+S	26 (10)		10 (10)		16 (13)		
C+S+H	2 (1)		1 (1)		1 (1)		
C+S+H+R	9 (3)		6 (6)		3 (2)		

Table 1 (continued)

	All participants	Participants who completed the program	Participants who dropped out of the program
C+S+I	2 (1)	1 (1)	1 (1)
C+S+I+R	5 (2)	2 (2)	3 (2)
C+S+R	34 (13)	19 (18)	15 (12)
C+H	4 (2)	2 (2)	2 (2)
C+H+I	1 (< 1)	0	1 (1)
C+H+R	10 (4)	5 (5)	5 (4)
C+I	4 (2)	0	4 (3)
C+I+R	2 (1)	1 (1)	1 (1)
C+R	26 (10)	8 (8)	18 (14)
S	13 (5)	9 (9)	4 (3)
S+H	6 (2)	4 (4)	2 (2)
S+H+I+R	1 (< 1)	1 (1)	0
S+H+R	14 (5)	9 (9)	5 (4)
S+I	1 (< 1)	0	1 (1)
S+R	12 (5)	4 (4)	8 (6)
H	4 (2)	2 (2)	2 (2)
H+R	5 (2)	1 (1)	4 (3)
I	8 (3)	3 (3)	5 (4)
R	1 (< 1)	0	1 (1)
None	3 (1)	2 (2)	1 (1)

Socio-demographics and clinical characteristics of participants. Data are mean $\pm$ SD (Min–Max) or n (%)

BMI Body Mass Index, C Chemotherapy, H Hormone therapy, I Immune therapy, ORL Otorhinolaryngological, R Radiation therapy, S Surgery

In bold, p -value < 0.05

Participants who completed the program were highly satisfied with it.

The improvement in walking capacity following the PA program is consistent with previous work. Systematic reviews found that PA can improve aspects of physical fitness, such as strength, power, balance and maximal oxygen uptake, in people with different types of cancer [16–18], as well as walking capacity, with improvements in the 6MWT, 400 m walk, 6 m or 10 m walk tests [17, 18, 38]. However, the improvement in the 6MWT distance did not always exceed the minimum clinically significant difference (MCID) [30, 39] established at 42.7 m [40], 42 m or 9.5% improvement [41], 63.2 m [42], or 62.5 m [39] in studies of people with prostate, lung, and breast cancer. In the study by Soucy et al. (2022), the MCID was reached in only 28% of participants [30]. Similarly, in our study, the improvement in 6MWT distance was close to, but did not exceed the MCID, suggesting that providing more individualized PA programs, particularly regarding the participant's initial condition, could improve its effectiveness.

The participants with a shorter baseline 6MWT distance had greater improvements in walking capacity than those with a longer baseline 6MWT distance. It is possible that these results are related to the greater

sensitivity of the test to functional changes in cases of lower initial capacities [43]. Another explanation concerns the margin for progress. Individuals starting from a lower physical capacity likely have a greater potential for improvement [44]. Thus, in a previous study evaluating the effects of a community program in women with breast cancer, an improvement in walking capacity, assessed using the 6MWT, was observed in individuals with lower initial capacities [30]. This confirms the necessity of providing individualized PA programs designed according to the individual's physical capacities, such as walking capacity, rather than according to sociodemographic factors, since these factors did not influence the improvement in walking distance in this study. A similar lack of influence was also found in a meta-analysis [13].

In addition to considering initial condition, an objective assessment of maximal capacities could enhance program effectiveness by accurately prescribing the appropriate starting load and progression. Individuals with high initial capacities, whose range of gains is consequently more limited, could benefit from more individualized stimuli, either in a more objective manner [44] or more frequently, as recommended [22]. This would address the principles of progression, overload,

Table 2 Descriptive characteristics, functional, and fatigue values

	Values pre	n	Values post	n	Differences	n	Cohen's d effect size	p-value
<i>Walking capacity with the 6MWT</i>								
Distance 2 min, (m)	163.40 ± 29.10 (90—250)	119	176.72 ± 33.89 (90—290)	118	13.46 ± 26.61 (−75—90)	118	0.43	< 0.001
Distance 4 min, (m)	323.57 ± 64.15 (100—500)	119	349.25 ± 67.99 (150—540)	118	25.98 ± 60.74 (−180—210)	118	0.39	< 0.001
Distance 6 min, (m)	487.98 ± 100.30 (120—780)	121	529.60 ± 102.56 (180—835)	121	41.63 ± 91.00 (−330—375)	121	0.41	< 0.001
BORG 6 min	3.87 ± 1.92 (0.5—9)	108	3.95 ± 1.87 (1—10)	57	−0.12 ± 2.18 (−5—6)	52	−0.06	= 0.704
SpO ₂ pre, (%)	97.45 ± 1.35 (93—100)	121	97.18 ± 1.51 (93—100)	120	−0.25 ± 1.62 (−6—3)	120	−0.18	= 0.094
SpO ₂ 2 min, (%)	96.02 ± 1.79 (90—99)	121	95.59 ± 2.59 (85—100)	121	−0.41 ± 2.69 (−13—6)	121	−0.18	= 0.099
SpO ₂ 4 min, (%)	95.93 ± 2.15 (86—100)	121	95.50 ± 2.86 (81—100)	121	−0.43 ± 3.19 (−17—12)	121	−0.17	= 0.141
SpO ₂ 6 min, (%)	96.18 ± 1.88 (90—100)	121	95.74 ± 2.47 (87—100)	121	−0.44 ± 2.76 (−12—8)	121	−0.20	= 0.083
HR pre, (bpm)	81.64 ± 13.60 (51—123)	121	86.60 ± 13.49 (57—120)	121	4.96 ± 12.71 (−21—56)	121	0.37	< 0.001
HR 2 min, (bpm)	112.02 ± 19.42 (62—171)	120	111.65 ± 19.80 (48—153)	120	−0.49 ± 23.56 (−78—61)	119	−0.03	= 0.822
HR 4 min, (bpm)	114.05 ± 19.25 (60—173)	119	115.43 ± 19.59 (62—156)	120	0.92 ± 19.26 (−77—59)	118	0.05	= 0.603
HR 6 min, (bpm)	116.65 ± 19.44 (63—165)	121	118.02 ± 20.27 (63—165)	121	1.37 ± 17.60 (−86—58)	121	0.07	= 0.393
Recuperation SpO ₂ 6 min, (s)	48.27 ± 57.40 (0—265)	115	43.23 ± 49.10 (0—180)	115	−3.62 ± 73.62 (−185—150)	109	−0.18	= 0.608
Recuperation HR 6 min, (s)	123.54 ± 59.83 (0—360)	115	109.19 ± 54.22 (0—180)	115	−9.91 ± 74.05 (−360—180)	109	−0.07	= 0.165
<i>Fatigue with the MFI-20</i>								
General fatigue	12.88 ± 3.74 (4—20)	121	10.87 ± 3.74 (4—20)	121	−2.01 ± 3.77 (−11—6)	121	−0.55	< 0.001
Physical fatigue	12.45 ± 4.32 (4—20)	121	9.91 ± 4.07 (4—20)	121	−2.54 ± 4.05 (−14—11)	121	−0.58	< 0.001
Reduced PA	11.51 ± 4.33 (4—20)	121	9.48 ± 3.81 (4—20)	121	−2.03 ± 3.89 (−13—8)	121	−0.48	< 0.001
Reduced motivation	8.58 ± 3.26 (4—18)	121	7.79 ± 3.05 (4—16)	121	−0.79 ± 3.10 (−8—7)	121	−0.24	= 0.008
Mental fatigue	10.11 ± 4.29 (4—20)	121	9.03 ± 4.24 (3—20)	121	−1.07 ± 3.63 (−9—11)	121	−0.24	= 0.003

Descriptive characteristics, functional, and fatigue values

Data are mean ± SD (Min—Max)

HR Heart Rate, SpO₂ Oxygen saturation, 6MWT 6-min walk test

In bold, p-value < 0.05

Table 3 Linear regressions

	Simple linear regression coefficient	95% CI	p-value	Multiple linear regression coefficient	95% CI	p-value
<i>Walking model</i>						
Initial walking distance	−0.389	−0.54 to −0.24	< 0.001	−0.429	−0.59 to −0.27	< 0.001
Age	0.900	−0.55 to 2.35	0.222	−0.601	−2.06 to 0.86	0.415
Gender	14.739	−27.10 to 56.58	0.487	34.272	−5.78 to 74.33	0.093
<i>Fatigue model</i>						
Initial general fatigue	−0.509	−0.67 to −0.35	< 0.001	−0.505	−0.67 to −0.34	< 0.001
Age	0.039	−0.02 to 0.10	0.198	0.014	−0.04 to 0.07	0.627
Gender	0.464	−1.22 to 2.15	0.586	−0.260	−1.80 to 1.28	0.739

Coefficients of linear regressions n = 121

CI Confidence interval

In bold, p-value < 0.05

Table 4 Satisfaction questionnaire

Choice	Me	My doctor	Advice from a relative			
Hospital choice for your rehabilitation (n = 111)	18 (16.22)	90 (81.08)	3 (2.7)			
Facilities						
	Excellent	Very good	Good	Fair	Poor	I don't know
Easy access to the Physiotherapy Department (n = 116)	69 (59.48)	38 (32.76)	7 (6.03)	1 (0.86)	1 (0.86)	0
Ease of orientation around and in buildings (n = 114)	63 (55.26)	38 (33.33)	13 (11.4)	0	0	0
Comfort, cleanliness, lighting, temperature of room in which you were treated (n = 116)	69 (59.48)	30 (25.86)	14 (12.07)	3 (2.59)	0	0
Calm, intimacy, relaxing atmosphere of the rehabilitation rooms (n = 113)	59 (52.21)	38 (33.63)	16 (14.16)	0	0	0
Admission						
Ease of formalities and time to get your first appointment (n = 114)	76 (66.67)	33 (28.95)	5 (4.39)	0	0	0
Friendliness, willingness of staff to answer your questions, expectations (n = 116)	69 (59.48)	37 (31.9)	8 (6.9)	2 (1.72)	0	0
Your treatment						
Ability of your physiotherapist to make you feel comfortable and, if necessary, reassure you (n = 115)	79 (68.7)	33 (28.7)	3 (2.61)	0	0	0
Explanations you received about what would be done to you and what was expected of you (n = 116)	70 (60.34)	34 (29.31)	10 (8.62)	0	0	2 (1.72)
At the end of your physiotherapy, the quality of information you received about your future (n = 116)	49 (42.24)	37 (31.9)	18 (15.52)	1 (0.86)	0	11 (9.48)
Your sense of security at each stage of rehabilitation (n = 117)	78 (66.67)	33 (28.21)	6 (5.13)	0	0	0
Tailoring your rehabilitation to the specificity of your problem (n = 113)	55 (48.67)	40 (35.4)	18 (15.93)	0	0	0
Summary word						
If you had to summarize your physiotherapy treatment in one word (n = 111)	65 (58.56)	40 (36.04)	6 (5.41)			
Recommendation						
	Yes, without any doubt	Yes, probably				
Would you recommend our service to someone close to you? (n = 116)	105 (90.52)	11 (9.48)				

Results of the satisfaction questionnaire. Data expressed in n (%). n = 111–117

and specificity, that must be adhered to for the effective implementation of rehabilitation programs [44].

The addition of education sessions by trained caregivers, as was done in this program, is another method to increase the effectiveness of PA programs by supporting and guiding cancer patients in their engagement with physical activity [25, 45].

The results for fatigue were similar to most results of the latest systematic reviews and meta-analyses that found that PA improved cancer-related fatigue in people with breast [10, 46], gynecological [47], lung [48], colon [49–51], and pancreatic [18] cancer. PA induces anti-inflammatory effects on IL-6 that may reduce the activity of pro-inflammatory cytokines IL-1B and TNF- α , positively affecting cancer-related fatigue [52]. All the dimensions evaluated by the fatigue questionnaire were improved, namely general fatigue, physical fatigue, PA,

motivation, and mental fatigue, but only the change in physical fatigue exceeded the MCID (2.54 > 2.04), although the change in general fatigue was very close to the MCID (2.01 < 2.06) [53]. A meta-analysis found that during cytotoxic treatment, general fatigue and physical fatigue were also improved by PA [54]. Therefore, PA may specifically improve these fatigue dimensions.

PA seemed particularly beneficial for people with high initial level of fatigue. Participants with higher level of fatigue had greater improvements in their MFI20 scores at the end of the program than those with lower levels of baseline fatigue. On the opposite, age and gender had no influence on the program's effect on fatigue in this retrospective study, contrary to what was observed in Covington's scoping review (2019) [26]. Knowing that a PA program with education sessions can reduce cancer-related fatigue, particularly high levels of fatigue could

encourage people with cancer to participate in PA [25]. Indeed, treatment-related side effects, medical complications, and cancer progression are among the main barriers to PA, along with time conflicts [26]. The fact that some participants were receiving active oncological therapy such as chemotherapy at the same time as the PA program could partly explain the high dropout-rate found in this study. As many of the adverse effects of disease and treatment can be ameliorated by PA [55], there is a need to find ways to facilitate adherence to PA to help people to achieve the recommendations. Quality therapeutic education provided by trained caregivers, the implementation of PA as an integral part of cancer treatment, the reorganization of health-care facilities or the diversification of the modalities of the individualized program offered (at home, with different types of PA, etc.), could be possible solutions [25].

Limitations

This study was based on retrospective data, with the disadvantages that this entails. Thus, some demographic and outcome data were missing. Additional information on the participants, e.g. cancer stage, PA practiced outside the program, adherence in terms of quantity and intensity of exercise performed during PA, and other physical fitness capacities affected by cancer, such as strength or postural control, would have provided additional information on the effects of a PA program. Similarly, the addition of a control group would have allowed confirmation that the observed improvements were due to the program. Evaluations at several time points would have increased the accuracy of the results by knowing how they evolve throughout the program [30, 44]. Knowledge on missing data and reasons of drop-out would have been of great interest to set up future physical activity programs. As the physiotherapists in charge of the program administered the satisfaction questionnaire, this may have led to a social desirability bias and thus overestimating program satisfaction. Finally, the small number of participants who completed the program prevented further analyses, for example by type of cancer. However, previous studies did not demonstrate any influence of cancer type on PA program effects on physical function [13] or fatigue [15].

Practical implications and conclusions

This retrospective study found improvements in walking capacity and fatigue among people with cancer who completed the hospital-based PA program. To enhance its effectiveness, the program could be individualized based on the individual's initial condition, specifically their initial walking capacity and fatigue levels. Lower walking

capacity and higher fatigue levels resulted in greater benefits. Particular attention should be paid to reducing missing data and drop-out rates when developing a PA program. The high level of satisfaction reported by participants who completed the program demonstrated the potential to offer appropriate exercise programs during the active phase of treatment.

Abbreviations

6MWT	6-min walk test
BMI	Body Mass Index
FITT	Frequency, Intensity, Time, Type of activity
HR	Heart Rate
HUG	Geneva University Hospital
IL-1B	Interleukine-1 beta
MCID	Minimal Clinically Important Difference
MFI-20	Multidimensional Fatigue Inventory
PA	Physical Activity
SpO ₂	Oxygen saturation
TNF-α	Tumor Necrosis Factor-alpha

Supplementary Information

The online version contains supplementary material available at <https://doi.org/10.1186/s13102-025-01066-w>.

Supplementary Material 1.

Acknowledgements

We would like to thank the physiotherapy team that was involved in this program. We would like to thank Johanna Robertson PT, PhD for language editing. We would like to thank Florian Stern, PhD for statistical support.

Authors' contributions

AR contributed to data analyses, and drafted and revised the manuscript. EL contributed to data acquisition and drafted and revised the manuscript. AVB contributed to data analyses, and drafted and revised the manuscript. JG drafted and revised the manuscript. AB conceived and designed the program, and drafted and revised the manuscript. TK conceived and designed the program, and drafted and revised the manuscript. All authors approved the submitted version.

Funding

Open access funding provided by University of Geneva No funding was received for conducting this study.

Data availability

The data that support the findings of this study will be made available by the authors upon reasonable request.

Declarations

Ethics approval and consent to participate

This retrospective chart review study involving human participants was conducted in accordance with the ethical standards of the institutional and national research committee and with the 1964 Helsinki Declaration and its later amendments or comparable ethical standards. The Human Investigation Committee (IRB) of Geneva approved this study (Geneva CCER – 2020–00402). Verbal informed consent for the participation in the rehabilitation program and the use of the data was obtained prior to inclusion in the program.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare no competing interests.

Received: 18 July 2024 Accepted: 22 January 2025
Published online: 06 February 2025

References

- Nyrop KA, Deal AM, Shachar SS, Basch E, Reeve BB, Choi SK, Lee JT, Wood WA, Anders CK, Carey LA, Dees EC, Jolly TA, Reeder-Hayes KE, Kimmick GG, Karuturi MS, Reinbolt RE, Specia JC, Muss HB. Patient-reported toxicities during chemotherapy regimens in current clinical practice for early breast Cancer. *Oncologist*. 2019;24:762–71. <https://doi.org/10.1634/theoncologist.2018-0590>.
- Smoot B, Johnson M, Duda JJ, Krasnoff J, Dodd M. Cardiorespiratory fitness in women with and without lymphedema following breast cancer treatment. *Cancer Clin Oncol*. 2012;1:21–31. <https://doi.org/10.5539/ccov.1n1p21>.
- Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*. 1985;100:126–31.
- Mallard J, Hucet E, Hureau TJ, Pagano AF. Skeletal Muscle Deconditioning in Breast Cancer Patients Undergoing Chemotherapy: Current Knowledge and Insights From Other Cancers. *Front Cell Dev Biol*. 2021;9. <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.719643>.
- Wang AB, Housley SN, Flores AM, Kircher SM, Perreault EJ, Cope TC. A review of movement disorders in chemotherapy-induced neurotoxicity. *J NeuroEngineering Rehabil*. 2021;18:16. <https://doi.org/10.1186/s12984-021-00818-2>.
- Cheng I-F, Kuo L-C, Tsai Y-J, Su F-C. The comparisons of physical functional performances between older adults with and without regular physical activity in two different living settings. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18:3561. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073561>.
- Monfort SM, Pan X, Patrick R, Ramaswamy B, Wesolowski R, Naughton MJ, Loprinzi CL, Chaudhari AMW, Lustberg MB. Gait, balance, and patient-reported outcomes during taxane-based chemotherapy in early stage breast cancer patients. *Breast Cancer Res Treat*. 2017;164:69–77. <https://doi.org/10.1007/s10549-017-4230-8>.
- Toth MJ, Miller MS, Callahan DM, Sweeney AP, Nunez I, Grunberg SM, Der-Torossian H, Couch ME, Dittus K. Molecular mechanisms underlying skeletal muscle weakness in human cancer: reduced myosin-actin cross-bridge formation and kinetics. *J Appl Physiol Bethesda Md*. 2013;114:858–68. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01474.2012>.
- Duregon F, Vendramin B, Bullo V, Gobbo S, Cugusi L, Di Blasio A, Neunhaeuser D, Zaccaria M, Bergamin M, Ermolao A. Effects of exercise on cancer patients suffering chemotherapy-induced peripheral neuropathy undergoing treatment: A systematic review. *Crit Rev Oncol Hematol*. 2018;121:90–100. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2017.11.002>.
- Gebruers N, Camberlin M, Theunissen F, Tjalma W, Verbelen H, Van Soom T, van Breda E. The effect of training interventions on physical performance, quality of life, and fatigue in patients receiving breast cancer treatment: a systematic review. *Support Care Cancer Off J Multinat Assoc Support Care Cancer*. 2019;27:109–22. <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4490-9>.
- Salam A, Woodman A, Chu A, Al-Jamea LH, Islam M, Sagher M, Sager M, Akhtar M. Effect of post-diagnosis exercise on depression symptoms, physical functioning and mortality in breast cancer survivors: A systematic review and meta-analysis of randomized control trials. *Cancer Epidemiol*. 2022;77:102111. <https://doi.org/10.1016/j.canep.2022.102111>.
- Andersen HH, Vinther A, Lund CM, Paludan C, Jørgensen CT, Nielsen D, Juhl CB. Effectiveness of different types, delivery modes and extensiveness of exercise in patients with breast cancer receiving systemic treatment - A systematic review and meta-analysis. *Crit Rev Oncol Hematol*. 2022;178:103802. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2022.103802>.
- Buffart LM, Katter J, Sweegers MG, Courneya KS, Newton RU, Aaronson NK, Jacobsen PB, May AM, Galvão DA, Chinapaw MJ, Steindorf K, Irwin ML, Stuijver MM, Hayes S, Griffith KA, Lucia A, Mesters I, van Weert E, Knoop H, Goedendorp MM, Mutrie N, Daley AJ, McConnachie A, Bohus M, Thorsen L, Schulz K-H, Short CE, James EL, Plotnikoff RC, Arbore G, Schmidt ME, Potthoff K, van Beurden M, Oldenburg HS, Sonke GS, van Harten WH, Garrod R, Schmitz KH, Winters-Stone KM, Velthuis MJ, Taaffe DR, van Mechelen W, Kersten M-J, Nollé F, Wenzel J, Wiskemann J, Verdonck-de Leeuw IM, Brug J. Effects and moderators of exercise on quality of life and physical function in patients with cancer: An individual patient data meta-analysis of 34 RCTs. *Cancer Treat Rev*. 2017;52:91–104. <https://doi.org/10.1016/j.ctrv.2016.11.010>.
- Sweegers MG, Altenburg TM, Chinapaw MJ, Katter J, Verdonck-de Leeuw IM, Courneya KS, Newton RU, Aaronson NK, Jacobsen PB, Brug J, Buffart LM. Which exercise prescriptions improve quality of life and physical function in patients with cancer during and following treatment? A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med*. 2018;52:505–13. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-097891>.
- Oberoi S, Robinson PD, Cataudella D, Culos-Reed SN, Davis H, Duong N, Gibson F, Götte M, Hinds P, Nijhof SL, Tomlinson D, van der Torre P, Cabral S, Dupuis LL, Sung L. Physical activity reduces fatigue in patients with cancer and hematopoietic stem cell transplant recipients: A systematic review and meta-analysis of randomized trials. *Crit Rev Oncol Hematol*. 2018;122:52–9. <https://doi.org/10.1016/j.critrevonc.2017.12.011>.
- Lahart IM, Metsios GS, Nevill AM, Carmichael AR. Physical activity for women with breast cancer after adjuvant therapy. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011292.pub2>.
- Lopez P, Taaffe DR, Newton RU, Galvão DA. Resistance exercise dosage in men with prostate cancer: systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Med Sci Sports Exerc*. 2021;53:459–69. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000002503>.
- Luo H, Galvão DA, Newton RU, Lopez P, Tang C, Fairman CM, Spry N, Taaffe DR. Exercise medicine in the management of pancreatic cancer: a systematic review. *Pancreas*. 2021;50:280–92. <https://doi.org/10.1097/MPA.0000000000001753>.
- Molina-Montes E, Ubago-Guisado E, Petrova D, Amiano P, Chirlaque M-D, Agudo A, Sánchez M-J. The role of diet, alcohol, BMI, and physical activity in cancer mortality: summary findings of the EPIC study. *Nutrients*. 2021;13:4293. <https://doi.org/10.3390/nu13124293>.
- Frikkel J, Götte M, Beckmann M, Kasper S, Hense J, Teufel M, Schuler M, Tewes M. Fatigue, barriers to physical activity and predictors for motivation to exercise in advanced Cancer patients. *BMC Palliat Care*. 2020;19:43. <https://doi.org/10.1186/s12904-020-00542-z>.
- Titz C, Hummler S, Schmidt ME, Thomas M, Steins M, Wiskemann J. Exercise behavior and physical fitness in patients with advanced lung cancer. *Support Care Cancer Off J Multinat Assoc Support Care Cancer*. 2018;26:2725–36. <https://doi.org/10.1007/s00520-018-4105-5>.
- Campbell KL, Winters-Stone K, Wiskemann J, May AM, Schwartz AL, Courneya KS, Zucker D, Matthews C, Ligibel J, Gerber L, Morris S, Patel A, Hue T, Perna F, Schmitz KH. Exercise Guidelines for Cancer Survivors: Consensus statement from International Multidisciplinary Roundtable. *Med Sci Sports Exerc*. 2019;51:2375–90. <https://doi.org/10.1249/MSS.00000000000002116>.
- Beuchat-Mamie S, Sperisen N, Molnar P, Koçer S. Physical Activity and Cancer. *Praxis*. 2018;107:965–70. <https://doi.org/10.1024/1661-8157/a003064>.
- Irwin ML, Crumley D, McTiernan A, Bernstein L, Baumgartner R, Gilliland FD, Kriska A, Ballard-Barbash R. Physical activity levels before and after a diagnosis of breast carcinoma: the Health, Eating, Activity, and Lifestyle (HEAL) study. *Cancer*. 2003;97:1746–57. <https://doi.org/10.1002/cncr.11227>.
- Elshahat S, Treanor C, Donnelly M. Factors influencing physical activity participation among people living with or beyond cancer: a systematic scoping review. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2021;18:50. <https://doi.org/10.1186/s12966-021-01116-9>.
- Covington KR, Hidde MC, Pergolotti M, Leach HJ. Community-based exercise programs for cancer survivors: a scoping review of practice-based evidence. *Support Care Cancer*. 2019;27:4435–50. <https://doi.org/10.1007/s00520-019-05022-6>.
- Ezenwankwo EF, Nnate DA, Usoro GD, Onyoso CP, Anioto IB, Ibeneme SC, Albertus Y, Lambert VE, Ezeukwu AO, Abaoguo UO, Shamley D. A scoping review examining the integration of exercise services in clinical oncology settings. *BMC Health Serv Res*. 2022;22:236. <https://doi.org/10.1186/s12913-022-07598-y>.
- Onken LS, Carroll KM, Shoham V, Cuthbert BN, Riddle M. Reenvisioning clinical science: unifying the discipline to improve the public health. *Clin Psychol Sci J Assoc Psychol Sci*. 2014;2:22–34. <https://doi.org/10.1177/2167702613497932>.

29. Duriez N. L'étude intensive de cas dans la recherche sur les modérateurs et les médiateurs du changement activé par une thérapie familiale. *Thérapie Fam.* 2009;30:251–73. <https://doi.org/10.3917/TF092.0251>.
30. Soucy C, Bouchard DR, Hrubeniuk T, Sénéchal M. Variability in physical function for patients living with breast cancer during a 12-week exercise program. *Support Care Cancer Off J Multinat Assoc Support Care Cancer.* 2022;30:69–76. <https://doi.org/10.1007/s00520-021-06394-4>.
31. Peddle-McIntyre CJ, Singh F, Thomas R, Newton RU, Galvão DA, Cavalheri V. Exercise training for advanced lung cancer. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019;2:1–46. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012685.pub2>.
32. Reinmann A, Koessler T, Bodmer A, Baud-Grasset A, Menzies G, Gligorov J, Bruyneel A-V. Feasibility, criterion and construct convergent validity of the 2-minute walk test and the 10-meter walk test in an oncological context. *Heliyon.* 2023;9:e22180. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22180>.
33. Eden MM, Tompkins J, Verheijde JL. Reliability and a correlational analysis of the 6MWT, ten-meter walk test, thirty second sit to stand, and the linear analog scale of function in patients with head and neck cancer. *Physiother Theory Pract.* 2018;34:202–11. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1390803>.
34. Holland AE, Spruit MA, Troosters T, Puhan MA, Pepin V, Saey D, McCormack MC, Carlin BW, Sciruba FC, Pitta F, Wanger J, MacIntyre N, Kaminsky DA, Culver BH, Revill SM, Hernandez NA, Andrianopoulos V, Camillo CA, Mitchell KE, Lee AL, Hill CJ, Singh SJ. An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease. *Eur Respir J.* 2014;44:1428–46. <https://doi.org/10.1183/09031936.00150314>.
35. Smets EM, Garssen B, Cull A, de Haes JC. Application of the multidimensional fatigue inventory (MFI-20) in cancer patients receiving radiotherapy. *Br J Cancer.* 1996;73:241–5. <https://doi.org/10.1038/bjc.1996.42>.
36. Gentile S, Delarozzière JC, Favre F, Sambuc R, Marco JLS. Validation of the French 'multidimensional fatigue inventory' (MFI 20). *Eur J Cancer Care (Engl).* 2003;12:58–64. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2354.2003.00295.x>.
37. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences.* Routledge; 1988.
38. But-Hadzic J, Dervisevic M, Karpjuk D, Videmsek M, Dervisevic E, Paravlic A, Hadzic V, Tomazin K. Six-minute walk distance in breast cancer survivors—a systematic review with meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18:2591. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052591>.
39. Foley MP, Hasson SM. Effects of a community-based multimodal exercise program on health-related physical fitness and physical function in breast cancer survivors: a pilot study. *Integr Cancer Ther.* 2016;15:446–54. <https://doi.org/10.1177/1534735416639716>.
40. Davies C, Colon G, Geyer H, Pfalzer L, Fisher M. Oncology EDGE task force on prostate cancer outcomes: a systematic review of outcome measures for functional mobility. *Rehabil Oncol.* 2016;34:1–44.
41. Granger CL, Denehy L, Parry SM, Martin J, Dimitriadis T, Sorohan M, Irving L (2015) Which field walking test should be used to assess functional exercise capacity in lung cancer? an observational study. *BMC Pulm Med* 15: <https://doi.org/10.1186/s12890-015-0075-2>
42. Foley MP, Barnes VA, Hasson SM. Effects of a community-based multimodal exercise program on physical function and quality of life in cancer survivors—a pilot study. *Physiother Theory Pract.* 2015;31:303–12. <https://doi.org/10.3109/09593985.2015.1004390>.
43. Nader JA, Berton DC, O'Donnell DE. Getting the most out of the six-minute walk test. *J Bras Pneumol.* 2023;49:e20230028. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20230028>.
44. Neil-Sztramko SE, Winters-Stone KM, Bland KA, Campbell KL. Updated systematic review of exercise studies in breast cancer survivors: attention to the principles of exercise training. *Br J Sports Med.* 2019;53:504–12. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2017-098389>.
45. Avancini A, Tregnago D, Rigatti L, Sartori G, Yang L, Trestini I, Bonaiuto C, Milella M, Pilotto S, Lanza M. Factors influencing physical activity in cancer patients during oncological treatments: a qualitative study. *Integr Cancer Ther.* 2020;19:1534735420971365. <https://doi.org/10.1177/1534735420971365>.
46. Montaño-Rojas LS, Romero-Pérez EM, Medina-Pérez C, Reguera-García MM, de Paz JA. Resistance training in breast cancer survivors: a systematic review of exercise programs. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17:6511. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186511>.
47. Maqbali M, Hughes C, Dunwoody L, Rankin JP, Hacker ED, Gracey J. Exercise Interventions to Manage Fatigue in Women With Gynecologic Cancer: A Systematic Review. *Oncol Nurs Forum.* 2019;46:71–82. <https://doi.org/10.1188/19.ONF.71-82>.
48. Yang M, Liu L, Gan C-E, Qiu L-H, Jiang X-J, He X-T, Zhang J-E. Effects of home-based exercise on exercise capacity, symptoms, and quality of life in patients with lung cancer: A meta-analysis. *Eur J Oncol Nurs Off J Eur Oncol Nurs Soc.* 2020;49:101836. <https://doi.org/10.1016/j.ejon.2020.101836>.
49. Dun L, Xian-Yi W, Xiao-Ying J. Effects of moderate-to-vigorous physical activity on cancer-related fatigue in patients with colorectal cancer: a systematic review and meta-analysis. *Arch Med Res.* 2020;51:173–9. <https://doi.org/10.1016/j.arcmed.2019.12.015>.
50. Lund CM, Dolin TG, Mikkelsen MK, Juhl CB, Vinther A, Nielsen DL. Effect of exercise on physical function and psychological well-being in older patients with colorectal cancer receiving chemotherapy—a systematic review. *Clin Colorectal Cancer.* 2020;19:e243–57. <https://doi.org/10.1016/j.clcc.2020.05.012>.
51. McGittigan M, Cardwell CR, Cantwell MM, Tully MA. Physical activity interventions for disease-related physical and mental health during and following treatment in people with non-advanced colorectal cancer. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020;5:CD012864. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012864.pub2>.
52. Zhu C, Ma H, He A, Li Y, He C, Xia Y. Exercise in cancer prevention and anti-cancer therapy: Efficacy, molecular mechanisms and clinical information. *Cancer Lett.* 2022;544:1–17. <https://doi.org/10.1016/j.canlet.2022.215814>.
53. Purcell A, Fleming J, Bennett S, Burmeister B, Haines T. Determining the minimal clinically important difference criteria for the Multidimensional Fatigue Inventory in a radiotherapy population. *Support Care Cancer.* 2010;18:307–15. <https://doi.org/10.1007/s00520-009-0653-z>.
54. Penna GB, Otto DM, da Silva TC, Pedroni AS, Macagnan FE. Physical rehabilitation for the management of cancer-related fatigue during cytotoxic treatment: a systematic review with meta-analysis. *Support Care Cancer.* 2023;31:129. <https://doi.org/10.1007/s00520-022-07549-7>.
55. Rodríguez-Cañamero S, Cobo-Cuenca AI, Carmona-Torres JM, Pozuelo-Carrascosa DP, Santacruz-Salas E, Rabanales-Sotos JA, Cuesta-Mateos T, Laredo-Aguilera JA. Impact of physical exercise in advanced-stage cancer patients: Systematic review and meta-analysis. *Cancer Med.* 2022;11:3714–27. <https://doi.org/10.1002/cam4.4746>.

Publisher's Note

Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Contents lists available at ScienceDirect

Heliyon

journal homepage: www.cell.com/heliyon

Feasibility, criterion and construct convergent validity of the 2-minute walk test and the 10-meter walk test in an oncological context

Aline Reinmann^{a,b,*}, Thibaud Koessler^{c,d}, Alexandre Bodmer^{c,d},
Axelle Baud-Grasset^a, Géraldine Mentha^a, Joseph Gligorov^{b,e}, Anne-
Violette Bruyneel^a

^a Geneva School of Health Sciences, HES-SO University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Geneva, Switzerland

^b Sorbonne University, INSERM U938, Centre de Recherche Saint Antoine, CRSA, Paris, France

^c Service of Oncology, Geneva University Hospitals, Geneva, Switzerland

^d University of Geneva, Geneva, Switzerland

^e University Institute of Cancerology AP-HP Sorbonne University, Medical Oncology site Tenon, Paris, France

ARTICLE INFO

Keywords:

Cancer
Validity
Walking
6-Minute walk test
2-Minute walk test
10-Meter walk test

ABSTRACT

Objective: To examine the feasibility, the criterion, and the construct convergent validity of the 2-Minute Walk Test (2MWT) and the 10-Meter Walk Test (10MeWT) against the 6-Minute Walk Test (6MWT) to assess walking capacity in people with cancer. The criterion concurrent validity of a self-test version of the 10MeWT (10MeWT_{self-test}) was also evaluated against the 10MeWT.

Methods: Fifty-six people with cancer performed the 2MWT, the 10MeWT at comfortable and fast speeds, the 6MWT, and the 10MeWT_{self-test}. The feasibility of the tests was assessed using safety, adverse events, space requirements, time taken to administer and interpret the tool, equipment or training required, cost, and portability as criteria. Validity was assessed using Pearson correlation coefficients and Bland Altman plots.

Results: The 2MWT, 6MWT, 10MeWT, and 10MeWT_{self-test} were feasible for people with cancer. The 2MWT and the 10MeWT results were moderately to strongly correlated with the 6MWT results ($0.61 < r < 0.84$, $p < 0.001$). The 10MeWT_{self-test} results were strongly correlated with the 10MeWT results at comfortable and fast speeds ($r = 0.99$, $p < 0.001$).

Conclusions: The 2MWT, 10MeWT, and 10MeWT_{self-test} are simple, rapid, and feasible tests for use in people with cancer. The strong correlation between the 2MWT and 6MWT results indicates that the 2MWT can be used as an alternative walking capacity assessment tool. The 10MeWT results moderately correlated with those of the other two tests, suggesting that it partially measures the same construct of walking capacity in walking-independent outpatients with cancer. The 10MeWT_{self-test} showed promising results but needs further investigations in ecological settings.

* Corresponding author. Geneva School of Health Sciences, HES-SO University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland, Rue des Caroubiers 25, CH-1227 Carouge, Geneva, Switzerland.

E-mail addresses: aline.reinmann@hesge.ch (A. Reinmann), thibaud.koessler@hcuge.ch (T. Koessler), alexandre.bodmer@hcuge.ch (A. Bodmer), axelle.baudgrasset@gmail.com (A. Baud-Grasset), gementha@gmail.com (G. Mentha), joseph.gligorov@aphp.fr (J. Gligorov), anne-violette.bruyneel@hesge.ch (A.-V. Bruyneel).

<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22180>

Received 17 July 2023; Received in revised form 2 November 2023; Accepted 6 November 2023

Available online 10 November 2023

2405-8440/© 2023 The Authors. Published by Elsevier Ltd. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

More than one in two people with cancer have walking difficulties [1]. The pathology [2], the toxicity of treatments [3,4] and the lack of physical activity, which affects up to 90 % of patients during treatment [2,5], can have numerous repercussions on both the cardio-respiratory and neuro-muscular systems. Decreases in peak oxygen consumption and altered cardiac function have been reported and could contribute to reduced walking capacity [2,3], defined as 'what the person can do' in terms of walking [6]. Similarly, loss of muscle mass and function [7] could negatively impact walking capacity, as could alterations in the central (neuromuscular fatigue) [8] and peripheral nervous systems (sensorimotor alterations) [4]. Furthermore, such impairments could also reduce postural control and dynamic balance [1,9]. Impaired walking capacity associated with activity limiting symptoms, like pain, fatigue and depression, can lead to functional disability and have serious repercussions on quality of life [1]. Rehabilitation can be set up to prevent functional decline or improve walking capacity [10]; however, as for all treatments, it is essential to measure baseline values and to set targets that can be re-evaluated at follow-up visits [11]. It is important to use objective tests that are easy to perform to screen for difficulties, potentially even before patients start to feel limitations in their daily activities [12].

The tests should have good to excellent validity and reliability and be feasible for use in the clinical setting. Considerations include safety, adverse events, space required, test duration, equipment required, training, cost, portability of test equipment and the overall burden of performing the test for both clinicians and patients [11,13,14]. One of the most widely used field tests to quantify walking capacity is the 6-Minute Walk Test (6MWT) [15]. This test consists of walking as far as possible at a self-selected pace for six minutes [16]. This test, has excellent test-retest reliability in individuals with cancer [11], is safe, inexpensive, and requires little equipment. However, although the 6MWT is widely used and recommended by the Oncology Edge Task Force [13,17,18], it has limitations. In addition to requiring a large space (30 meters walking distance), the 6MWT may be too difficult for people with cancer to perform because of their illness or the side effects of treatment [19]. Moreover, the 6MWT may expose people to fall risks caused by balance disorders, which are highly prevalent in this population [20]. Its relatively long duration – about 15 minutes including preparation and recovery time [21] – reduces the time available for testing other motor capacities impacted by the disease. Thus, a shorter test might improve the feasibility of use in the clinical setting and decrease the evaluation duration for individuals with cancer.

The shortened version of the 6MWT, the 2-Minute Walk Test (2MWT), which follows the same procedure as the 6MWT [22], may be less burdensome and time consuming for both individuals with cancer and clinicians [23]. Excellent construct validity with the 6MWT and excellent test-retest, inter-reliability, and intra-reliability of the 2MWT were found in community-dwelling adults [24–26], older adults living in long-term care [22,27], and people with neurological [23,28] and pulmonary diseases [29]. This test is increasingly used in oncology to assess the effect of an intervention [30,31] or to evaluate changes in function after an intervention [32]. Two guidelines from the Oncology EDGE Task Force have recommended its use to assess walking capacity in people with breast and prostate cancer because of its good psychometric properties, ease of administration, and the availability of normative data [13,17]. Despite this, no previous studies have evaluated the validity of the 2MWT for use with individuals with cancer.

The 10-Meter Walk Test (10MeWT) is also an attractive option to easily determine the presence of physical impairments that limit the person's activities and participation [17]. By measuring comfortable and fast walking speed, this test quickly provides information on the person's functional capabilities and safety according to pre-established thresholds [33]. The ease of test administration, the information provided, and the excellent test-retest reliability in people with cancer make the 10MeWT relevant for clinical practice [11]. Moreover, given its simplicity, the 10MeWT could be performed by the individual in a self-testing version [34]. This could be an interesting variant for use in telerehabilitation, which has recently gained prominence [35].

It is not yet established in the literature to what extent the 10MeWT measures the same construct of walking capacity as the 2MWT and 6MWT in an oncological context. Although the two longer tests are known to assess the endurance and exercise tolerance aspects of walking capacity, the 10MeWT is a rapid test of general functional capacity [11]. Despite this difference, more than a dozen studies conducted in people with mainly neurological disorders have reported good to strong correlations between the 10MeWT and the 6MWT or the 2MWT (Supplementary material). No studies have been conducted in samples of people with different cancers, despite the fact that cancer has specific physical repercussions affecting walking capacity. In oncology, only Eden et al. (2018) evaluated people with head and neck cancer and found a moderate correlation between the 10MeWT and the 6MWT [11]. That study was based on a specific population and did not include the 2MWT. A study integrating people with various types of cancer and including different tests would improve the evidence base for walking tests in oncology and facilitate clinical decisions such as determining rehabilitation needs or planning specific care.

The main objective of this study was to assess the feasibility of the 2MWT, the 6MWT and the 10MeWT in people with cancer. The secondary objective was to evaluate the validity of these tests to assess walking capacity. Other aims were to perform exploratory analyses by age subgroups, as age has a significant influence on comfortable and fast walking capacities [36], and to determine the feasibility of a self-tested version of the 10MeWT (10MeWT_{self-test}) and its validity compared to the therapist-evaluated 10MeWT. We hypothesized that the 2MWT, the 6MWT and the 10MeWT would be feasible for use with people with cancer and that the results of each test would be moderately to strongly correlated. In addition, we hypothesized that the 10MeWT_{self-test} would be feasible for use with people with cancer, given its ease of use, and that the results of the 10MeWT_{self-test} would be strongly correlated with the results of the therapist-evaluated 10MeWT.

2. Materials and methods

2.1. Participants

According to the Consensus-based Standards for the selection of health Measurement Instruments (COSMIN) recommendations, a minimum of 50 participants are required to assess the criterion and construct validity of a test [37]. To participate in the study, people with an oncological disease had to be able to walk without technical aids for six minutes, be over 18 years old, and have medical authorization to perform the test. Individuals were excluded if they had contraindications to taking part in walking fields tests (unstable heart problems, or inability to understand the instructions) [16], if they had severe treatment side-effects, like severe fatigue, that prevented following the test procedure, or if they had pain scores $>2/10$ during walking that could have influenced the test results and caused discomfort to the participant. Participants were all outpatients, prospectively recruited at the University Hospital of Geneva during a follow-up appointment with the oncologist. After being screened for eligibility, they were given information about the study by a person not involved in their care, including the purpose of the study, procedures, benefits, and risks. The individual then had to give written consent to participate in the study after receiving an information letter and being provided with the opportunity to ask questions.

The inclusion rate, corresponding to the rate of people who agreed to participate in the study among all the people informed about the study was calculated.

2.2. Design and study procedure

We conducted an observational, cross-sectional validity study. Four walking tests (6MWT, 2MWT, 10MeWT, 10MeWT_{self-test}) were administered by the same rater in a randomized order. The order of testing was defined by randomly drawing tests from an opaque envelope during the pre-test rest period. Between tests, participants rested in a sitting position for a duration adapted to their heart rate (HR, bpm) and saturation (SpO₂, %) values and the strenuousness of the effort rated on a BORG 0–10 scale [38]. The rest period was stopped when the values were similar to the pre-test HR and SpO₂ values.

A single leg stance test was added to characterize the population. The tests were all carried out between 11 a.m. and 4 p.m. in the rehabilitation department of the University Hospital of Geneva. The floor was hard, flat, and non-slip. The tests were conducted by three physiotherapists familiar with field walking tests. Test standardization sessions and an audit were established to ensure that all raters used the same procedures and that the general protocol was respected.

2.3. Tests

The 6MWT was conducted in a 30-meter corridor graded every 5 meters according to the guidelines of the European Respiratory Society/American Thoracic Society [16]. Participants were asked to walk “as far as possible for six minutes by walking back and forth along the corridor” [39] and were encouraged using standardized incentives [39]. The distance walked was measured at two and six minutes. HR, SpO₂, and strenuousness of the effort were recorded before, and at two, four, and six minutes. Fatigue was recorded before and at six minutes. HR and SpO₂ were measured by a fingertip pulse oximeter (Onyx® Vantage 9590, 2020, Nonin, Minneapolis, USA), considered a reliable technique for the detection of a noteworthy decline in respiratory function with a concern threshold set at 80 % saturation [40,41]. The strenuousness of the effort and fatigue were collected by asking the participants to rate their feeling from 0 (no strenuousness or fatigue at all) to 10 (maximal strenuousness or exertion) [42]. The 6MWT was discontinued if the participant had pain $>2/10$ on the numerical rating scale (NRS), desaturation $<80\%$ SpO₂, or a significant fall risk. The 6MWT has good psychometric properties, including excellent test-retest reliability (Intraclass Correlation Coefficient, $ICC = 0.96$) in people with cancer [11]. The minimum detectable change (MDC) is established at 28.1 meters and the standard error of measurement (SEM) at 10.1 meters in older adults with dementia [43].

The 2MWT was conducted according to the 6MWT procedure [16]. HR, SpO₂, strenuousness, and fatigue were recorded before and at two minutes. Good to excellent test-retest ($ICCs$ range: 0.82–1), inter-reliability ($ICCs$ range: 0.85–0.96) and intra-reliability ($ICC = 0.85$) of the 2MWT were found for this test in community-dwelling adults [24,25], older adults living in long-term care [22,43], and in people with neurological [28] and pulmonary diseases [29]. The MDC and SEM are respectively 15 meters and 6.3 meters in older adults [22].

The 10MeWT involves measuring the time needed to cover a 10-meter distance at a comfortable and fast speed with a stopwatch in a hospital corridor. Walking speed is then calculated. The measurement using a stopwatch has excellent concurrent validity for measuring walking speed [44]. The test was performed over 14 meters to allow two meters of acceleration and deceleration [33], and was repeated three times [11]. Using a short video explaining how to perform the test, participants were asked to “walk at their usual speed, like when going to the shops, as far as the white line” and then to “walk as fast as possible to the white line”. The participants and the rater simultaneously measured the time to walk 10 meters. The measurement performed by the participant and the explanatory video were intended to assess the feasibility of performing the test independently at home. The reliability of the 10MeWT is excellent in people with cancer ($ICC = 0.94$) [11], and the MDC and SEM are respectively 0.16 meters/second, and 0.06 meters/second in older adults with dementia [43].

The single leg balance stance test was performed with eyes open, on the leg chosen by the participants, with subjects holding their arms at their sides [45]. The test was interrupted if the duration exceeded 60 seconds. The best duration of the two trials carried out was selected [45].

2.3.1. Statistical analyses

Analyses were conducted with Stata (v.15, 2017, Stata Corporation, USA). First, the mean of the three trials of the 10MeWT was calculated, and the walking speed of the three tests was calculated using the following formula: distance (m)/time (s) = walking speed

Table 1
Baseline participant characteristics.

Characteristics	Values
Entire sample	
Age (years)	65.5 ± 11.9 (36–90)
Height (cm)	170.6 ± 8.9 (150–192)
Weight (kg)	71.3 ± 14.3 kg (41.5–118)
Body Mass Index (kg/m ²)	24.5 ± 4.4 (14.7–42.3)
Women (n, %)	17 (30)
Time since diagnosis (years)	3.7 ± 4.1 (0–16)
Cancer type (n, %)	
Lymphoma/Leukemia	12 (21)
Lung	9 (16)
Colon	5 (9)
Rectal	3 (5)
Breast	3 (5)
Ovarian	3 (5)
Prostate	2 (4)
Liver	2 (4)
Pancreatic	2 (4)
Esophageal	2 (4)
Oropharyngeal	2 (4)
Bladder	2 (4)
Brain	2 (4)
Myeloma	1 (2)
Skin	1 (2)
Sarcoma	1 (2)
Renal	1 (2)
Small bowel	1 (2)
Erdheim Chester	1 (2)
Gall bladder	1 (2)
Carcinoma of unknown origin	1 (2)
Metastasis (n, %)	
Yes	25 (45)
No	31 (55)
Treatment intent (n, %)	
Curative	30 (55)
Palliative	16 (29)
Other (in remission)	9 (16)
Current therapy (n, %)	
Chemotherapy	14 (25)
Immune therapy	9 (16)
Targeted therapy	5 (9)
Hormone therapy	3 (5)
Chemotherapy + Radiation therapy	2 (4)
Chemotherapy + Targeted therapy	2 (4)
Chemotherapy + Immune therapy	2 (4)
Hormone therapy + Radiation therapy	1 (2)
Immune therapy + Targeted therapy	1 (2)
None	17 (30)
Balance capacity	
Single Leg Stance Test (sec)	32.6 ± 22.2 (0.7–60)
Sub-group <65 years old	
Age (years)	53.9 ± 6.5 (36–63)
Height (cm)	172 ± 9.2 (158–185)
Weight (kg)	72.7 ± 16.4 (45–118)
Body Mass Index (kg/m ²)	24.6 ± 5.5 (17.8–42.3)
Women (n, %)	3 (13)
Sub-group ≥65 years old	
Age (years)	73.7 ± 6.9 (65–90)
Height (cm)	169.6 ± 8.7 (150–192)
Weight (kg)	70.4 ± 12.9 (41.5–92)
Body Mass Index (kg/m ²)	24.4 ± 3.5 (14.7–29.8)
Women (n, %)	14 (42)

Table 1. Cancer-related characteristics of included participants. Data are mean ± SD (min – max) or n (%). N = 56 except for the period of illness (n = 55), one missing data for the <65 years sub-group (n = 23) and for the ≥65 years sub-group (n = 33).

(m/s). Percentages were calculated for categorical variables and means $\pm$ standard deviations (SD) were calculated for continuous variables.

The feasibility of the 2MWT, 10MeWT, and 10MeWT_{self-test} was determined according to test safety (desaturation $<80\%$ SpO₂), adverse events (pain affecting walking $>2/10$ on NRS, fall), space required, as well as on Tyson and Connell items (2009): the time taken to administer and interpret the tool, the equipment or training required, the cost, and the portability of the measurement tool [14]. A score of 9/10 was required to recommend the tool for use in clinical practice.

After checking the normality of the data distribution, Pearson correlations were performed to assess the criterion validity of the 2MWT against the 6MWT, and the convergent construct validity of the 10MeWT against the 6MWT and the 2MWT. A Bland-Altman plot was used to visualize the agreement between the 2MWT and the first two minutes of the 6MWT. The limits of agreement (LOA 95%) were calculated (mean difference between the two tests $\pm 1.96 \times SD$ of the difference between the tests). Given the age, heterogeneity of people with cancer and the effect of age on walking capacity [36], exploratory analyses by age (<65 and ≥ 65 years) were also conducted. Correlations by age subgroups were performed. The concurrent criterion validity of the 10MeWT_{self-test} against the 10MeWT was assessed using Pearson correlations and a Bland-Altman plot. A correlation of 0.90 was considered very strong, 0.70–0.89 strong, 0.40–0.69 moderate, 0.10–0.39 weak, and less than 0.1 negligible [46]. For all analyses, the p -value for two-tailed significance level was set at $p < 0.05$.

Table 2
6MWT, 2MWT and 10MeWT values.

Variables	2MWT	6MWT	10MeWT
Entire sample			
Speed (m/s)	1.34 $\pm$ 0.31 (0.76–2.38)	1.31 $\pm$ 0.33 (0.70–2.17)	1.26 $\pm$ 0.26 (0.74–1.93)
Speed first 2 min (m/s)	–	1.31 $\pm$ 0.30 (0.71–2.12)	–
Speed last 4 min (m/s)	–	1.30 $\pm$ 0.36 (0.59–2.19)	–
Fast speed (m/s)	–	–	1.67 $\pm$ 0.36 (0.92–2.46)
Self-test comfortable speed (m/s)	–	–	1.27 $\pm$ 0.27 (0.73–1.93)
Self-test fast speed (m/s)	–	–	1.69 $\pm$ 0.37 (0.96–2.49)
Distance 2 min (m)	160.63 $\pm$ 37.34 (91–285)	157.47 $\pm$ 36.14 (85–254)	–
Distance 6 min (m)	–	469.89 $\pm$ 117.07 (252–780)	–
BORG (/10)			
Pre	1.77 $\pm$ 1.57 (0–6)	1.33 $\pm$ 1.49 (0–5)	–
Two minutes	4.11 $\pm$ 1.77 (1–8)	3.58 $\pm$ 1.62 (0–6)	–
Four minutes	–	4.04 $\pm$ 1.67 (0–8)	–
Six minutes	–	4.55 $\pm$ 1.64 (1–8)	–
SpO₂ (%)			
Pre	97.73 $\pm$ 0.94 (95–100)	97.82 $\pm$ 1.04 (96–100)	–
Two minutes	95.98 $\pm$ 2.73 (84–100)	96.06 $\pm$ 2.15 (90–99)	–
Four minutes	–	95.87 $\pm$ 2.97 (84–100)	–
Six minutes	–	95.58 $\pm$ 3.60 (80–99)	–
HR (bpm)			
Pre	80.20 $\pm$ 14.94 (61–141)	79.04 $\pm$ 14.00 (56–144)	–
Two minutes	101.95 $\pm$ 16.57 (45–136)	103.29 $\pm$ 15.56 (65–145)	–
Four minutes	–	105.04 $\pm$ 16.50 (64–149)	–
Six minutes	–	107.44 $\pm$ 15.25 (79–159)	–
Fatigue (/10)			
Pre	2.96 $\pm$ 2.09 (0–8)	2.80 $\pm$ 2.10 (0–8)	–
Post	3.63 $\pm$ 2.17 (0–8)	3.76 $\pm$ 2.12 (0–8)	–
Recuperation SpO₂, (n, %)			
<60 s	30 (54)	33 (60)	–
60–180 s	23 (41)	17 (31)	–
>180 s	3 (5)	5 (9)	–
Recuperation HR (sec)			
<60 s	15 (27)	6 (11)	–
60–180 s	31 (55)	28 (52)	–
>180 s	10 (18)	20 (37)	–
Break			
N participant with break (n, %)	0	2 (4)	–
Break duration (sec)	0	47.33 $\pm$ 36.46 (8–80)	–
Sub-group < 65 years			
Speed (m/s)	1.41 $\pm$ 0.29 (0.96–2.04)	1.47 $\pm$ 0.32 (0.90–2.17)	1.35 $\pm$ 0.27 (0.90–1.93)
Fast speed (m/s)	–	–	1.85 $\pm$ 0.34 (1.31–2.46)
Sub-group $\geq$ 65 years			
Speed (m/s)	1.29 $\pm$ 0.32 (0.76–2.38)	1.19 $\pm$ 0.28 (0.70–1.76)	1.20 $\pm$ 0.24 (0.74–1.61)
Fast speed (m/s)	–	–	1.55 $\pm$ 0.33 (0.92–2.11)

Table 2. 2MWT, 6MWT and 10MeWT values. Data are mean $\pm$ SD (min – max). HR = Heart Rate, SpO₂ = saturation, 6MWT = 6-Minute Walk Test, 2MWT = 2-Minute Walk Test, 10MeWT = 10-Meter Walk Test. (n = 56) except for 6MWT values (n = 55), and for fatigue and recuperation HR of 6MWT two missing values (n = 54).

3. Results

3.1. Demographic characteristics

All participants were recruited and tested between February and March 2021. The inclusion rate was 25.38 %. The main reason for refusal was too many appointments already scheduled. The other reasons were not being able to perform the tests without walking aids, not wishing to take part in the study, having pain $>2/10$ that could impact walking, not understanding French, being too tired to participate, and having cognitive impairments. All participants completed the study procedure except one who experienced leg pain greater than 2/10 during the 6MWT. Thus, data from 56 participants were analyzed for all tests, except for the 6MWT ($n = 55$). Participants were 65.5 ± 11.9 years of age, and the most common type of cancer was lymphoma/leukemia followed by lung and colon cancer. Most participants were treated with chemotherapy (Table 1).

3.2. Walking tests results

Mean walking speeds and distances of the different tests are shown in Table 2.

3.3. Feasibility

No safety issues were noted, however, one participant had to stop during the 6MWT because of leg pain $>2/10$ and two had to take a break during the last four minutes of the test because of the intensity of the effort. All participants were able to perform the 10MeWT and 2MWT without safety concerns or adverse events. According to Tyson and Connell's (2009) scale, the 2MWT, the 6MWT, and the 10MeWT were feasible (score $\geq 9/10$) [14] (see Table 3 for details) but the 10MeWT required less space (14 meters versus 34 meters). The self-test version of the 10MeWT was also feasible, except for the video instructions that needed to be re-explained by the examiners for almost all the participants.

3.4. Validity

Concerning the criterion validity of the 2MWT against the 6MWT, the 2MWT results were strongly to very strongly correlated with the 6MWT results for the whole group and both subgroups ($0.82 \leq r \leq 0.94$, $p < 0.001$, Table 4 and Table 5, Fig. 1). The Bland-Altman plot showed no systematic difference between the results from the 2MWT and the two minutes of the 6MWT and an even distribution of differences across the range of values (Fig. 1). The mean difference was 2.50 ± 15.1 meters with an upper 95 % LOA of 32.10 meters and a lower 95 % LOA of -27.10 meters.

Concerning the construct validity of the 10MeWT against the 6MWT, the 10MeWT results were moderately to strongly correlated with the 6MWT results for comfortable and fast speeds ($0.61 \leq r \leq 0.71$, $p < 0.001$, Tables 4 and 5, Fig. 2). The correlation coefficients between these tests were higher in the older individuals than in the younger individuals at comfortable ($r = 0.65$, $p < 0.001$ vs $r = 0.47$, $p = 0.029$) and fast speeds ($r = 0.71$, $p < 0.001$ vs $r = 0.56$, $p = 0.007$).

Concerning the construct validity of the 10MeWT with the 2MWT, moderate correlations were found between the 10MeWT and the 2MWT results for comfortable and fast walking, in the whole group and the subgroups ($0.58 \leq r \leq 0.68$, $p < 0.010$, Tables 4 and 5).

Concerning the concurrent criterion validity between the 10MeWT_{self-test} and the 10MeWT, the correlation coefficients were strong for the whole group and the age subgroups at both comfortable and fast speeds ($0.99 \leq r \leq 1.00$, $p < 0.001$, Table 4 and 5, Fig. 3). The Bland-Altman plots showed no systematic difference between the tests (Fig. 3). The mean difference was -0.01 ± 0.03 meters for comfortable walking with an upper 95 % LOA of 0.05 meters and a lower 95 % LOA of -0.07 meters; and -0.02 ± 0.05 meters for the fast speed with an upper LOA 95 % of 0.08 meters and a lower LOA 95 % of -0.12 meters.

4. Discussion

Performance of the 2MWT, 6MWT and 10MeWT was feasible in the sample of people with cancer. The results of all three tests were moderately to very strongly correlated with each other. Moreover, the concurrent validity of the self-test version of the 10MeWT was excellent against the therapist-evaluated version. Compared to the 6MWT, the 2MWT and the 10MeWT allow clinicians to easily test

Table 3
Feasibility of the tests.

	2MWT	6MWT	10MeWT & 10MeWT _{self-test}
Time taken to administer, analyze and interpret	3	2	3
Cost	3	3	3
Specialist equipment and training	2	2	2
Measurement tool portable	2	2	2
Total	10	9	10

Table 3. Scores for the feasibility of the tests according to Tyson and Connell items (2009). 6MWT = 6-Minute Walk Test, 2MWT = 2-Minute Walk Test, 10MeWT = 10-Meter Walk Test.

Table 4
Pearson coefficient correlation.

	2MWT	Two minutes 6MWT	6MWT	10MeWT comfortable speed	10MeWT fast speed	10MeWT self-test
2MWT	–	0.92	0.84	0.64	0.68	–
Two minutes 6MWT	0.92	–	0.91	0.69	0.74	–
6MWT	0.84	0.91	–	0.61	0.71	–
10MeWT comfortable speed	0.64	0.69	0.61	–	–	0.99
10MeWT fast speed	0.68	0.74	0.71	–	–	0.99
10MeWT self-test	–	–	–	0.99	0.99	–

Table 4. Pearson correlation coefficients. P-value <0.001 for all analyses. 6MWT = 6-Minute Walk Test, 2MWT = 2-Minute Walk Test, 10MeWT = 10-Meter Walk Test. (n = 56) except for 6MWT values (n = 55).

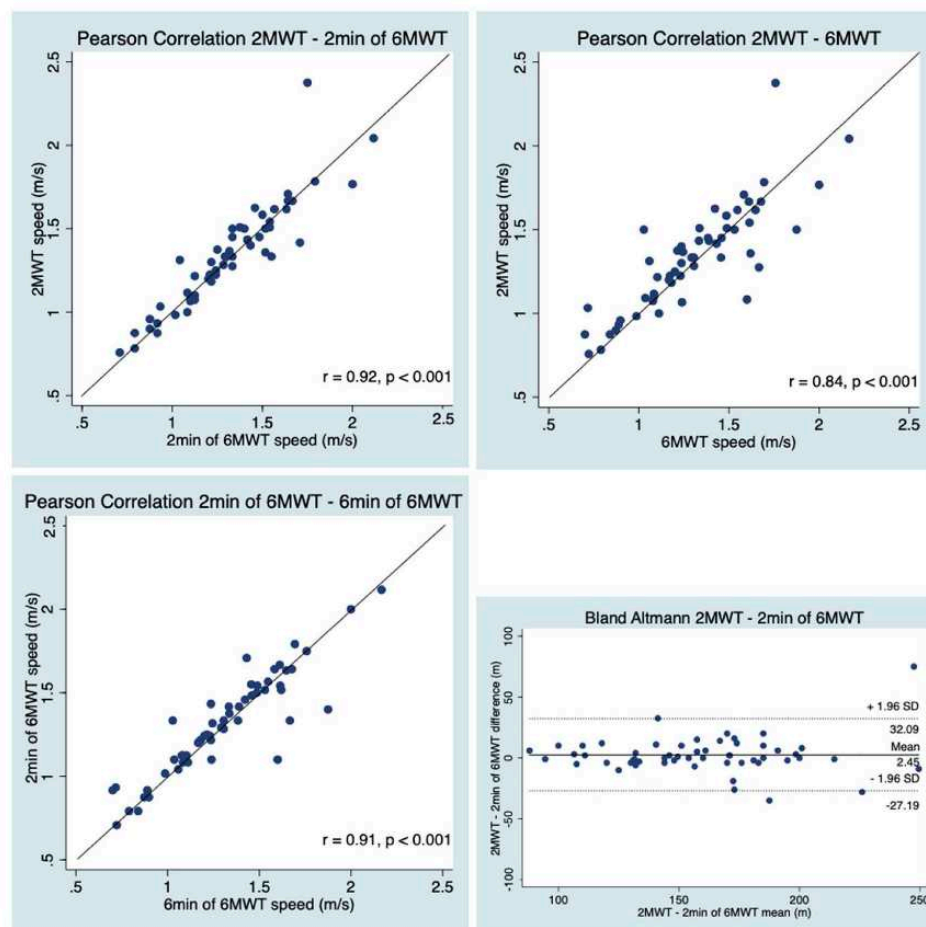


Fig. 1. Pearson correlations between the 2MWT and the first two minutes of the 6MWT, the 2MWT and the 6MWT, the first two minutes of the 2MWT and the 6MWT, and Bland Altman of the 2MWT and the first two minutes of the 6MWT. Solid line = perfect correlation line for scatter plots and mean difference for the Bland Altman plot. Dotted line = mean difference $\pm$ 1.96 SD. P = p-value, r = correlation, SD = Standard Deviation, 2MWT = 2-Minute Walk Test, 6MWT = 6-Minute Walk Test. (n = 55).

walking capacity in people with cancer with fewer constraints.

In addition to being less time consuming, the 2MWT and 10MeWT were easily completed by all participants. Shorter tests seem advantageous in an oncological context. This is in line with the guidelines by Davies et al. (2016) that state that the 2MWT may be more feasible than the 6MWT if there is a high degree of fatigue, muscle weakness, or walking difficulties [17]. For the 10MeWT_{self-test},

Table 5
Pearson coefficient correlation for each age subgroup.

Sub-group <65 years						
	2MWT	Two minutes 6MWT	6MWT	10MeWT comfortable speed	10MeWT fast speed	10MeWT self-test
2MWT	–	0.94	0.82	0.58	0.66	–
Two minutes 6MWT	0.94	–	–	–	–	–
6MWT	0.82	–	–	0.47	0.56	–
10MeWT comfortable speed	0.58	–	0.47	–	–	1.00
10MeWT fast speed	0.66	–	0.56	–	–	0.99
10MeWT self-test	–	–	–	1.00	0.99	–
Sub-group ≥65 years						
	2MWT	Two minutes 6MWT	6MWT	10MeWT comfortable speed	10MeWT fast speed	10MeWT self-test
2MWT	–	0.93	0.90	0.66	0.68	–
Two minutes 6MWT	0.93	–	–	–	–	–
6MWT	0.90	–	–	0.65	0.71	–
10MeWT comfortable speed	0.66	–	0.65	–	–	0.99
10MeWT fast speed	0.68	–	0.71	–	–	0.99
10MeWT self-test	–	–	–	0.99	0.99	–

Table 5. Pearson correlation coefficients for age subgroups. P-value <0.001 for all analyses except those in italics where p-value <0.05. 6MWT = 6-Minute Walk Test, 2MWT = 2-Minute Walk Test, 10MeWT = 10-Meter Walk Test. (n = 56) except for 6MWT values (n = 55).

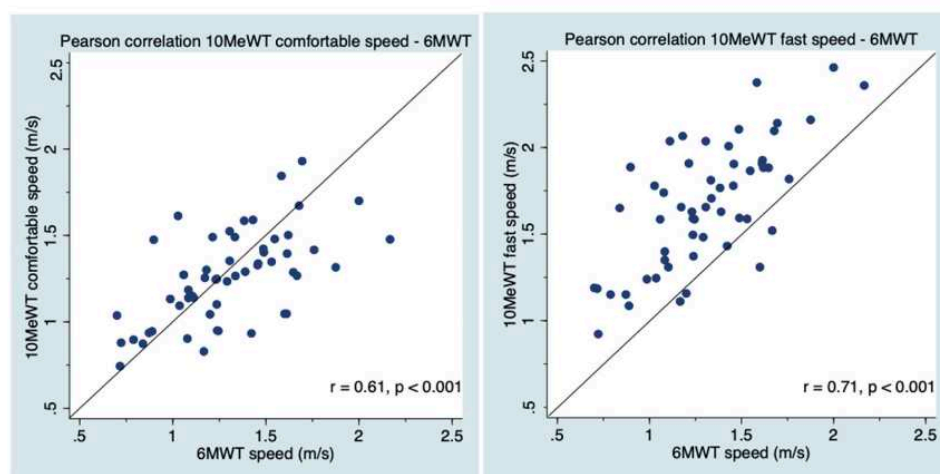


Fig. 2. Pearson correlations between the 10MeWT and the 6MWT at comfortable and fast speeds. Solid line = perfect correlation line. P = p-value, r = correlation, 10MeWT = 10-Meter Walk Test, 6MWT = 6-Minute Walk Test. (n = 55).

a more detailed video or initial face-to-face instruction with a physical therapist is recommended before the individual performs it alone at home to allow for proper standardization.

As in many populations [22–24,28,29,43], the 2MWT results were highly correlated with those of the 6MWT in individuals with cancer. The two tests were very similar in terms of walking speed achieved, representing more of a comfortable rather than a maximal speed, despite the instruction to walk as far as possible. This was reflected by the mild to moderate values for dyspnea, HR and SpO₂ at the end of the tests.

As the 2MWT and 6MWT performances were very similar, the 2MWT might be sufficient to demonstrate what the 6MWT assesses: the responses of the different systems (pulmonary, cardiovascular and neuromuscular, without differentiating between these systems) involved in submaximal exercise [39]. Furthermore, since the 6MWT does not seem to provide any additional information to the 2MWT, the shorter test might be sufficient in an oncological context.

In contrast to most previous studies (Supplementary material), only moderate correlations were found between the results of the 10MeWT and the 2MWT or 6MWT. The stronger correlation coefficients found in previous studies could relate to the populations considered. Indeed, most studies have been carried out in people with neurological pathologies whose consequences are more likely to have an impact on walking speed [47]. In people with cancer, the moderate correlation between walking speed over 10 meters and during two or six minutes observed in this study and in Eden's study of people with head and neck cancer (2018) [11] could be related to more strongly impaired performance of one test than the other. Indeed, the distances walked during the 6MWT and 2MWT in this

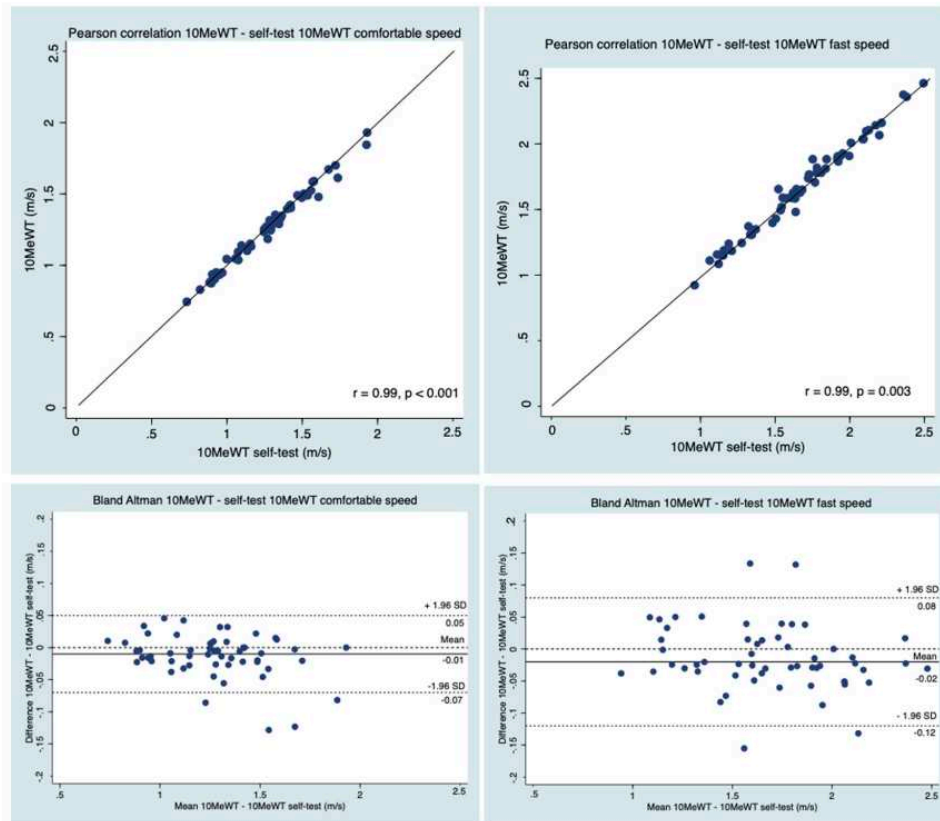


Fig. 3. Pearson correlations between the 10MeWT and the 10MeWT_{self-test} at comfortable and fast speeds, and Bland Altman of the 10MeWT and the 10MeWT_{self-test}. Solid line = perfect correlation line for scatter plots and mean difference for the Bland Altman plot. Dotted line = mean difference ± 1.96 SD. P = p-value, r = correlation, SD = Standard Deviation, 10MeWT = 10-Meter Walk Test. (n = 55).

study were lower than the normative values for individuals of the same age group [48,49], whereas the walking speeds during the 10MeWT were close to normative values [50]. These results were consistent with those from Eden's study, which reported greater deviations from normative values for the 6MWT than the 10MeWT [11]. Participants may have had more difficulty performing the endurance test because of balance problems [51], less motivation, cardiorespiratory limitations [2], central fatigue impacting motor performance [8] or muscle adaptations (atrophy of I-fibers, increased myosin fixation time in I-fibers, decreased mitochondrial density, and a shift to faster and more powerful IIa/IIx fibers) that occur with cancer [5,52].

The results of the 10MeWT showed that walking speed was not reduced in the sample, consistent with the results of Winters-Stone (2019) in people with breast cancer [12]. The moderate correlations between the results of the 10MeWT and the 6MWT and 2MWT confirm that this test, performed over 10 meters, is more a measure of an individual's general functional capacity and health status [53] than a test reflecting endurance and activity tolerance [11]. The 10MeWT gives a quick overview of mental-physical frailty (muscle weakness, mobility impairment, cognitive decline, or falls) or the risk of poor outcomes (disability in activities of daily living, hospitalization, or mortality) [54,55], rather than reflecting the level of desaturation or the responses of the cardiopulmonary system [56].

Although age had a minor influence on the 2MWT-6MWT correlation, a stronger correlation between the 10MeWT and the 6MWT and 2MWT was found in participants over 65 years old compared to younger participants. In these older individuals, reduced mobility and altered muscle function [57] may have impacted both tests and led to a stronger correlation. These hypotheses should be verified by further studies.

With the increasing use of telerehabilitation, monitoring people at home using self-tests is of interest and would allow intermediate assessments of the person's progress without needing to visit the hospital. Previously, Houchen-Wolf et al. (2020) highlighted that walking speed was the best option as a surrogate measurement of exercise capacity during remote cardiopulmonary rehabilitation assessments [34]. In our study, the good agreement between the 10MeWT_{self-test} and the 10MeWT confirmed that a walking speed test could potentially be used to assess walking capacity remotely. Further studies should confirm the possibility of using this test in the

individual's own environment [34].

4.1. Limitations

We included outpatients who were able to walk without technical aids and who felt fit enough to carry out the three tests. However, these prerequisites may have induced a selection bias, reducing the generalizability of our results, for example to inpatients. In addition, our sample consisted mainly of individuals with lymphoma, a cancer that is not one of the four most common cancers [58], which may reduce the external validity of the study. Although the sample size was in line with recommendations [37], it was relatively small, preventing sub-group analysis, for example, by cancer type. As participants were asked to time themselves while performing the 10MeWT, this dual task may have resulted in a slight decrease in walking speed [59,60]. In addition, it required subjects to look at the markings on the ground. However, given the results obtained, this limitation does not seem to have been an issue for the participants tested.

5. Practical implications and conclusion

The 2MWT, the 10MeWT, and the 10MeWT_{self-test} are feasible tests for monitoring walking capacity in oncology. The strong correlation between the 2MWT and 6MWT results indicates that the 2MWT can be used as an alternative walking capacity assessment tool. The 10MeWT partially measures the same construct of walking capacity in walking-independent outpatients with cancer. The 10MeWT_{self-test} showed promising results but needs further investigations in ecological settings.

Ethics statement

The study was reviewed and approved by the Geneva Ethics Commission (Geneva CCER – 2020-00126). All participants provided informed consent to participate in the study. All participants provided informed consent for the publication of their anonymized case details.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

Data availability statement

The data have not been deposited into a publicly available repository but will be made available on request.

CRediT authorship contribution statement

Aline Reinmann: Writing – review & editing, Writing – original draft, Software, Project administration, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Conceptualization. **Thibaud Koessler:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Project administration, Methodology, Conceptualization. **Alexandre Bodmer:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Project administration, Conceptualization. **Axelle Baud-Grasset:** Writing – review & editing, Methodology, Investigation. **Géraldine Mentha:** Writing – review & editing, Methodology, Investigation. **Joseph Gligorov:** Writing – review & editing, Validation, Supervision, Project administration. **Anne-Violette Bruyneel:** Writing – review & editing, Writing – original draft, Validation, Supervision, Project administration, Methodology, Investigation, Formal analysis, Conceptualization.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

We thank Johanna Robertson PT, PhD for language editing.
We thank Florian Stern, PhD for statistical support.

Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22180>.

References

- [1] K. Kokkonen, T. Saarto, T. Mäkinen, L. Pohjola, H. Kautio, S. Järvenpää, et al., The functional capacity and quality of life of women with advanced breast cancer, *Breast Cancer* 24 (1) (2017 Jan 1) 128–136, <https://doi.org/10.1007/s12282-016-0687-2>.
- [2] R.W. Squires, A.M. Shultz, J. Herrmann, Exercise training and cardiovascular health in cancer patients, *Curr. Oncol. Rep.* 20 (3) (2018 Mar 10) 1–20, <https://doi.org/10.1007/s11912-018-0681-2>.
- [3] J. But-Hadzic, M. Dervisevic, D. Karpljuk, M. Videmsek, E. Dervisevic, A. Paravlic, et al., Six-Minute walk distance in breast cancer survivors—a systematic review with meta-analysis, *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 18 (5) (2021 Mar 5) 2591, <https://doi.org/10.3390/ijerph18052591>.
- [4] J.M. McCrary, D. Goldstein, D. Wyld, R. Henderson, C.R. Lewis, S.B. Park, Mobility in survivors with chemotherapy-induced peripheral neuropathy and utility of the 6-min walk test, *J. Cancer Surviv Res Pract* 13 (4) (2019 Aug) 495–502, <https://doi.org/10.1007/s11764-019-00769-7>.
- [5] M.J. Toth, D.M. Callahan, M.S. Miller, T.W. Tourville, S.B. Hackett, M.E. Couch, et al., Skeletal muscle fiber size and fiber type distribution in human cancer: effects of weight loss and relationship to physical function, *Clin Nutr Edinb Scotl* 35 (6) (2016 Dec) 1359–1365, <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2016.02.016>.
- [6] K.K.V. Mate, N.E. Mayo, Clinically assessed walking capacity versus real-world walking performance in people with multiple sclerosis, *Int J MS Care* 22 (3) (2020) 143–150, <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2019-047>.
- [7] J. Mallard, E. Hucteau, T.J. Hureau, A.F. Pagano, Skeletal muscle deconditioning in breast cancer patients undergoing chemotherapy: current knowledge and insights from other cancers, *Front. Cell Dev. Biol.* 9 (2021 Sep), 719643, <https://doi.org/10.3389/fcell.2021.719643>.
- [8] K. Kisiel-Sajewicz, V. Siemionow, D. Seyidova-Khoshtkhan, M.P. Davis, A. Wyant, V.K. Ranganathan, et al., Myoelectrical manifestation of fatigue less prominent in patients with cancer related fatigue, *PLoS One* 8 (12) (2013 Dec 31), e83636, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0083636>.
- [9] J.M. McCrary, D. Goldstein, T. Trinh, H.C. Timmins, T. Li, J. Menant, et al., Balance deficits and functional disability in cancer survivors exposed to neurotoxic cancer treatments, *J Natl Compr Cancer Netw JNCCN* 17 (8) (2019 01) 949–955, <https://doi.org/10.6004/jnccn.2019.7290>.
- [10] C.J. Peddle-McIntyre, F. Singh, R. Thomas, R.U. Newton, D.A. Galvão, V. Cavalheri, Exercise training for advanced lung cancer, *Cochrane Database Syst. Rev.* 2 (2019) CD012685, <https://doi.org/10.1002/14651858.CD012685.pub2>.
- [11] M.M. Eden, J. Tompkins, J.L. Verheijde, Reliability and a correlational analysis of the 6MWT, ten-meter walk test, thirty second sit to stand, and the linear analog scale of function in patients with head and neck cancer, *Physiother. Theory Pract.* 34 (3) (2018 Mar) 202–211, <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1390803>.
- [12] K.M. Winters-Stone, M.E. Medsky, M. Savin, Patient-reported and objectively measured physical function in older breast cancer survivors and cancer-free controls, *J Geriatr Oncol* 10 (2) (2019 Mar) 311–316, <https://doi.org/10.1016/j.jgo.2018.10.006>.
- [13] M. Fisher, J. Lee, C. Davies, H. Geyer, G. Colon, L. Pfälzer, Oncology section EDGE task Force on breast cancer outcomes: a systematic review of outcome measures for functional mobility, *Rehabil Oncol* 33 (3) (2015 Jan 1) 19–31.
- [14] S. Tyson, L. Connell, How to measure balance in clinical practice. A systematic review of the psychometrics and clinical utility of measures of balance activity for neurological conditions, *Clin. Rehabil.* 23 (9) (2009 Sep 1) 824–840, <https://doi.org/10.1177/0269215509335018>.
- [15] R.W. Bohannon, R. Crouch, Minimal clinically important difference for change in 6-minute walk test distance of adults with pathology: a systematic review, *J. Eval. Clin. Pract.* 23 (2) (2017 Apr) 377–381, <https://doi.org/10.1111/jep.12629>.
- [16] A.E. Holland, M.A. Spruit, T. Troosters, M.A. Puhan, V. Pepin, D. Saey, et al., An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: field walking tests in chronic respiratory disease, *Eur. Respir. J.* 44 (6) (2014 Dec) 1428–1446, <https://doi.org/10.1183/09031936.00150314>.
- [17] C. Davies, G. Colon, H. Geyer, L. Pfälzer, M. Fisher, Oncology EDGE task Force on prostate cancer outcomes: a systematic review of outcome measures for functional mobility, *Rehabil Oncol* 34 (3) (2016 Jul 1) 1–44.
- [18] J.M. McCrary, D. Goldstein, F. Boyle, K. Cox, P. Grimison, M.C. Kiernan, et al., Optimal clinical assessment strategies for chemotherapy-induced peripheral neuropathy (CIPN): a systematic review and Delphi survey, *Support Care Cancer Off J Multinat Assoc Support Care Cancer* 25 (11) (2017) 3485–3493, <https://doi.org/10.1007/s00520-017-3772-y>.
- [19] K.M. White, M.R. Agar, D.C. Currow, Assessing the exertion required to induce breathlessness in a population with advanced cancer: matching measures to the level of physical function, *BMC Palliat. Care* 18 (1) (2019 Jan 10) 1–6, <https://doi.org/10.1186/s12904-018-0386-1>.
- [20] S.M. Monfort, X. Pan, R. Patrick, J. Singaravelu, C.L. Loprinzi, M.B. Lustberg, et al., Natural history of postural instability in breast cancer patients treated with taxane-based chemotherapy: a pilot study, *Gait Posture* 48 (2016 Jul) 237–242, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.011>.
- [21] C.L. Granger, L. Denehy, S.M. Parry, J. Martin, T. Dimitriadis, M. Sorohan, et al., Which field walking test should be used to assess functional exercise capacity in lung cancer? an observational study, *BMC Pulm. Med.* (89) (2015 Aug) 15, <https://doi.org/10.1186/s12890-015-0075-2>.
- [22] D.M. Connelly, B.K. Thomas, S.J. Cliffe, W.M. Perry, R.E. Smith, Clinical utility of the 2-minute walk test for older adults living in long-term care, *Physiother. Can.* 61 (2) (2009) 78–87, <https://doi.org/10.3138/physio.61.2.78>.
- [23] D.A. Scalzitti, K.J. Harwood, J.R. Maring, S.J. Leach, E.A. Ruckert, E. Costello, Validation of the 2-minute walk test with the 6-minute walk test and other functional measures in persons with multiple sclerosis, *Int J MS Care* 20 (4) (2018 Jul) 158–163, <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2017-046>.
- [24] R.W. Bohannon, D. Bubela, S. Magasi, H. McCreath, Y.C. Wang, D. Reuben, et al., Comparison of walking performance over the first 2 minutes and the full 6 minutes of the Six-Minute Walk Test, *BMC Res. Notes* 7 (2014 Apr 25) 1–6, <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-269>.
- [25] R.W. Bohannon, Y.C. Wang, R.C. Gershon, Two-Minute walk test performance by adults 18 to 85 Years: normative values, reliability, and responsiveness, *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 96 (3) (2015 Mar) 472–477, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.006>.
- [26] J. Roush, J. Heick, T. Hawk, D. Eurek, A. Wallis, D. Kiflu, Agreement in walking speed measured using four different outcome measures: 6-meter walk test, 10-meter walk test, 2-minute walk test, and 6-minute walk test, *Internet J. Allied Health Sci. Pract.* 19 (2) (2021) 1–8, <https://doi.org/10.46743/1540-580X/2021.1971>.
- [27] W.L.S. Chan, T.W. Pin, Reliability, validity and minimal detectable change of 2-min walk test and 10-m walk test in frail older adults receiving day care and residential care, *Aging Clin. Exp. Res.* 32 (4) (2020 Apr) 597–604, <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01255-x>.
- [28] M. Kosak, T. Smith, Comparison of the 2-, 6-, and 12-minute walk tests in patients with stroke, *J. Rehabil. Res. Dev.* 42 (1) (2005 Feb) 103–107, <https://doi.org/10.1682/jrrd.2003.11.0171>.
- [29] A.S.Y. Leung, K.K. Chan, K. Sykes, K.S. Chan, Reliability, validity, and responsiveness of a 2-min walk test to assess exercise capacity of COPD patients, *Chest* 130 (1) (2006 Jul) 119–125, <https://doi.org/10.1378/chest.130.1.119>.
- [30] S. Lauwick, D.J. Kim, G. Mistràletti, F. Carli, Functional walking capacity as an outcome measure of laparoscopic prostatectomy: the effect of lidocaine infusion, *Br. J. Anaesth.* 103 (2) (2009 Aug) 213–219, <https://doi.org/10.1093/bja/aep103>.
- [31] F. Rodà, F. Petraglia, V. Scaltriti, C. Costantino, V. Franciosi, F. Pessina, et al., Physical exercises programs for cancer patients: what else's new? *Cancer Rep Rev* 1 (3) (2017) 1–4, <https://doi.org/10.15761/CRR.1000116>.
- [32] C.V. de Souza, E.C.M. Miranda, C. Garcia Jr., F.J.P. Aranha, C.A. de Souza, A.C. Vigorito, Functional evaluation indicates physical losses after hematopoietic stem cell transplantation, *Rev. Bras. Hematol. Hemoter.* 34 (5) (2012) 345–351, <https://doi.org/10.5581/1516-8484.20120090>.
- [33] S. Gafner, A.V. Bruyneel, Test of walking speed over a distance of 10 meters, *EM-Consulte.* 22 (248–249) (2022 Aug) 46–49, <https://doi.org/10.1016/j.kine.2022.05.001>.
- [34] L. Houchen-Wolloff, E. Daynes, A. Watt, E. Chaplin, N. Gardiner, S. Singh, Which functional outcome measures can we use as a surrogate for exercise capacity during remote cardiopulmonary rehabilitation assessments? A rapid narrative review, *ERJ Open Res* 6 (4) (2020 Oct) 1–7, <https://doi.org/10.1183/23120541.00526-2020>.
- [35] L. Keikha, E. Maserat, Z. Mohammadzadeh, Telerehabilitation and monitoring physical activity in patient with breast cancer: systematic review, *Iran. J. Nurs. Midwifery Res.* 27 (1) (2022 Jan 25) 8–17, <https://doi.org/10.4103/ijnmr.ijnmr.472.20>.
- [36] T. Wu, Y. Zhao, Associations between functional fitness and walking speed in older adults, *Geriatr Nur (Lond)* 42 (2) (2021 Mar 1) 540–543, <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2020.10.003>.
- [37] H.C.W. de Vet, C.B. Terwee, L.B. Mokkink, D.L. Knol, *Measurement in Medicine: A Practical Guide*, Cambridge University Press, Cambridge, 2011.

- [38] G.A. Borg, Psychophysical bases of perceived exertion, *Med. Sci. Sports Exerc.* 14 (5) (1982) 377–381.
- [39] ATS committee on proficiency standards for clinical pulmonary function laboratories. ATS statement, *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 166 (1) (2002 Jul 1) 111–117, <https://doi.org/10.1164/ajrccm.166.1.at1102>.
- [40] P. Agarwala, S.H. Salzman, Six-Minute walk test, *Chest* 157 (3) (2020 Mar) 603–611, <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.10.014>.
- [41] M. Nitzan, A. Romem, R. Koppel, Pulse oximetry: fundamentals and technology update, *Med Devices Auckl NZ* 7 (2014) 231–239, <https://doi.org/10.2147/MDER.S47319>.
- [42] K. Gries, P. Berry, M. Harrington, M. Crescioni, M. Patel, K. Rudell, et al., Literature review to assemble the evidence for response scales used in patient-reported outcome measures, *J Patient-Rep Outcomes* 2 (2018 Sep 6) 1–14, <https://doi.org/10.1186/s41687-018-0056-3>.
- [43] W.L.S. Chan, T.W. Pin, Reliability, validity and minimal detectable change of 2-minute walk test, 6-minute walk test and 10-meter walk test in frail older adults with dementia, *Exp. Gerontol.* 115 (2019) 9–18, <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.11.001>.
- [44] D.M. Peters, S.L. Fritz, D.E. Krotish, Assessing the reliability and validity of a shorter walk test compared with the 10-Meter Walk Test for measurements of gait speed in healthy, older adults, *J Geriatr Phys Ther* 2001 36 (1) (2013 Mar) 24–30, <https://doi.org/10.1519/JPT.0b013e318248e20d>.
- [45] T. Michikawa, Y. Nishiwaki, T. Takebayashi, Y. Toyama, One-leg standing test for elderly populations, *J Orthop Sci Off J Jpn Orthop Assoc* 14 (5) (2009 Sep) 675–685, <https://doi.org/10.1007/s00776-009-1371-6>.
- [46] P. Schober, C. Boer, L.A. Schwarte, Correlation coefficients: appropriate use and interpretation, *Anesth. Analg.* 126 (5) (2018 May) 1763–1768, <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000002864>.
- [47] U. Dalgas, K. Severinsen, K. Overgaard, Relations between 6 minute walking distance and 10 meter walking speed in patients with multiple sclerosis and stroke, *Arch. Phys. Med. Rehabil.* 93 (7) (2012 Jul) 1167–1172, <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.02.026>.
- [48] R.W. Bohannon, Normative reference values for the two-minute walk test derived by meta-analysis, *J. Phys. Ther. Sci.* 29 (12) (2017) 2224–2227, <https://doi.org/10.1589/jpts.29.2224>.
- [49] Q. Zhang, H. Lu, S. Pan, Y. Lin, K. Zhou, L. Wang, 6MWT performance and its correlations with VO₂ and handgrip strength in home-dwelling mid-aged and older Chinese, *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 14 (5) (2017 Apr 29) 1–10, <https://doi.org/10.3390/ijerph14050473>.
- [50] R.W. Bohannon, A.W. Andrews, Normal walking speed: a descriptive meta-analysis, *Physiotherapy* 97 (3) (2011 Sep 1) 182–189, <https://doi.org/10.1016/j.physio.2010.12.004>.
- [51] S.M. Monfort, X. Pan, R. Patrick, B. Ramaswamy, R. Wesolowski, M.J. Naughton, et al., Gait, balance, and patient-reported outcomes during taxane-based chemotherapy in early stage breast cancer patients, *Breast Cancer Res. Treat.* 164 (1) (2017 Jul) 69–77, <https://doi.org/10.1007/s10549-017-4230-8>.
- [52] M.J. Toth, M.S. Miller, D.M. Callahan, A.P. Sweeny, I. Nunez, S.M. Grunberg, et al., Molecular mechanisms underlying skeletal muscle weakness in human cancer: reduced myosin-actin cross-bridge formation and kinetics, *J Appl Physiol Bethesda Md* 1985 114 (7) (2013 Apr) 858–868, <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01474.2012>.
- [53] A. Middleton, S.L. Fritz, M. Lusardi, Walking speed: the functional vital sign, *J Aging Phys Act* 23 (2) (2015 Apr) 314–322, <https://doi.org/10.1123/japa.2013-0236>.
- [54] G. Abellan Van Kan, Y. Rolland, S. Andrieu, J. Bauer, O. Beauchet, M. Bonnefoy, et al., Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force, *J. Nutr. Health Aging* 13 (10) (2009 Dec 1) 881–889, <https://doi.org/10.1007/s12603-009-0246-z>.
- [55] M.A. Binotto, M.H. Lenardt, M.D.C. Rodríguez-Martínez, Physical frailty and gait speed in community elderly: a systematic review, *Rev Esc Enferm U P* 52 (2018 Dec 13) 1–16, <https://doi.org/10.1590/S1980-220X2017028703392>.
- [56] M. Andersson, L. Moberg, U. Svantesson, A. Sundbom, H. Johansson, M. Emtner, Measuring walking speed in COPD: test-retest reliability of the 30-metre walk test and comparison with the 6-minute walk test, *Prim Care Respir J J Gen Pract Airw Group* 20 (4) (2011 Dec) 434–440, <https://doi.org/10.4104/pcrj.2011.00082>.
- [57] M. Izquierdo, R.A. Merchant, J.E. Morley, S.D. Anker, I. Aprahamian, H. Arai, et al., International exercise recommendations in older adults (ICFSR): expert Consensus guidelines, *J. Nutr. Health Aging* 25 (7) (2021 Jul 1) 824–853, <https://doi.org/10.1007/s12603-021-1665-8>.
- [58] Swiss Federal Statistical Office, Cancer in Switzerland, Report 2021 - State of Play and Trends, Publication, 2021 Oct. Available from: <https://www.bfs.admin.ch/asset/fr/19305697>.
- [59] T. Krasovsky, J. Lanir, Y. Felberbaum, R. Kizony, Mobile phone use during gait: the role of perceived prioritization and executive control, *Int. J. Environ. Res. Publ. Health* 18 (16) (2021 Aug 16) 1–10, <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.12.027>.
- [60] S.M. Monfort, X. Pan, C.L. Loprinzi, M.B. Lustberg, A.M.W. Chaudhari, Impaired postural control and altered sensory organization during quiet stance following neurotoxic chemotherapy: a preliminary study, *Integr. Cancer Ther.* 18 (2019 Dec) 1–8, <https://doi.org/10.1177/1534735419828823>.

X. Publications dans des revues professionnelles

Xa. Mesure du contrôle postural par plateforme

Kinesither Rev 2021;XX(XXX):x-y

Pratique / Tests

Mesure du contrôle postural en position debout bipodale par plateforme stabilométrique

Anne-Violette Bruyneel, Aline Reinmann, Thomas Pourchet, Pierre Nicolo, Simone C. Gafner

Haute école de santé Genève, Haute école spécialisée de Suisse occidentale (HES-SO), 25, Rue des Caroubiers, 1227 Carouge, Suisse

Description

Les premières analyses des oscillations posturales datent des travaux de Vierordt, en 1860. Il utilisait un casque surmonté d'une plume qui inscrivait les déplacements sur une feuille fixée au plafond [1]. Les premières plateformes stabilométriques sont apparues au milieu du XX^e siècle. Elles ont l'avantage de tester le contrôle postural sans dispositif placé sur le corps. Comparativement aux plateformes de force qui mesurent les 3 composantes des forces de réaction du sol, les plateformes stabilométriques enregistrent le centre des pressions (CP) à partir des seules pressions verticales appliquées au sol. Le CP désigne « le point où la pression du corps sur le sol serait concentrée en un point » [2]. Son déplacement représente l'activité du système moteur et reflète les ajustements qui visent à maintenir le contrôle postural [3].

Les plateformes stabilométriques sont de plus en plus utilisées en pratique clinique pour mesurer le contrôle postural. Comparativement aux échelles comme la *Berg Balance Scale*, leur sensibilité au changement est meilleure et elles ne présentent aucun effet plancher ou plafond [4]. Elles sont de plus en plus accessibles (coût moins élevé et facilité d'utilisation) et elles peuvent servir pour effectuer des exercices de contrôle

postural avec un feed-back extemporané grâce à la mesure de l'évolution du CP en temps réel [5].

Utilisation

Contre-indications

Le sujet doit être capable de tenir debout sans aide externe ; en utiliser une modifierait fortement la répartition du CP et l'interprétation du test serait faussée. En cas de troubles importants du contrôle postural, le patient peut être sécurisé par un harnais [4].

Paramètres mesurés

CP : vitesse de déplacement (mm/s), longueur totale de déplacement (mm), écart-type du déplacement (mm), surface (mm²), longueur totale médiolatérale et antéropostérieure (mm), valeurs maximale et minimale (mm). Si le test est réalisé avec 2 plateformes, il est possible de mesurer la répartition des appuis entre les membres inférieurs (%), de même que les paramètres du CP de chaque pied [6].

Modalités d'applications

Le sujet est placé au centre de la plateforme stabilométrique dans une position « naturelle » ; celle-ci représente mieux les stratégies de contrôle postural de la personne qu'une position standardisée [7]. Les membres supérieurs sont croisés ou le long du corps ; la consigne est de rester le plus stable possible pendant la durée du test.

Le temps de repos entre les essais est de 15 s à 1 min selon la fatigabilité [8].

Le test peut être réalisé dans diverses conditions : en manipulant l'entrée visuelle (yeux ouverts ou fermés), l'entrée proprioceptive (surface dure ou molle) ou en ajoutant une charge cognitive (double tâche) [9].

La durée nécessaire pour garantir une bonne fiabilité dépend des paramètres

testés et de la condition sensorielle [10]. La recommandation oscille entre 30 s [8,11] et 90 s [12]. La fréquence d'acquisition doit être d'au moins 100Hz, avec une valeur de seuil (*cut-off*) de 10Hz [12]. Plus le nombre d'essais est élevé, plus la fiabilité s'améliore. Trois essais semblent suffisants pour obtenir une bonne fiabilité des variables du CP [8,11,12]. Aucun effet d'apprentissage ne semble être présent [13].

Critères d'arrêt du test

Le test est arrêté si le sujet n'arrive pas à maintenir la position de référence demandée (ex : mouvements amples des membres supérieurs) ou s'il bouge les pieds (ex : pas).

Interprétation du test

La surface du CP représente la variabilité des déplacements spatiaux ; sa longueur informe sur les déplacements successifs des réajustements posturaux ; la vitesse reflète la quantité d'activité nécessaire pour maintenir la position [11]. Une perturbation ou une détérioration du contrôle postural induit une augmentation de la longueur et de la vitesse du CP (*Tableau 1*).

Paramètres qui influencent le résultat

Facteurs intrinsèques

L'âge [14,16], la fatigue musculaire [20] et les pathologies (neuromusculaires, orthopédiques ou traumatologiques) [2,4,13] affectent le contrôle postural et donc les paramètres du CP.

Facteurs extrinsèques

La durée de la tâche, la qualité de la plateforme et sa fréquence d'acquisition, les consignes et le lieu qui doit être calme, sans autre personne ou facteur qui puisse perturber la concentration [12].

Auteur correspondant :

A.-V. Bruyneel,
Haute école de santé Genève,
Haute école spécialisée de Suisse occidentale
(HES-So), 25, Rue des Caroubiers, 1227 Carouge,
Suisse
Adresse e-mail :
anne-violette.bruyneel@hesge.ch

<http://dx.doi.org/10.1016/j.kine.2020.12.007>

1

Tableau I. Synthèse des valeurs (moyenne et écart-type) recueillies chez des sujets asymptomatiques lors du test statique bipodal debout (durée de 30 à 40 s) évalué par plateforme stabilométrique (fréquence : ≥ 50 Hz) pour les 3 conditions les plus testées.

		Yeux ouverts / surface dure				Yeux fermés / surface dure				Yeux ouverts / surface molle				Références
														
	Âge (années)	Durée (s)	Lg CP (mm)	Vitesse (mm/s)	Surface (mm²)	Lg CP (mm)	Vitesse (mm/s)	Surface (mm²)	Lg CP (mm)	Vitesse (mm/s)	Surface (mm²)			
Enfants	3	40	345 ± 145	11,5 ± 5,4	241 ± 250	380 ± 150	13,0 ± 7,3	284 ± 260	597 ± 245	19,9 ± 8,5	491 ± 298	[14]		
Enfants	5	40	459 ± 261	15,8 ± 9,5	524 ± 609	474 ± 256	16,8 ± 9,6	507 ± 508	789 ± 50	28,1 ± 29,6	1219 ± 1685			
Enfants	9–10	30	339 ± 90	NR	561 ± 210	435 ± 117	NR	777 ± 342	NR	NR	NR	[15]		
Adolescents	12-14	30	285 ± 99	NR	423 ± 264	360 ± 111	NR	540 ± 318	NR	NR	NR			
Adolescents	15–18	30	261 ± 75	NR	375 ± 210	339 ± 99	NR	540 ± 315	NR	NR	NR			
Adultes	18–40	30	190 ± 27	9,75 ± 0,31	NR	224 ± 42	15,9 ± 0,33	NR	345 ± 61	14,9 ± 0,24	NR	[2,16–18]		
Adultes	> 56	30	290 ± 36	14,58 ± 5,38	NR	475 ± 63	20,05 ± 6,62	NR	582 ± 112	29,4 ± 2,3	784 ± 295	[16–19]		

Aucune donnée reportée n'est normalisée. Lg : longueur ; CP : centre des pressions ; NR : non référencé.

Utilisation clinique

Formation

Aucune formation n'est nécessaire, hormis la connaissance de la procédure du test.

Durée du test

Environ 10 min (explication, démonstration, essais temps de repos et réalisation), mais, elle dépend fortement du nombre de conditions testées.

Matériel nécessaire

Une ou deux plateformes stabilométriques ainsi qu'un ordinateur ou une tablette sont requis pour extraire les données. Un lieu calme est recommandé.

Propriétés psychométriques

La fiabilité des paramètres du CP pour les tests debout bipodaux sur plateforme stabilométrique dépend du nombre de répétitions et du paramètre choisi [12]. La surface du CP (mm²) est le paramètre le moins fiable alors que la vitesse moyenne (mm/s) et la longueur totale (mm) ont une fiabilité bonne à excellente [8,13] (Tableau II). Habituellement, la fiabilité est meilleure pour la condition yeux ouverts que pour la condition yeux fermés [12].

Tableau II. Valeurs d'ICC pour la fiabilité intra-évaluateur et erreur standard de mesure d'un test bipodal debout yeux ouverts (30 s, 3 essais, fréquence ≥ 50 Hz).

Test debout bipodal yeux ouverts [8,11,12]	Fiabilité intra-évaluateur (ICC)	Erreur Standard de Mesure (%)
Surface (mm ²)	0,46–0,93	32
Longueur totale (mm)	0,91–0,97	9
Vitesse moyenne (mm/s)	0,91–0,97	8
Amplitude ML ou AP	0,45–0,82	29

ML : médiolatéral ; AP : antéropostérieur ; ICC : indice de corrélation intra-classe.

Limites du test

Une attention particulière doit être portée à l'ordre des différentes conditions et au respect des temps de repos afin d'éviter l'influence de la fatigue sur la performance.

Lorsque des individus aux caractéristiques anthropométriques différentes sont comparés, les paramètres doivent être normalisés pour

éviter des erreurs d'interprétation (ex : vitesse/taille) [12].

Autres applications

La plateforme stabilométrique permet de réaliser des tests dans une multitude de conditions (ex : assis / debout) et d'utiliser des surfaces variées [19]. La limite de stabilité est souvent testée pour évaluer le contrôle postural bipodal dynamique.

Conclusion

La plateforme stabilométrique est un outil simple et sensible aux changements. Elle offre une évaluation rapide et précise du contrôle postural. De plus, elle peut être utilisée pour diverses populations et pathologies grâce à la multitude de tests qu'elle permet.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

Références

- [1] Baron J. Statokinésimétrie. Étude de la posture verticale humaine. *Ann Kinesither* 1982; 9: 377–88.
- [2] Ruhe A, Fejer R, Walker B. Center of pressure excursion as a measure of balance performance in patients with non-specific low back pain compared to healthy controls: a systematic review of the literature. *Eur Spine J* 2011; 20: 358–68. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1543-2>.
- [3] Baratto L, Morasso P, Re C, Spada G. A new look at posturographic analysis in the clinical context: sway-density versus other parameterization techniques. *Motor Control* 2002; 6: 246–70. <https://doi.org/10.1123/mcj.6.3.246>.
- [4] Brouwer R, Kal E, van der Kamp J, Houdijk H. Validation of the stabilometer balance test: Bridging the gap between clinical and research based balance control assessments for stroke patients. *Gait Posture* 2019; 67: 77–84. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.09.025>.
- [5] Melong C, Keats K. Comparing the effects of a novel and a traditional proprioceptive balance training program on activity adherence and balance control in a healthy university population: a preliminary study. *Games Health J* 2013; 2: 308–12. <https://doi.org/10.1089/g4h.2013.0042>.
- [6] Geurts A, Boonstra T, Voermans N, Diender N, Weerdesteijn V, Bloem B. Assessment of postural asymmetry in mild to moderate Parkinson's disease. *Gait Posture* 2011; 33: 143–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.09.018>.
- [7] Mesure S, Bruyneel A-V, Nadeau S. La posture naturelle ou standardisée: quelle orientation pour la rééducation? *Neurophysiol Clin* 2019; 49: 438. <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2019.10.088>.
- [8] Hébert-Losier K, Murray L. Reliability of centre of pressure, plantar pressure, and plantar-flexion isometric strength measures: A systematic review. *Gait Posture* 2020; 75: 46–62. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.09.027>.
- [9] Moghadam M, Ashayeri H, Salavati M, Sarafzadeh J, Taghipoor K, Saeedi A, et al. Reliability of center of pressure measures of postural stability in healthy older adults: effects of postural task difficulty and cognitive load. *Gait Posture* 2011; 33: 651–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.02.016>.
- [10] van der Kooij H, Campbell A, Carpenter MG. Sampling duration effects on centre of pressure descriptive measures. *Gait Posture* 2011; 34: 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.02.025>.
- [11] Pinsault N, Vuilleme N. Test-retest reliability of centre of foot pressure measures to assess postural control during unperturbed stance. *Med Eng Phys* 2009; 31: 276–86. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2008.08.003>.
- [12] Ruhe A, Fejer R, Walker B. The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions—a systematic review of the literature. *Gait Posture* 2010; 32: 436–45. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.09.012>.
- [13] Pineda RC, Krampe RT, Vanlandewijck Y, Biesen DV. Reliability of center of pressure excursion as a measure of postural control in bipedal stance of individuals with intellectual disability: A pilot study. *PLoS ONE* 2020; 15: e0240702. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0240702>.
- [14] Verbecque E, da Costa PHL, Meyns P, Desloovere K, Vereeck L, Hallemans A. Age-related changes in postural sway in preschoolers. *Gait Posture* 2016; 44: 116–22. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2015.11.016>.
- [15] Verbecque E, Vereeck L, Hallemans A. Postural sway in children: A literature review. *Gait Posture* 2016; 49: 402–10. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.08.003>.
- [16] Roman-Liu D. Age-related changes in the range and velocity of postural sway. *Arch Gerontol Geriatr* 2018; 77: 68–80. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2018.04.007>.
- [17] Abrahamová D, Hlavacka F. Age-related changes of human balance during quiet stance. *Physiol Res* 2008; 57: 957–64.
- [18] Qiu F, Cole MH, Davids KW, Hennig EM, Silburn PA, Netscher H, et al. Enhanced somatosensory information decreases postural sway in older people. *Gait Posture* 2012; 35: 630–5. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.12.013>.
- [19] Kirchner M, Schubert P, Getrost T, Haas CT. Effect of altered surfaces on postural sway characteristics in elderly subjects. *Hum Mov Sci* 2013; 32: 1467–79. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2013.05.005>.
- [20] Rohhani-Shirazi Z, Amiri Z, Ebrahimi S. Effects of Plantar Flexor Muscles Fatigue on Postural Control during Quiet Stance and External Perturbation in Healthy Subjects. *J Biomed Phys Eng* 2019; 9: 233–42.

Xb. Description du test de marche de 6 min

Pratique / Tests cliniques

Kinesither Rev 2023;23(254):44–49

Évaluation de la capacité fonctionnelle de marche : test de marche de six minutes

Anne-Violette Bruyneel^a
Simone C. Gafner^b
Aline Reinmann^a

^aHaute école de santé Genève, HES-SO, Haute école spécialisée de Suisse occidentale, rue des Caroubiers 25, 1227 Carouge, Suisse
^bInstitut santé, Haute école de santé, HES-SO Valais-Wallis, Rathausstrasse 25, 3954 Leukerbad, Suisse

INTRODUCTION

La capacité de marche est un indicateur primordial des conditions de santé des individus à tous les âges [1]. Son évaluation a été mise en place dans les années 60 lorsque le test de 12 minutes a été développé pour apprécier les capacités physiques de personnes asymptomatiques dans le cadre de la pratique du fitness [2]. Depuis, de nombreux travaux scientifiques ont montré qu'une perturbation de la marche est un signe fiable de dépendance fonctionnelle, de fragilité, de déclin cognitif, de dépression, de risque de chutes, de troubles cardio-respiratoires, de sarcopénie et de mortalité [3,4]. La marche est évaluée soit par le calcul de vitesse sur de courtes distances (quatre ou dix mètres) [5,6], soit par l'évaluation du déplacement lors d'un temps défini comme lors des tests de marche de six minutes (TM6) [7].

DESCRIPTION

Le TM6 est un test de référence pour l'évaluation fonctionnelle de la marche [8]. Il consiste à demander au participant de marcher la plus grande distance possible pendant six

minutes en faisant des aller-retours sur un parcours de 30 mètres [2]. Ce test est facile à réaliser, sûr grâce à l'auto-gestion de l'effort [7] et applicable dans des conditions de santé variées, à tous les âges [9].

UTILISATION CLINIQUE

Population concernée

Le TM6 est utilisable en cas d'atteintes neurologiques, cardiaques, respiratoires et musculosquelettiques [2,7,10], autant chez les adultes, chez les personnes âgées [7] que chez les enfants [9,11]. Le participant peut marcher avec ou sans aide technique [12].

Paramètres mesurés

Les paramètres mesurés sont la distance parcourue en six minutes (paramètre primaire), la fréquence cardiaque (FC), la saturation en oxygène (SpO₂), la fatigue et la perception de l'effort avec l'échelle de Borg (paramètres secondaires).

Matériel

Le test nécessite une surface plane de 35 mètres (Fig. 1). Deux plots visibles par le participant sont placés à 30 mètres de

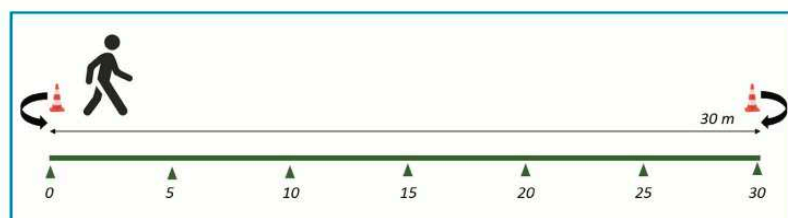


Figure 1. Dispositif du test de marche de six minutes.

Auteur correspondant :

A. Bruyneel
Haute école de santé, filière
physiothérapie,
Rue des Caroubiers 25, 1227
Carouge, Suisse.
Adresse e-mail :
Anne-violette.bruyneel@hesge.ch

Tableau I. Consignes et encouragements et mesures relevées.

Moment	Consignes et encouragements	Mesures relevées
Après 10 min de repos		FC, SpO ₂ , fatigue et échelle de Borg
Avant	« Le but de ce test est de marcher le plus possible pendant 6 minutes. Vous marcherez en aller et retour dans ce couloir. Marcher 6 minutes, c'est long, et donc vous devrez faire un effort. Vous allez probablement vous sentir hors d'haleine et fatigué. Vous pouvez donc ralentir, vous arrêter ou vous reposer si nécessaire. Vous pouvez vous appuyer contre le mur pendant le repos, mais reprendre la marche dès que possible. Vous parcourrez le couloir en aller et retour en tournant autour des cônes. Vous devez contourner les cônes et continuer sans hésiter. Maintenant, je vais vous montrer. Voilà comment je fais demi-tour sans hésiter (le thérapeute montre un aller-retour). Pendant le test, vous ne pouvez pas parler, car cela influence vos performances. Je vous indiquerai le temps restant toutes les minutes. Je vous demanderai de vous arrêter après 6 minutes. Êtes-vous prêt ? Je vais compter les demi-tours que vous faites. Rappelez-vous que vous devez marcher la plus grande distance possible pendant 6 minutes, mais sans courir. Allez-y maintenant ou dès que vous êtes prêt. »	
1 minute	« C'est très bien, plus que 5 minutes, continuez ainsi »	
2 minutes	« C'est très bien, plus que 4 minutes, continuez ainsi »	FC, SpO ₂ , échelle de Borg et distance
3 minutes	« C'est très bien, vous êtes à la moitié, continuez ainsi »	
4 minutes	« C'est très bien, plus que 2 minutes, continuez ainsi »	FC, SpO ₂ , échelle de Borg et distance
5 minutes	« C'est très bien, plus qu'1 minute, continuez ainsi »	
6 minutes	« Et maintenant, arrêtez-vous »	FC, SpO ₂ , fatigue, échelle de Borg et distance

FC : fréquence cardiaque ; SpO₂ : saturation en oxygène.

distance. Entre les deux plots, des marques sont posées tous les cinq mètres. L'application *iWalk* peut faciliter la réalisation du test [13].

Procédure du test et instructions

Le participant doit porter des vêtements confortables, des lunettes de vue adaptées et ne doit pas avoir réalisé d'activités physiques intenses dans les deux heures qui ont précédé le test.

Le participant se repose dix minutes avant que l'évaluateur relève les mesures de bases (*Tableau I*) [12]. Ensuite, il présente l'échelle de Borg et donne les consignes [13]. Au top départ, le chronomètre est enclenché. Le participant réalise des aller-retours entre les plots pendant toute la durée du test. Les lignes directrices préconisent de ne pas marcher avec la personne testée afin de ne pas influencer sa vitesse. Cependant, pour des raisons de sécurité, il est parfois nécessaire de la sécuriser [2,12]. À chaque minute, l'évaluateur donne des encouragements (*Tableau I*). À la 2^e et 4^e minute, l'évaluateur demande au participant son niveau de ressenti de l'effort et inscrit la distance de marche parcourue (m).

Après six minutes, si le participant n'est pas au niveau d'un plot, les marques de cinq mètres permettent d'extraire la distance exacte en mesurant l'espace par rapport à la marque la plus proche. Un à deux essais de familiarisation sont conseillés [8,14].

Formation

Aucune formation n'est nécessaire pour réaliser ce test.

Temps requis

La durée est inférieure à 20 minutes.

SÉCURITÉ

Les situations médicales instables telles que l'angor, la tachycardie (> 120 battements par minute) ou l'hypertension artérielle non contrôlée sont des contre-indications [2]. Les risques sont la désaturation au cours de l'effort (< 80 %) et l'apparition de douleurs. Seules 1 % des personnes atteintes de pathologies pulmonaires ne terminent pas le test [15].

Tableau II. Facteurs qui influencent la performance du TM6 [inspiré de Enright, 2003] [2].

	Performance diminuée	Performance augmentée
Facteurs démographiques	Petite taille Âge avancé Poids élevé Femme	Grande taille Homme
Santé mentale	Troubles cognitifs	Motivation élevée
Santé physique	Pathologies cardiaques, respiratoires, neurologiques et rhumatologiques	Médication prise pour améliorer des symptômes Ajout d'oxygène
Facteurs méthodologiques	Non-respect de la distance de 30 mètres (distance plus courte)	Connaissance préalable du test Encouragements

Tableau III. Fiabilité intra et inter-évaluateur pour le TM6 et distance minimale cliniquement importante.

		Fiabilité		DMCI (m)	Référence
		ICC intra-évaluateur	ICC inter-évaluateur		
TM6	<i>Enfants</i>	0,94	NT	NT	[17]
	<i>Adultes sains</i>	0,95	0,91	54	[18,19]
	<i>Personnes âgées</i>	0,95	NT	50	[20,21]
	<i>Démence ou Alzheimer</i>	0,76	0,97	33	[22,23]
	<i>BPCO</i>	0,99	NT	25 à 54	[8,12,19,24,25]
	<i>AVC</i>	0,74	0,78	34	[7,26]
	<i>Oncologie</i>	0,90	NT	42	[27,28]

AVC : accident vasculaire cérébral ; BPCO : bronchopneumopathie chronique obstructive ; ICC : indice de corrélation intra-classe ; DMCI : différence minimale cliniquement importante ; NT : non testé.

Tableau IV. Checklist pour favoriser une méthode fiable de pratique du TM6 (inspiré de Dunn et al., 2015 [10]).

Items	Validé
Connaître les normes	✓
Reporter la longueur de déplacement même si c'est 30 mètres	✓
S'il y a des modifications par rapport au protocole standard, les indiquer et les justifier	✓
Décrire les instructions données avant le test	✓
Décrire les encouragements formulés pendant le test	✓
Reporter le nombre et le type d'assistance utilisée	✓
Signaler le soutien fourni au participant	✓
Reporter les caractéristiques démographiques et cliniques	✓
Reporter les critères d'inclusion et d'exclusion	✓

FACTEURS QUI INFLUENCENT LE TEST

Le *Tableau II* présente les facteurs qui influencent la performance. Aucune différence de distance n'a été observée entre la consigne d'aller *le plus loin possible* et celle d'aller *le plus vite possible* [16].

QUALITÉS PSYCHOMÉTRIQUES

Fiabilité intra et inter-évaluateur

La fiabilité intra- et inter-évaluateur est bonne à excellente pour le TM6, quelle que soit la population testée (*Tableau III*).

Tableau V. Valeurs de référence pour le TM6.

	TM6 (distance – m)	Références
Enfants		[30,31]
3–5 ans	536 (garçon), 501 (fille)	
6–8 ans	577 (garçon), 573 (fille)	
9–11 ans	573 (garçon), 662 (fille)	
12–15 ans	697 (garçon), 663 (fille)	
16–18 ans	726 (garçon), 664 (fille)	
Adultes	558	[32]
Personnes âgées		[21,33]
60–69 ans	572 (homme), 538 (femme)	
70–79 ans	527 (homme), 471 (femme)	
80–89 ans	417 (homme), 392 (femme)	
Démence ou Alzheimer	194	[34]
AVC	174	[7,35]
BPCO	324	[36]
Pathologies neuro-musculaires	407	[37]
Sclérose en plaque	241	[38]

Différence minimale cliniquement importante (DMCI)

La DMCI est de 25 à 54 m selon les populations (*Tableau III*). Cependant, une analyse approfondie suggère que le seuil devrait être à 30 mètres [27] car cette amélioration est bien perçue par les patients [19].

Effet plafond

Chez les personnes qui ont une bonne capacité de marche et dont les symptômes cardio-respiratoires sont moindres, le TM6 détecte difficilement des améliorations par rapport aux personnes qui présentent des atteintes plus sévères [29]. Les éléments à prendre en considération pour améliorer la fiabilité du test ont été détaillés (*Tableau IV*) [10].

VALEURS NORMATIVES ET ÉQUATIONS PRÉDICTIVES

La performance varie avec l'âge, le genre et les conditions de santé (*Tableau V*).

Les équations prédictives du TM6 sont les suivantes [39], mais leur validité est modérée [8] :

Femmes : $TM6 = [2,11 \times \text{taille (cm)}] - [2,29 \times \text{poids (kg)}] - (5,78 \times \text{âge}) + 667m$

Hommes : $TM6 = [7,57 \times \text{taille (cm)}] - (5,02 \times \text{âge}) - [1,76 \times \text{poids (kg)}] - 309m$

INTERPRÉTATION

En cas de test isolé, les valeurs obtenues peuvent être comparées aux équations prédictives ou aux valeurs de normes. En cas de test-retest, les changements peuvent être exprimés

en pourcentage de changement par rapport à la valeur initiale ou en valeur absolue [12]. Seuls les changements supérieurs à la DMCI devraient être pris en compte. Compte tenu de la consigne, l'effort testé devrait être maximal. Cependant, les personnes semblent plutôt être dans un effort sous-maximal qui évalue les capacités aérobiques et d'endurance car la consommation maximale d'oxygène et de la fréquence cardiaque de réserve ne sont sollicitées qu'à hauteur de 80 % [14].

CONCLUSION

Le TM6 évalue la fonctionnalité de la marche et les capacités aérobiques lors d'un effort sous maximal. Ce test est valide, fiable, facile à réaliser et applicable à de nombreuses situations cliniques. La procédure doit toutefois être strictement respectée pour obtenir des données fiables et susceptibles d'être interprétées. De plus, le TM6 devrait être utilisé pour des personnes qui ont des symptômes suffisamment sévères pour impacter la fonctionnalité de la marche si l'on souhaite être en mesure de détecter une évolution suite à un traitement.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

RÉFÉRENCES

- [1] Graham JE, Ostir GV, Fisher SR, Ottenbacher KJ. Assessing walking speed in clinical research: a systematic review. *J Eval Clin Pract* 2008;14:552–62. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2753.2007.00917.x>.
- [2] Enright PL. The six-minute walk test. *Respir Care* 2003;48:783–5.
- [3] Middleton A, Fritz SL, Lusardi M. Walking Speed: The functional vital sign. *J Aging Phys Act* 2015;23:314–22. <https://doi.org/10.1123/japa.2013-0236>.

- [4] Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T, *et al*. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* 2019;48:16–31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>.
- [5] Gafner SC, Bruyneel A-V. Test de 10 mètres de marche. *Kinesither Revue* 2022;22:46–9. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2022.05.001>.
- [6] Test de vitesse de marche de 4 mètres (TM-4). *Kinesither Revue* 2020;20:68–9. <https://doi.org/10.1016/j.kine.2020.04.002>.
- [7] Kosak M, Smith T. Comparison of the 2-, 6-, and 12-minute walk tests in patients with stroke. *J Rehabil Res Dev* 2005;42:103–7. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2003.11.0171>.
- [8] Singh SJ, Puhari MA, Andrianopoulos V, Hernandez NA, Mitchell KE, Hill CJ, *et al*. An official systematic review of the European Respiratory Society/American Thoracic Society: measurement properties of field walking tests in chronic respiratory disease. *Eur Respir J* 2014;44:1447–78. <https://doi.org/10.1183/09031936.00150414>.
- [9] Pires IM, Denysyuk HV, Villasana MV, Sá J, Marques DL, Morgado JF, *et al*. Development technologies for the monitoring of six-minute walk test: a systematic review. *Sensors (Basel)* 2022;22:581. <https://doi.org/10.3390/s22020581>.
- [10] Dunn A, Marsden DL, Nugent E, Van Vliet P, Spratt NJ, Attia J, *et al*. Protocol variations and six-minute walk test performance in stroke survivors: a systematic review with meta-analysis. *Stroke Res Treat* 2015;2015:484813. <https://doi.org/10.1155/2015/484813>.
- [11] Andrade Lima C, Domelas de Andrade A, Campos SL, Brandão DC, Mourato IP, Brito MCA de. Six-minute walk test as a determinant of the functional capacity of children and adolescents with cystic fibrosis: A systematic review. *Respir Med* 2018;137:83–8. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2018.02.016>.
- [12] Agarwala P, Salzman SH. Six-minute walk test: clinical role, technique, coding, and reimbursement. *Chest* 2020;157:603–11. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2019.10.014>.
- [13] Walk Assess [En ligne]. Toronto: Université de Toronto; 2017 [modifié 2022; cité le 22 novembre, 2022]. Disponible: <http://www.iwalkassess.com/>.
- [14] Kervio G, Carre F, Ville NS. Reliability and intensity of the six-minute walk test in healthy elderly subjects. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:169–74. <https://doi.org/10.1097/00005768-200301000-00025>.
- [15] Jenkins S, Čičins N. Six-minute walk test: observed adverse events and oxygen desaturation in a large cohort of patients with chronic lung disease. *Intern Med J* 2011;41:416–22. <https://doi.org/10.1111/j.1445-5994.2010.02169.x>.
- [16] Southard V, Gallagher R. The 6MWT: will different methods of instruction and measurement affect performance of healthy aging and older adults? *J Geriatr Phys Ther* 2013;36:68–73. <https://doi.org/10.1519/JPT.0b013e318264b5e8>.
- [17] Li AM, Yin J, Yu CCW, Tsang T, So HK, Wong E, *et al*. The six-minute walk test in healthy children: reliability and validity. *Eur Respir J* 2005;25:1057–60. <https://doi.org/10.1183/09031936.05.00134904>.
- [18] Goldman MD, Marrie RA, Cohen JA. Evaluation of the six-minute walk in multiple sclerosis subjects and healthy controls. *Mult Scler* 2008;14:383–90. <https://doi.org/10.1177/1352458507082607>.
- [19] Wise RA, Brown CD. Minimal Clinically Important Differences in the Six-Minute Walk Test and the Incremental Shuttle Walking Test. *J Chronic Obstruct Pulm Dis* 2005;2:125–9. <https://doi.org/10.1081/COPD-200050527>.
- [20] Perera S, Mody SH, Woodman RC, Studenski SA. Meaningful change and responsiveness in common physical performance measures in older adults. *J Am Geriatrics Soc* 2006;54:743–9. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2006.00701.x>.
- [21] Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys Ther* 2002;82:128–37. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.2.128>.
- [22] Ries JD, Echemach JL, Nof L, Gagnon Blodgett M. Test-retest reliability and minimal detectable change scores for the timed 'up & go' test, the six-minute walk test, and gait speed in people with Alzheimer disease. *Phys Ther* 2009;89:569–79. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080258>.
- [23] Tappen RM, Roach KE, Buchner D, Barry C, Edelstein J. Reliability of physical performance measures in nursing home residents with Alzheimer's disease. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 1997;52:M52–55. <https://doi.org/10.1093/gerona/52a.1.m52>.
- [24] Rasekaba T, Lee AL, Naughton MT, Williams TJ, Holland AE. The six-minute walk test: a useful metric for the cardiopulmonary patient. *Intern Med J* 2009;39:495–501. <https://doi.org/10.1111/j.1445-5994.2008.01880.x>.
- [25] Klein SR, Gulart AA, Venâncio RS, Munari AB, Gavenda SG, Martins ACB, *et al*. Performance difference on the six-minute walk test on tracks of 20 and 30 meters for patients with chronic obstructive pulmonary disease: validity and reliability. *Braz J Phys Ther* 2021;25:40–7. <https://doi.org/10.1016/j.bjpt.2020.01.001>.
- [26] Eng JJ, Dawson AS, Chu KS. Submaximal exercise in persons with stroke: test-retest reliability and concurrent validity with maximal oxygen consumption. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:113–8. [https://doi.org/10.1016/s0003-9993\(03\)00436-2](https://doi.org/10.1016/s0003-9993(03)00436-2).
- [27] Bohannon RW, Crouch R. Minimal clinically important difference for change in 6-minute walk test distance of adults with pathology: a systematic review. *J Eval Clin Pract* 2017;23:377–81. <https://doi.org/10.1111/jep.12629>.
- [28] Eden MM, Tompkins J, Verheijde JL. Reliability and a correlational analysis of the 6MWT, ten-meter walk test, thirty second sit to stand, and the linear analog scale of function in patients with head and neck cancer. *Physiother Theory Pract* 2018;34:202–11. <https://doi.org/10.1080/09593985.2017.1390803>.
- [29] Puente-Maestu L, Stringer W, Casaburi R. Exercise testing to evaluate therapeutic interventions in chronic respiratory diseases. *Barcelona Respiratory Network* 2018;4. <https://doi.org/10.23866/BRNRev:2017-0024>.
- [30] Geiger R, Strasak A, Trembl B, Gasser K, Kleinsasser A, Fischer V, *et al*. Six-minute walk test in children and adolescents. *J Pediatr* 2007;150:395–9. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2006.12.052>.
- [31] Bohannon RW, Wang Y-C, Bubela D, Gershon RC. Normative Two-Minute Walk Test Distances for Boys and Girls 3 to 17 Years of Age. *Phys Occup Ther Pediatr* 2018;38:39–45. <https://doi.org/10.1080/01942638.2016.1261981>.
- [32] Bohannon RW, Bubela D, Magasi S, McCreath H, Wang Y-C, Reuben D, *et al*. Comparison of walking performance over the first 2 minutes and the full 6 minutes of the Six-Minute Walk Test. *BMC Res Notes* 2014;7:269. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-269>.
- [33] Connelly DM, Thomas BK, Cliffe SJ, Perry WM, Smith RE. Clinical utility of the 2-minute walk test for older adults living in long-term care. *Physiother Can* 2009;61:78–87. <https://doi.org/10.3138/physio.61.2.78>.
- [34] Chan WLS, Pin TW. Reliability, validity and minimal detectable change of 2-minute walk test, 6-minute walk test and 10-meter walk test in frail older adults with dementia. *Exp Gerontol* 2019;115:9–18. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.11.001>.

- [35] Wevers LEG, Kwakkel G, van de Port IGL. Is outdoor use of the six-minute walk test with a global positioning system in stroke patients' own neighbourhoods reproducible and valid? *J Rehabil Med* 2011;43:1027–31. <https://doi.org/10.2340/16501977-0881>.
- [36] Johnston KN, Potter AJ, Phillips AC. Minimal important difference and responsiveness of 2-minute walk test performance in people with COPD undergoing pulmonary rehabilitation. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2017;12:2849–57. <https://doi.org/10.2147/COPD.S143179>.
- [37] Andersen LK, Knak KL, Witting N, Vissing J. Two- and 6-minute walk tests assess walking capability equally in neuromuscular diseases. *Neurology* 2016;86:442–5. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002332>.
- [38] Bennett SE, Bromley LE, Fisher NM, Tomita MR, Niewczyk P. Validity and reliability of four clinical gait measures in patients with multiple sclerosis. *Int J MS Care* 2017;19:247–52. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2015-006>.
- [39] Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *Am J Respir Crit Care Med* 1998;158:1384–7. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.158.5.9710086>.

Évaluation de la capacité fonctionnelle de marche : test de marche de deux minutes

Assessment of the functional abilities of gait: The two-minute walking test

Aline Reinmann^a
Simone C. Gafner^b
Anne-Violette Bruyneel^a

^aHaute École de Santé Genève, HES-SO, Haute École Spécialisée de Suisse Occidentale, rue des Caroubiers 25, 1227 Carouge, Suisse

^bInstitut santé, Haute école de Santé, HES-SO Valais-Wallis, Rathausstrasse 25, 3954 Leukerbad, Suisse

INTRODUCTION

De nombreux tests sont utilisés en pratique clinique et en recherche pour quantifier la marche. Le test de marche de deux minutes (TM2) est de plus en plus utilisé car sa courte durée le rend moins sollicitant pour les personnes testées et moins chronophage que le test de marche de six minutes (TM6) (cf. *Kinésithérapie la Revue*, no. 23:253.2023) pour les praticiens [1].

DESCRIPTION

Le TM2 est un test simple, rapide et sûr qui consiste à couvrir la plus grande distance possible durant deux minutes en réalisant des aller-retours entre deux cônes espacés de 30 mètres [2].

UTILISATION CLINIQUE

Population concernée

Le TM2 peut être utilisé dans différents contextes de santé : des personnes âgées aux populations

atteintes de troubles neuromusculaires ou cardio-respiratoires en passant par la pédiatrie [1–6]. L'usage d'une aide technique à la marche n'est pas limitant [7].

Paramètres mesurés

La distance parcourue en deux minutes est le résultat principal [7]. La fréquence cardiaque (FC), la saturation en oxygène (SpO₂), la fatigue et la perception de l'effort sont également mesurées [4,8].

Matériel

Deux cônes sont disposés à 30 mètres l'un de l'autre dans un couloir gradué tous les cinq mètres (Fig. 1) [2]. Une chaise, un satomètre, un cardiofréquencemètre, un chronomètre et une échelle de BORG sont également nécessaires pour la réalisation du test.

Procédure du test et instructions

Les paramètres physiologiques du participant sont mesurés après une période

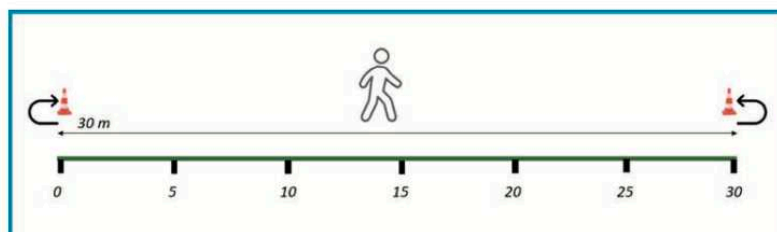


Figure 1. Dispositif du test avec deux cônes espacés de 30 m et les marquages au sol tous les 5 m.

Auteur correspondant :

Aline Reinmann
Haute École de Santé, filière
physiothérapie, Rue des
Caroubiers 25, 1227 Carouge,
Suisse.
Adresse e-mail :
aline.reinmann@hesge.ch

Tableau I. Mesures relevées, consignes et encouragements durant le TM2 [2,7].

Moment	Consignes et encouragements	Mesures relevées
Après 5 à 10 minutes de repos		FC, SpO ₂ , fatigue et échelle de Borg
Après la mesure des paramètres	« L'objectif de ce test est de marcher le plus loin possible pendant deux minutes. Vous allez faire des allers-retours en marchant dans ce couloir. Marchez sans interruption si possible, mais ne vous inquiétez pas si vous devez ralentir ou vous arrêter pour vous reposer. Le but est de sentir, à la fin du test, que vous n'auriez pas pu parcourir une plus grande distance en deux minutes. Rappelez-vous que l'objectif est de marcher le plus loin possible pendant deux minutes, mais ne courez pas et ne faites pas de jogging. Êtes-vous prêt à le faire ? Démarrez quand je vous dirai 'partez' ». [2]	
À 1 minute	« Vous vous débrouillez bien, il vous reste 1 minute ». [2]	
À 2 minutes	« Et maintenant, arrêtez-vous ».	FC, SpO ₂ , fatigue, échelle de Borg et distance

FC : fréquence cardiaque ; SpO₂ : saturation en oxygène.

de repos assis d'au moins cinq minutes (Tableau I) [2]. Les consignes du test ainsi que l'échelle de Borg sont présentées au participant, puis le test peut démarrer. Le participant réalise alors le plus d'allers-retours possibles pendant deux minutes. Il peut s'arrêter s'il en ressent le besoin, mais doit reprendre la marche dès qu'il s'en sent capable. Le test est réalisé sans l'aide de l'évaluateur, mais celui-ci peut marcher avec le participant pour le sécuriser si nécessaire. Dans ce cas, il reste derrière lui pour ne pas influencer son allure [7]. Après deux minutes, la distance parcourue est notée. Si le participant ne se trouve pas à côté d'un cône, la distance finale est définie en mesurant l'espace jusqu'à la marque graduée la plus proche.

Formation

Aucune formation n'est nécessaire.

Temps requis

La durée du test est d'environ 10 minutes.

SÉCURITÉ

Tout patient qui présente un angor ou un infarctus récent ne devrait pas réaliser le test [2]. Les contre-indications relatives comprennent la tachycardie au repos (> 120 battements par minute) et l'hypertension artérielle (> 180 mm Hg systolique et > 100 mm Hg diastolique) [2]. Les risques du TM2 sont la désaturation au cours de l'effort (< 80 %), la perte d'équilibre et l'apparition de douleurs.

QUALITÉS PSYCHOMÉTRIQUES

Validité

La majorité des études a montré une excellente corrélation entre le TM2 et le TM6 (Tableau II). Le TM2 est également

corrélé à la vitesse de marche [1,12], au *Timed Up and Go* [1,13,14], à la *Berg Balance Scale* [12], au questionnaire sur l'activité physique *Simple Physical Activity Questionnaire* [2,9,10] et au *Dynamic Gait Index* [12].

Fiabilité test-retest, intra- et inter-évaluateurs

La fiabilité du TM2 est bonne à excellente, quelle que soit la population. Le Tableau II décrit la fiabilité test-retest. La fiabilité intra-évaluateur est bonne à excellente chez des personnes qui ont eu un accident vasculaire cérébral (AVC ; ICC = 0,85) [3] ou des personnes qui présentent une amputation du membre inférieur (ICC = 0,90 – 0,96) [11]. Ces mêmes résultats sont observés pour la fiabilité inter-évaluateurs lors d'un test chez des personnes âgées (ICC_(0,9 – NS) = 0,96_(0,9 – NS)) [14], qui ont eu un accident vasculaire cérébral (ICC = 0,87), une amputation du membre inférieur (ICC = 0,98-0,99) [11], qui sont atteintes d'une démence ou de maladie d'Alzheimer (ICC_(0,86-0,98) = 0,92-0,96_(0,86-0,98)) [5].

Changement minimal détectable (CMD)

Le CMD est de 9,1 à 42,5 m selon les populations (Tableau II).

Différence minimale cliniquement importante (DMCI)

La DMCI se situe à 5,5 m pour une population atteinte de bronchopneumopathie chronique obstructive [28] et à 37,2 m pour une population qui présente une amputation du membre inférieur [29].

Effets plafonds

Selon Gloeckl et al., (2016), la courte durée du TM2 pourrait ne pas stresser la fonction cardio-pulmonaire suffisamment chez les patients atteints de BPCO légère et ainsi engendrer un effet plafond [8].

Effets d'apprentissage

Alors que certaines études n'ont montré aucun effet d'entraînement [2,9,10], d'autres ont observé une amélioration des résultats au fil des passages du test [11]. Il est ainsi

Tableau II. Fiabilité, changement minimal détectable (CMD) et validité du TM2 par rapport au TM6.

Population (n)	Fiabilité test-retest (ICC _[IC95%])	CMD (m)	Corrélation TM2-TM6 (Coefficient de corrélation)	Références
Adultes et enfants asymptomatiques				
Adultes et enfants (n = 330)	0,89 _[0,81-0,93]	—	r = 0,97 (p < 0,0001) TM2 mesuré pendant TM6	Bohannon 2014 [6]
Adultes (n = 1137)	0,82 _[0,76-0,87]	42,5	—	Bohannon 2015 [15]
Enfants (n = 27)	—	—	r = 0,98 (p < 0,0001) TM2 mesuré pendant TM6	Pucillo 2017 [16]
Pathologies neuro-musculaires				
Accident vasculaire cérébral (n = 18)	—	—	r = 1,00 (p < 0,0001) TM2 mesuré pendant TM12	Kosak 2005 [3]
Accident vasculaire cérébral (n = 61)	0,98 _[0,97-0,99]	13,4	—	Hiengkaew 2012 [17]
Sclérose en plaques (n = 50)	—	—	r = 0,94 (pas de valeur de p)	Gijbels 2010 [18]
Sclérose en plaques (n = 42)	0,96	—	r = 0,96 (p < 0,01)	Bennett 2017 [12]
Sclérose en plaques (n = 16 pour les valeurs, 28 pour les corrélations)	—	—	r = 0,95 (p < 0,01)	Scalzitti 2018 [1]
Myosite sans moyen auxiliaire (n = 67)	—	—	r = 0,97 (p < 0,001)	Alfano 2014 [13]
Maladies neuromusculaires (n = 115)	—	—	r = 0,99 (p < 0,001)	Andersen 2016 [19]
Myasthénie grave (n = 31)	0,89	—	r = 0,88 (p < 0,001)	Salci 2019 [20]
Poliomyélite (n = 57)	0,93 _[0,88-0,96]	22,9	—	Stolwijk-Swüste 2008 [21]
Enfants atteints de dystrophie myotonique congénitale (n = 37)	0,94	—	r = 0,98 (p < 0,0001) TM2 mesuré pendant TM6	Pucillo 2018 [16]
Enfants avec maladies neuro-musculaires (n = 77)	—	—	r = 0,9 (p < 0,0001)	Witherspoon 2018 [22]
Pathologies musculo-squelettiques				
Amputé du membre inférieur (n = 86)	—	—	r = 0,95 (p < 0,0001)	Reid 2015 [23]
Amputé du membre inférieur (n = 44)	0,83 _[0,71-0,90]	34,3	—	Resnik & Borgia 2011 [24]
Fracture de compression vertébrale (n = 10)	0,98 _[0,91-0,99]	—	r = 0,95 (p < 0,05)	Goda 2019 [25]
Arthroplastie totale du genou (n = 41)	0,94 _[0,90-0,98]	25	—	Sarac 2022 [26]
Pathologies cardio-pulmonaires				
Bronchopneumopathie chronique obstructive (n = 45)	1	—	r = 0,94 (p < 0,05)	Leung 2006 [4]
Bronchopneumopathie chronique obstructive (n = 26)	—	—	r = 0,81 (p < 0,0001)	Gloeckl 2016 [8]
Bronchopneumopathie chronique obstructive (n = 59)	0,99 _[0,97-0,99]	—	r = 0,87 (p < 0,001)	Johnston 2017 [27]

Tableau II. (suite)

Personnes âgées				
Personnes âgées (n = 16)	0,94-0,95 _[0,88-NS]	12,2-14,7	r = 0,93 (pas de valeur de p)	Connelly 2009 [14]
Troubles psychiques				
Démence ou Alzheimer (n = 37)	0,98 _[0,96-0,99]	9,1	r = 0,93 (p < 0,001)	Chan & Pin 2019 [5]
Psychose (n = 50)	0,94 _[0,91-0,97]	22 hommes, 21 femmes	r = 0,69 (p < 0,001)	Vancamfort 2019 [2]
Dépression (n = 50)	0,96 _[0,94-0,98]	23,5 hommes, 23,4 femmes	r = 0,94 (p < 0,001)	Vancamfort 2020 [9]
Troubles de la consommation d'alcool (n = 50)	0,96 _[0,94-0,98]	18,3	r = 0,91 (p < 0,001)	Vancamfort 2021 [10]

CMD : changement minimal détectable ; TM2 : test de marche de deux minutes ; TM6 : test de marche de six minutes ; TM12 : test de marche de douze minutes.

Tableau III. Valeurs de référence par populations.

Populations		TM2 (distance – m)	Références
Enfants et adolescents			
Filles	3–5 ans	126–155	[30]
	6–8 ans	174–187	
	9–11 ans	194–200	
	12–15 ans	192–199	
	16–18 ans	193–194	
Garçons	3–5 ans	123–155	[30]
	6–8 ans	171–193	
	9–11 ans	195–201	
	12–15 ans	201–203	
	16–18 ans	203–209	
Adultes			
Femmes	18–54 ans	183	[15]
	55–59 ans	176	
	60–64 ans	166	
	65–69 ans	155	
	70–74 ans	146	
	75–79 ans	141	
	80–85 ans	134	
Hommes	18–54 ans	201	[15]
	55–59 ans	191	
	60–64 ans	179	
	65–69 ans	184	
	70–74 ans	172	
	75–79 ans	158	
	80–85 ans	144	

TM2 : test de marche de deux minutes ; TM6 : test de marche de six minutes.

conseillé de réaliser un à deux essais de familiarisation avant la prise de mesure réelle [7].

VALEURS NORMATIVES ET ÉQUATIONS PRÉDICTIVES

Les résultats du test évoluent selon l'âge et le genre des participants (Tableau III).

Plusieurs équations de prédiction ont été proposées pour les adultes. Selon Salman *et al.* (2014), en se basant sur l'âge et le sexe [31] : le TM2 prédit = $252,583 - (1,165 \times \text{âge}) + (19,987 \times \text{sexe}^*)$ (* homme = 1 et femme = 0). Selon Bohannon *et al.* (2015), en se basant sur l'âge, le sexe et l'indice de masse corporelle (IMC) [15] : pour les femmes, le TM2 prédit = $257,177 - (0,723 \times \text{âge}) - (1,688 \times \text{IMC})$; pour les hommes, le TM2 prédit = $279,096 - (0,998 \times \text{âge}) - (1,426 \times \text{IMC})$.

INTERPRÉTATION

En distance absolue ou en pourcentage d'évolution, les résultats du TM2 permettent de définir l'intensité d'un programme de marche [8], comparer les résultats à une norme [15] (*Tableau III*) ou évaluer l'effet d'une intervention [7]. Certains cliniciens préfèrent le TM2 au TM6 car, pour des contraintes physiques proches – environ 70% de la FC prédite [31] –, il apporte des informations similaires tout en offrant un gain de temps pour le reste du traitement [1,6,23,32]. Toutefois, des études sont encore nécessaires pour préciser les valeurs de CMD et surtout de DMCI selon les populations [7].

CONCLUSION

Le TM2 est un test rapide et sûr qui présente de bonnes qualités psychométriques. Il s'applique à de nombreuses populations et est particulièrement adapté aux personnes qui présentent une incapacité à réaliser un test de plus longue durée à cause d'une pathologie, d'un âge jeune ou avancé, d'un manque de motivation ou de temps.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

RÉFÉRENCES

- [1] Scalzitti DA, Harwood KJ, Maring JR, Leach SJ, Ruckert EA, Costello E. Validation of the 2-minute walk test with the 6-minute walk test and other functional measures in persons with multiple sclerosis. *Int J MS Care* 2018;20:158–63. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2017-046>.
- [2] Vancampfort D, Kimbowa S, Basangwa D, Smith L, Stubbs B, Van Damme T, et al. Test-retest reliability, concurrent validity and correlates of the two-minute walk test in outpatients with psychosis. *Psychiatry Res* 2019;282:112619. <https://doi.org/10.1016/j.psychres.2019.112619>.
- [3] Kosak M, Smith T. Comparison of the 2-, 6-, and 12-minute walk tests in patients with stroke. *J Rehabil Res Dev* 2005;42:103–7. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2003.11.0171>.
- [4] Leung ASY, Chan KK, Sykes K, Chan KS. Reliability, validity, and responsiveness of a 2-min walk test to assess exercise capacity of COPD patients. *Chest* 2006;130:119–25. <https://doi.org/10.1378/chest.130.1.119>.
- [5] Chan WLS, Pin TW. Reliability, validity and minimal detectable change of 2-minute walk test, 6-minute walk test and 10-meter walk test in frail older adults with dementia. *Exp Gerontol* 2019;115:9–18. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2018.11.001>.
- [6] Bohannon RW, Bubela D, Magasi S, McCreath H, Wang Y-C, Reuben D, et al. Comparison of walking performance over the first 2 minutes and the full 6 minutes of the Six-Minute Walk Test. *BMC Res Notes* 2014;7:269. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-269>.
- [7] Pin TW. Psychometric properties of 2-minute walk test: a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil* 2014;95:1759–75. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.03.034>.
- [8] Gloeckl R, Teschler S, Jarosch I, Christle JW, Hitzl W, Kenn K. Comparison of two- and six-minute walk tests in detecting oxygen desaturation in patients with severe chronic obstructive pulmonary disease — A randomized crossover trial. *Chron Respir Dis* 2016;13:256–63. <https://doi.org/10.1177/1479972316636991>.
- [9] Vancampfort D, Basangwa D, Kimbowa S, Firth J, Schuch F, Van Damme T, et al. Test-retest reliability, validity, and correlates of the 2-min walk test in outpatients with depression. *Physiother Res Int* 2020;25:e1821. <https://doi.org/10.1002/pri.1821>.
- [10] Vancampfort D, Kimbowa S, Basangwa D, Hallgren M, Van Damme T, Rosenbaum S, et al. Test-retest reliability, concurrent validity and correlates of the two-minute walk test in outpatients with alcohol use disorder. *Alcohol* 2021;90:74–9. <https://doi.org/10.1016/j.alcohol.2020.12.001>.
- [11] Brooks D, Hunter JP, Parsons J, Livsey E, Quirt J, Devlin M. Reliability of the two-minute walk test in individuals with transtibial amputation. *Arch Phys Med Rehabil* 2002;83:1562–5. <https://doi.org/10.1053/apmr.2002.34600>.
- [12] Bennett SE, Bromley LE, Fisher NM, Tomita MR, Niewczyk P. Validity and reliability of four clinical gait measures in patients with multiple sclerosis. *Int J MS Care* 2017;19:247–52. <https://doi.org/10.7224/1537-2073.2015-006>.
- [13] Alfano LN, Lowes LP, Dvorchik I, Yin H, Maus EG, Flanagan KM, et al. The 2-min walk test is sufficient for evaluating walking abilities in sporadic inclusion body myositis. *Neuromuscular Dis* 2014;24:222–6. <https://doi.org/10.1016/j.nmd.2013.11.012>.
- [14] Connelly DM, Thomas BK, Cliffe SJ, Perry WM, Smith RE. Clinical utility of the 2-minute walk test for older adults living in long-term care. *Physiother Can* 2009;61:78–87. <https://doi.org/10.3138/physio.61.2.78>.
- [15] Bohannon RW, Wang Y-C, Gershon RC. Two-minute walk test performance by adults 18 to 85 years: normative values, reliability, and responsiveness. *Arch Phys Med Rehabil* 2015;96:472–7. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.10.006>.
- [16] Pucillo EM, DiBella DL, Hung M, Bounsanga J, Crockett B, Dixon M, et al. Physical Function and Mobility in Children with Congenital Myotonic Dystrophy. *Muscle Nerve* 2017;56:224–9. <https://doi.org/10.1002/mus.25482>.
- [17] Hiengkaew V, Jitree K, Chaiyawat P. Minimal detectable changes of the Berg Balance Scale, Fugl-Meyer Assessment Scale, Timed "Up & Go" Test, gait speeds, and 2-minute walk test in individuals with chronic stroke with different degrees of ankle plantarflexor tone. *Arch Phys Med Rehabil* 2012;93:1201–8. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2012.01.014>.
- [18] Gijbels D, Alders G, Van Hoof E, Charlier C, Roelants M, Broekmans T, et al. Predicting habitual walking performance in multiple sclerosis: relevance of capacity and self-report measures. *Mult Scler* 2010;16:618–26. <https://doi.org/10.1177/1352458510361357>.
- [19] Andersen LK, Knak KL, Witting N, Vissing J. Two- and 6-minute walk tests assess walking capability equally in neuromuscular diseases. *Neurology* 2016;86:442–5. <https://doi.org/10.1212/WNL.0000000000002332>.
- [20] Salci Y, Karanfil E, Balkan AF, Kütükçü EÇ, Ceren AN, Ayvat F, et al. Functional exercise capacity evaluated by timed walk tests in myasthenia gravis. *Muscle Nerve* 2019;59:208–12. <https://doi.org/10.1002/mus.26345>.
- [21] Stolwijk-Swüste JM, Beelen A, Lankhorst GJ, Nollet F, CARPA study group. SF36 physical functioning scale and 2-minute walk test advocated as core qualifiers to evaluate physical functioning in patients with late-onset sequelae of poliomyelitis. *J Rehabil Med* 2008;40:387–94. <https://doi.org/10.2340/16501977-0188>.
- [22] Witherspoon JW, Vasavada R, Logaraj RH, Waite M, Collins J, Shieh C, et al. Two-minute versus 6-minute walk distances during 6-minute walk test in neuromuscular disease: Is the 2-minute walk test an effective alternative to a 6-minute walk test? *Eur J Paediatr Neurol* 2019;23:165–70. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2018.10.001>.

- [23] Reid L, Thomson P, Besemann M, Dudek N. Going places: Does the two-minute walk test predict the six-minute walk test in lower extremity amputees? *J Rehabil Med* 2015;47:256–61. <https://doi.org/10.2340/16501977-1916>.
- [24] Resnik L, Borgia M. Reliability of outcome measures for people with lower-limb amputations: distinguishing true change from statistical error. *Phys Ther* 2011;91:555–65. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100287>.
- [25] Goda A, Morishima Y, Yokohara N, Suzuki T, Ohgi S, Mizushima T. Validity and reliability of a 2-min walk test to assess the exercise capacity in vertebral compression fracture patients: a pilot study. *Phys Ther Res* 2019;22:26–30. <https://doi.org/10.1298/ptr.E9958>.
- [26] Sarac DC, Unver B, Karatosun V. Validity and reliability of performance tests as balance measures in patients with total knee arthroplasty. *Knee Surg Relat Res* 2022;34:11. <https://doi.org/10.1186/s43019-022-00136-4>.
- [27] Johnston KN, Potter AJ, Phillips AC. Minimal important difference and responsiveness of 2-minute walk test performance in people with COPD undergoing pulmonary rehabilitation. *COPD* 2017;12:2849–57. <https://doi.org/10.2147/COPD.S143179>.
- [28] Johnston KN, Potter AJ, Phillips AC. Minimal important difference and responsiveness of 2-minute walk test performance in people with COPD undergoing pulmonary rehabilitation. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis* 2017;12:2849–57. <https://doi.org/10.2147/COPD.S143179>.
- [29] Carse B, Scott H, Davie-Smith F, Brady L, Colvin J. Minimal clinically important difference in walking velocity, gait profile score and two minute walk test for individuals with lower limb amputation. *Gait Posture* 2021;88:221–4. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.06.001>.
- [30] Bohannon RW, Wang Y-C, Bubela D, Gershon RC. Normative two-minute walk test distances for boys and girls 3 to 17 years of age. *Phys Occup Ther Pediatrics* 2018;38:39–45. <https://doi.org/10.1080/01942638.2016.1261981>.
- [31] Selman JP, de Camargo AA, Santos J, Lanza FC, Dal Corso S. Reference equation for the 2-minute walk test in adults and the elderly. *Respir Care* 2014;59:525–30. <https://doi.org/10.4187/respcare.02649>.
- [32] Gijbels D, Eijnde BO, Feys P. Comparison of the 2- and 6-minute walk test in multiple sclerosis. *Mult Scler* 2011;17:1269–72. <https://doi.org/10.1177/1352458511408475>.

XI. Résumé

Les taxanes, utilisées fréquemment dans le traitement du cancer du sein, peuvent engendrer des neuropathies périphériques et détériorer la fonction physique. Ces effets indésirables peuvent altérer le déroulement des traitements et la qualité de vie des personnes atteintes de cancer du sein. C'est pourquoi, le développement d'un suivi de ces troubles et des prises en charges adaptées pourrait être un enjeu important de l'accompagnement de ces patients. L'objectif de cette thèse était d'identifier les effets des chimiothérapies neurotoxiques sur les fonctions physiques des patients afin d'évaluer les tests de suivi pertinents et une stratégie thérapeutique de soins de support spécifique aux troubles observés.

Une première étude observationnelle a mis en évidence un contrôle postural détérioré chez des femmes atteintes de cancer du sein après un traitement par taxanes, en particulier lorsqu'une perturbation visuelle ou en double tâche était appliquée. Ces troubles du contrôle postural, dont les multiples causes comprenaient les déficits somatosensoriels chimio-induits et le déconditionnement physique, engendraient des mécanismes de compensation inadaptés qui démontraient un besoin de prise en charge spécifique.

Les résultats d'une étude menée sur les outils de mesure de la capacité de marche en contexte oncologique a mis en évidence une excellente faisabilité ainsi qu'une bonne validité du test de marche de 2 min et du test de marche de 10 m.

Une investigation de l'influence d'un programme d'exercices sensorimoteurs hebdomadaire à domicile durant le traitement par taxanes a été menée pour prévenir les instabilités posturales chimio-induites. Cette étude en cas uniques en lignes de bases multiples a mis en évidence des résultats prometteurs pour le maintien des capacités de contrôle postural et la prévention des signes et symptômes des neuropathies périphériques.

L'analyse de données rétrospectives d'un programme d'exercices adaptés existant a permis de mettre en évidence des propositions de stratégies pour optimiser les pratiques. Celles-ci comprenaient une individualisation des soins proposés selon les capacités initiales du patient et des mesures pour limiter les abandons et les données manquantes.

Ainsi, ce travail de thèse a démontré l'importance d'une évaluation spécifique et d'exercices adaptés durant la chimiothérapie pour la préservation de la fonction physique, fondement essentiel des interactions sociales et de l'intégration sociétale des patients atteints de cancer. Au vu des résultats, il apparaît important de mettre en place des soins de support spécifiques durant le parcours de soin des patients exposés au risque de neuropathies induites par les chimiothérapies pour un accompagnement global optimisé.

Mots-clés : cancer – contrôle postural – fonction physique – neuropathies périphériques induites par chimiothérapie – réadaptation – soins de support

Repercussions of neurotoxic chemotherapy in patients with breast cancer: from assessment to the implementation of supportive care through adapted exercises

Abstract

Taxanes, commonly used in the treatment of breast cancer, can induce peripheral neuropathies and alter physical function. These side effects negatively impact both the treatment process and the quality of life of patients with breast cancer. Therefore, the development of monitoring and appropriate treatment for these disorders could be very helpful in supporting these patients. The aim of this thesis was to identify the effects of neurotoxic chemotherapy on the patients' physical functions to evaluate the relevant follow-up tests and a therapeutic support strategy specific to the disorders observed.

An initial observational study demonstrated impaired postural control in women with breast cancer following treatment with taxanes, particularly when visual or dual-task interference was applied. These postural control deficits, which had multiple causes including chemo-induced somatosensory deficits and physical deconditioning, resulted in maladaptive compensatory mechanisms that demonstrated the need for specific management.

The results of a study on tools for measuring walking ability in oncology highlighted that the 2-minute walk test and the 10-meter walk test were highly feasible and had good validity.

A study was conducted to evaluate the effect of a weekly home sensorimotor exercise program during taxanes treatment to prevent chemo-induced postural instability. This single-case multiple baseline study demonstrated promising results in maintaining postural control and preventing signs and symptoms of peripheral neuropathy.

Analysis of retrospective data from an existing adaptive exercise program highlighted suggested strategies for optimising practice. These included individualising care according to patients' initial abilities, and measures to limit dropout and missing data.

This thesis has demonstrated the importance of specific assessment and adapted exercise during chemotherapy to preserve physical function, an essential foundation for social interaction and integration in patients with cancer. In the light of these results, it seems important to introduce specific support during the treatment of patients at risk of chemotherapy-induced neuropathy to optimise their overall support.

Key words: cancer – postural control – physical functioning – chemotherapy-induced peripheral neuropathy – rehabilitation – supportive care