



**HAL**  
open science

# Atteinte du contrôle postural des personnes avec BPCO : modifications, caractéristiques et activités de la vie quotidienne

Romain Pichon

## ► To cite this version:

Romain Pichon. Atteinte du contrôle postural des personnes avec BPCO : modifications, caractéristiques et activités de la vie quotidienne. Education. Université Rennes 2, 2023. Français. NNT : 2023REN20039 . tel-04595726

**HAL Id: tel-04595726**

**<https://theses.hal.science/tel-04595726>**

Submitted on 31 May 2024

**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.

COLLEGE EDUCATION, LANGAGES

DOCTORAL INTERACTIONS, COGNITION

BRETAGNE CLINIQUE, EXPERTISE



# THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE RENNES 2

ECOLE DOCTORALE N° 646

*Education, Langages, Interactions, Cognition, Clinique,  
Expertise*

Spécialité : STAPS

Par

**Romain PICHON**

## **Atteinte du contrôle postural des personnes avec BPCO**

Modifications, caractéristiques et activités de la vie quotidienne

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le

Unité de recherche : Laboratoire Mouvement, Sport, Santé

### **Rapporteurs avant soutenance :**

Claire de Bisschop

Alain Hamaoui

Maitre de conférences, HDR, Université de Poitiers

Professeur des universités, Université Paris-Saclay

### **Composition du Jury :**

Examineurs : Claire de Bisschop

Frédéric Costes

Véronique Feipel

Alain Hamaoui

Capucine Morelot-Panzini

MCF, HDR, Université de Poitiers

PU-PH, CHU Clermont-Ferrand

Professeur ordinaire, Université Libre de Bruxelles

Professeur des universités, Université Paris-Saclay

PU-PH, Assistance Publique Hôpitaux de Paris

Dir. de thèse : Armel Crétual

Co-dir. de thèse : Diane Haering

Mathieu Ménard

MCF, HDR, Université de Rennes 2

MCF, Université de Rennes 2

Docteur en Sciences, Institut d'ostéopathie, Rennes

COLLEGE EDUCATION, LANGAGES

DOCTORAL INTERACTIONS, COGNITION

BRETAGNE CLINIQUE, EXPERTISE



# THESE DE DOCTORAT DE

L'UNIVERSITE RENNES 2

ECOLE DOCTORALE N° 646

*Education, Langages, Interactions, Cognition, Clinique,  
Expertise*

Spécialité : STAPS

Par

**Romain PICHON**

## **Atteinte du contrôle postural des personnes avec BPCO**

Modifications, caractéristiques et activités de la vie quotidienne

Thèse présentée et soutenue à Rennes, le

Unité de recherche : Laboratoire Mouvement, Sport, Santé

### **Rapporteurs avant soutenance :**

Claire de Bisschop

Alain Hamaoui

Maitre de conférences, HDR, Université de Poitiers

Professeur des universités, Université Paris-Saclay

### **Composition du Jury :**

Examineurs : Claire de Bisschop

Frédéric Costes

Véronique Feipel

Alain Hamaoui

Capucine Morelot-Panzini

MCF, HDR, Université de Poitiers

PU-PH, CHU Clermont-Ferrand

Professeur ordinaire, Université Libre de Bruxelles

Professeur des universités, Université Paris-Saclay

PU-PH, Assistance Publique Hôpitaux de Paris

Dir. de thèse : Armel Crétual

Co-dir. de thèse : Diane Haering

Mathieu Ménard

MCF, HDR, Université de Rennes 2

MCF, Université de Rennes 2

Docteur en Sciences, Institut d'ostéopathie, Rennes



## Remerciements

Je tiens à remercier *Madame Claire de Bisschop* d'avoir accepté d'être rapporteur de ce travail et jury de cette thèse. Votre expertise dans le domaine respiratoire est une vraie richesse pour juger ce travail.

Je tiens à remercier *Monsieur Alain Hamaoui* d'avoir accepté d'être rapporteur de ce travail. Vos travaux actuels et passés faisant le lien entre les domaines respiratoires et du contrôle postural, je suis très heureux de vous compter dans ce jury.

Je tiens à remercier *Professeur Frédéric Costes* de participer à ce jury de thèse et d'apporter le regard nécessaire du pneumologue et de l'expert de la réadaptation respiratoire.

Je tiens à remercier *Madame Véronique Feipel* d'être membre du jury de cette thèse. Je suis très honoré que vous ayez accepté de juger mon travail en apportant votre expertise biomécanique.

Je tiens à remercier *Professeur Capucine Morelot-Panzini* d'avoir accepté d'examiner ce travail, votre expertise dans le domaine respiratoire et particulièrement autour des symptômes et de la dyspnée ajoute un éclairage important dans ce jury.

Je veux remercier *Dr. Valérie Attali* d'avoir accepté d'être membre de mon comité de suivi. Nos échanges ont toujours été intéressants et productifs, stimulants et bienveillants, influençant positivement mon travail.

Un merci spécial à *Marc Beaumont*, pour ta présence dans le comité de suivi, mais pour beaucoup plus que ça aussi : pour m'avoir montré qu'on peut ouvrir pas mal de portes si on le souhaite, pour m'avoir fait grandir en tant qu'humain, simplement. J'associe *Catherine* à ce merci particulier, sincère et affectueux.

Merci *Armel Crétual* d'avoir accepté de m'encadrer pour cette thèse, merci pour tes réflexions toujours inspirantes, ta capacité à te saisir d'un sujet en trente-huit secondes chrono et d'en sortir les réflexions importantes (!), pour tes questionnements qui m'ont parfois fait cogiter pendant plusieurs jours (semaines ?), ta rigueur mais aussi pour quelques découvertes musicales improbables.

Merci à *Diane Haering*, pour ton encadrement, pour ta rigueur scientifique, ta précision, pour les heures passées à me guider sur MATLAB (quand j'étais dans le brouillard, ce qui a pu arriver parfois...), pour tes suggestions, tes retours et pour ton accompagnement précieux et expert sur les manips.

*Mathieu Ménard*, merci pour ton suivi et ta disponibilité, je crois qu'on a démontré qu'un ostéo et un kiné peuvent collaborer en bonne intelligence ! Merci pour ce savant mélange de stimulation, de perfectionnisme et de bienveillance qui profiterons à d'autres doctorants et étudiants à l'avenir, j'en suis certain !

Merci sincère à *tous les participants* aux travaux de cette thèse.

Merci à *Olivier Van Hove* pour la collaboration Rennes-Bruxelles, merci pour les discussions toujours chouettes et constructives, et pour ta passion et ton enthousiasme communicatifs.

Merci chaleureux au *Dr. Graziella Brinchault*, pour m'avoir fait confiance, pour avoir cru dans ce projet sans hésiter et pour m'avoir accordé du temps et de l'énergie.

Merci au *Dr. Stéphanie Guillot* pour l'aide au recrutement des participants et l'accueil toujours bienveillant dans le service des EFR.

Merci à *Yann Le Faou* de m'avoir convaincu que l'IFPEK pouvait me supporter dans cette aventure qu'est la thèse et que c'était la bonne option.

Merci à *Cécile Riou* d'avoir cru en ce projet et d'avoir permis le financement de cette thèse.

Merci à *Benoît Bideau* de m'avoir permis d'intégrer le laboratoire M2S, qui est un chouette environnement de travail. Merci à tous les titulaires du laboratoire croisés, pour une discussion, un échange, une idée, une solution, une connerie, cela change beaucoup au final. Merci à l'équipe des doctorants, j'ai rencontré de superbes personnes, passé de super moments. Merci particulier à *Vincent, Mathieu, Annabelle, Adrien, Alex V, Carole, Alex C, Erwan, Romain, David, Antoine, Cindy, Agathe, Rebecca, Yannis, Arthur...* ce n'est plus un merci particulier du coup... et à tous les autres, croisés de façon plus ou moins durable ! Merci au personnel administratif du labo, indispensables facilitatrices, qui rendent les choses plus simples.

Merci à *Anne-Hélène Olivier* pour m'avoir ouvert les portes de son master il y a quelques années, et de m'avoir montré que c'était possible de concilier pratique clinique et reprise d'études.

À mes collègues de l'équipe recherche de l'IFPEK : *Karim*, merci pour les échanges quotidiens, les idées, les réflexions, les sorties course à pied... Tu as une sacrée place dans cette thèse. *Carole* (oui on peut être dans plusieurs catégories), merci d'avoir supporté mes blagues au cours de ces trois années... merci surtout d'avoir ouvert la voie (et tout ce que ça représente) et su partager les périodes rudes comme les plus cools. *Benj'*, merci de m'avoir montré que les épidémiologistes sont aussi des êtres humains (qui se nourrissent exclusivement de sandwiches) et de m'avoir appris deux trois trucs en stats et sur R. *Jérem'*, merci pour l'énergie et la bonne humeur permanente, quel incroyable carburant ! *Nathalie*, bienvenue dans cette chouette équipe.

Merci à tous les collègues de l'IPFEK (clin d'œil particulier aux collègues de l'IFMK : *Vincent, Elena, Olivier, les Matthieu, Marie-Laure, Haidar, Arnaud, Hélène, Amélie, Manon, Arlette, Stéphanie, Emilien, Gregoire, Hervé, Manue, Audrey*), personnels administratifs, formateurs des filières Ergo et Podo, collaborateurs, responsables pédagogiques, tous !

Merci à mes (ex-)collègues du cabinet (snif), *Anne-Math, Eric, Morgan, Alexis, Elo*, je sais qu'avec vous le bateau va bien voguer.

Merci à plusieurs collègues kinés et/ou chercheurs qui ont jalonné, façonné et/ou m'ont inspiré dans mon parcours : *Jean Roeseler, Gregory Reychler, Nicolas Audag, Loic Péran, Guillaume Prieur, Clément Médrinal, Yann Combret, Tristan Bonnevie, Marius Lebret, Mathieu Delorme, William Poncin, Olivier Contal*.

Merci à mes amis, pour tous ces temps précieux en dehors du travail, qui équilibrent tout, ceux que je vois beaucoup, ceux que je vois moins, je vous aime les copains.

Merci à *Nathalie et Richard*, mes beaux-parents, pour votre accueil et votre présence, indispensable dans cette période, je vous en suis très reconnaissant et pour bien plus encore.

Merci à ma tante *Rozenn* de m'avoir inspiré dans cette voie qu'est la recherche. Merci *Mounette* de m'avoir donné le goût du travail bien fait, tu es pour beaucoup dans ce que je fais. Merci *François*, je crois fermement que la lumière revient toujours. *Maman*, merci pour toutes les valeurs que tu m'as transmises et pour l'inspiration que tu as été et es toujours.

Merci enfin à *Emilie*, mon extraordinaire femme (je suis premier degré là), et à mes trois enfants *Milo, Léon* et *Rose*, non moins extraordinaires, et carburant incroyable. Cette thèse c'était aussi un choix familial fort avec des contraintes parfois importantes, merci de l'avoir permis et rendue possible. Merci du soutien indéfectible, de la motivation et de la bonne humeur. S'il y a avis de tempête, confiez la barre à Emilie, elle ramènera le bateau au port...mais aura aussi, entre temps, sûrement appris à jouer du saxophone et fabriqué un panneau solaire et tout ça avec le sourire.

Pour finir, mercis en vrac à la course à pied et au trail, au distributeur à l'entrée de l'IFPEK, à la caféine, à Fontaines D.C., Falcko, Matmatah, Purple Disco Machine et mes playlists Spotify, aux bonbons, aux notes Google Keep, à ceux que j'ai oublié...

## Table des matières

Liste des publications issues de cette thèse .....	9
Liste des communications issues de cette thèse .....	9
Liste des abréviations.....	11
Liste des figures.....	12
Avant-propos.....	14
<b>1. Cadre théorique .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO).....</b>	<b>15</b>
1.1.1. Epidémiologie .....	15
1.1.2. Pathogénèse, patho-biologie et physio-pathologie.....	17
1.1.3. Symptômes.....	20
1.1.4. Comorbidités .....	20
1.1.5. Point d'étape.....	22
<b>1.2. Le contrôle postural.....</b>	<b>23</b>
1.2.1. Définition et processus neurophysiologiques .....	23
1.2.2. Cadre conceptuel du contrôle postural.....	26
1.2.3. Conséquences d'une altération du contrôle postural.....	28
1.2.4. Evaluation du contrôle postural.....	29
1.2.5. Point d'étape.....	33
<b>1.3. Le contrôle postural dans la BPCO.....</b>	<b>34</b>
1.3.1. État des lieux général .....	34
1.3.2. Synthèse et point d'étape .....	36
<b>2. Caractéristiques des modifications du contrôle postural dans la BPCO .....</b>	<b>37</b>
<b>2.1. Rationnel de la scoping review .....</b>	<b>37</b>
<b>2.2. Méthodologie de la Scoping review .....</b>	<b>38</b>
2.2.1. Critères d'inclusion .....	39
2.2.2. Stratégie de recherche.....	40
<b>2.3. Résultats.....</b>	<b>42</b>
2.3.1. Etudes incluses .....	42
2.3.2. Caractéristiques des études incluses.....	43
2.3.3. Résultats principaux .....	45
2.3.4. Résultats par composant du contrôle postural .....	46

2.3.5. Résultats concernant les AVQ .....	49
<b>2.4. Discussion .....</b>	<b>49</b>
<b>3. Caractéristiques cliniques des personnes avec BPCO ayant une altération du contrôle postural (Etude SPOON) .....</b>	<b>54</b>
<b>3.1. Rationnel.....</b>	<b>54</b>
<b>3.2. Méthodes .....</b>	<b>55</b>
3.2.1. Type d'étude.....	55
3.2.2. Participants.....	55
3.2.3. Critères de jugement .....	56
3.2.4. Analyse statistique.....	59
<b>3.3. Résultats.....</b>	<b>60</b>
<b>3.4. Discussion.....</b>	<b>64</b>
<b>3.5. Conclusion.....</b>	<b>67</b>
<b>3.6. Point d'étape.....</b>	<b>68</b>
<b>4. Analyse quantitative du contrôle postural des patients atteints de BPCO au cours de tâches de la vie quotidienne (Projet ATTRACTION) .....</b>	<b>70</b>
<b>4.1. Introduction .....</b>	<b>70</b>
<b>4.2. Méthodes .....</b>	<b>72</b>
4.2.3. Procédure expérimentale.....	73
4.2.4. Acquisition et traitement des données .....	75
<b>4.3. Partie 1. Analyse discriminative du contrôle postural au cours de tâches de la vie quotidienne (ATT1) .....</b>	<b>86</b>
4.3.1. Objectif .....	86
4.3.2. Méthodes spécifiques .....	86
4.3.3. Résultats.....	87
4.3.4. Discussion .....	90
4.3.5. Conclusion.....	93
4.3.6. Résumé graphique des points clés .....	94
<b>4.4. Partie 2. Analyse des associations entre contrôle postural au cours de tâches quotidiennes et facteurs cliniques (ATT2) .....</b>	<b>95</b>
4.4.1. Objectif .....	95
4.4.2. Méthodes spécifiques .....	95
4.4.3. Résultats.....	96
4.4.4. Discussion .....	100
4.4.5. Conclusion.....	103

4.4.6. Résumé graphique des points clés .....	104
<b>4.5. Partie 3. Etude de l'impact d'une tâche cognitive sur le contrôle postural des personnes avec et sans BPCO (ATT3) .....</b>	<b>105</b>
4.5.1. Objectif .....	105
4.5.2. Analyse statistique .....	105
4.5.3. Résultats .....	105
4.5.4. Discussion .....	107
4.5.5. Conclusion .....	110
4.5.6. Points clés et résumé graphique .....	110
<b>5. Discussion Générale .....</b>	<b>112</b>
5.1. Modifications du contrôle postural dans la BPCO .....	113
5.2. Facteurs discriminants d'un contrôle postural réduit chez les pBPCO .....	118
5.3. Contrôle postural des pBPCO lors des AVQ .....	121
5.4. Intérêt de l'analyse biomécanique dans le soin des pBPCO .....	123
<b>6. Conclusion .....</b>	<b>126</b>
<b>Bibliographie .....</b>	<b>128</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>155</b>
<b>Annexe 1. Article Scoping Review (Disability and Rehabilitation) .....</b>	<b>155</b>
<b>Annexe 2. Stratégie de recherche de la scoping review .....</b>	<b>171</b>
<b>Annexe 3. Charting table .....</b>	<b>173</b>
<b>Annexe 4. Données descriptives des études incluses dans la scoping review .....</b>	<b>175</b>
<b>Annexe 5. Associations entre le composant « stabilité statique » et les facteurs cliniques .....</b>	<b>179</b>
<b>Annexe 6. Associations entre le composant « stabilité dynamique » et les facteurs cliniques .....</b>	<b>180</b>
<b>Annexe 7. Article SPOON (Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention) .....</b>	<b>181</b>
<b>Annexe 8. Article protocole ATTRACTION (European Rehabilitation Journal) .....</b>	<b>188</b>
<b>Annexe 9. Description détaillée du mGADL .....</b>	<b>199</b>
<b>Annexe 10. Article ATTRACTION 1 .....</b>	<b>202</b>
<b>Annexe 11. Résultats des analyses statistiques ATTRACTION partie 1 .....</b>	<b>221</b>
<b>Annexe 12. Matrices de corrélations ATTRACTION partie 2 .....</b>	<b>224</b>

## Liste des publications issues de cette thèse

Romain Pichon, Mathieu Ménard, Diane Haering, Graziella Brinchault & Armel Crétual. Quantitative analysis of postural control of COPD patients during activities of daily living (ATTRACTION): a study protocol. *European Rehabilitation Journal*. 2022 Jun 28 ; 2(1).

Romain Pichon, Olivier Van Hove, Mathieu Ménard, Diane Haering & Armel Crétual. Impairment and characteristics of postural control sub-components in people with COPD: a scoping review. *Disability and Rehabilitation*. 2022 Aug ; 45(17)

Romain Pichon, Mathieu Ménard, Diane Haering, Armel Crétual & Marc Beaumont. Characteristics and Predictors of Postural Control Impairment in Patients with COPD participating in a Pulmonary Rehabilitation Program. *Journal of Cardiopulmonary Prevention and Rehabilitation*. 2023 May 1 ; 43(3).

## Liste des communications issues de cette thèse

Romain Pichon, Mathieu Ménard, Diane Haering, Armel Crétual & Marc Beaumont. Caractéristiques et prédicteurs d'un contrôle postural réduit chez les personnes atteintes de BPCO. Poster. Congrès SOFMER 2022, Rennes, France.

Romain Pichon, Olivier Van Hove, Mathieu Ménard, Diane Haering & Armel Crétual. Altération et caractéristiques des sous-composants du contrôle postural chez les personnes atteintes de BPCO. Communication orale. Congrès SOFMER 2022, Rennes, France.

Romain Pichon, Mathieu Ménard, Diane Haering, Graziella Brinchault & Armel Crétual. Communication orale. Analyse quantitative du contrôle postural de personnes avec BPCO au cours de tâches de la vie quotidienne : une analyse exploratoire. Congrès SOFMER 2023, Le Havre, France.

Romain Pichon, Mathieu Ménard, Diane Haering, Graziella Brinchault & Armel Crétual. Est-ce qu'une tâche cognitive impacte plus le contrôle postural des personnes avec BPCO ? Une analyse cinématique. Communication orale. Congrès SOFMER 2023, Le Havre, France.

## **Publications non issues de cette thèse en lien avec le sujet de recherche**

Van Hove Olivier, Romain Pichon, Pauline Pallanca, Ana Maria Cebolla, Sarah Noel, Véronique Feipel, Gaël Deboeck, and Bruno Bonnechère. Influence of Speech and Cognitive Load on Balance and Timed up and Go. *Brain Sciences*. 2022 Jul 31 ; 12(8).

## **Chapitre d'ouvrage**

Francis Degache, Olivier Van Hove, Romain Pichon. L'équilibre des patients atteints de pathologies respiratoires chroniques. In *Kinésithérapie cardiorespiratoire*. Gregory Reychler, Marc Beaumont, Olivier Contal. Elsevier 2023.

## Liste des abréviations

**AP** : Antéro-postérieur  
**APA** : Ajustements posturaux anticipés  
**AVQ** : Activités de la vie quotidienne  
**BBS** : Berg balance scale  
**BBT** : Brief BESTest  
**BPCO** : Broncho-pneumopathie chronique obstructive  
**CAT** : COPD assessment test  
**CDM** : Centre de masse  
**CDP** : Centre de pression  
**IC** : Intervalle de confiance  
**CTRL** : Contrôle  
**EN** : Echelle numérique  
**EVA** : Echelle visuelle analogique  
**FES-I** : Fall efficacy scale-international  
**nFFMI** : Indice de masse maigre normalisé  
**GOLD** : Global initiative for chronic obstructive lung diseases  
**GP-COG** : General practionner cognitive test  
**HAD** : Hospital anxiety and depression scale  
**IMC** : Indice de masse corporelle  
**IPAQ** : International physical activity questionnaire  
**LCADL** : London chest activity of daily living  
**MDP** : Multidimensional dyspnea profile  
**mGADL** : Glittre-ADL modifié  
**ML** : Médio-latéral  
**MMRC** : Modified medical research council  
**MOS** : Marges de stabilité  
**OLS** : Test d'équilibre unipodal  
**OMS** : Organisation mondiale de la santé  
**OR** : Odd ratio  
**PaO<sub>2</sub>** : Pression artérielle partielle en oxygène  
**PiMAX** : Pression inspiratoire maximale  
**PRISMA** : Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analysis  
**pBPCO** : Personnes avec broncho-pneumopathie chronique obstructive  
**RTE** : Effet relatif du traitement  
**SGRQ** : Saint George respiratory questionnaire  
**SHELF** : Tâche de manipulation d'objets sur une étagère  
**STAIRS** : Tâche de montée et descente de deux marches  
**STW** : Transfert assis-marche  
**QdV** : Qualité de vie  
**TM6** : Test de marche de six minutes  
**TUG** : Timed up and go test  
**TUGC** : Timed up and go test avec une tâche cognitive supplémentaire  
**TUGN** : Timed up and go test sans tâche cognitive supplémentaire  
**VEMS** : Volume expiratoire maximal en une seconde  
**WALK** : Tâche de marche sur dix mètres  
**Z** : Vertical

## Liste des figures

Figure 1. Les dix causes majeures de mortalité à l'échelle mondiale et leurs évolutions entre 2000 et 2019.....	16
Figure 2. Pathogénèse, patho-biologie et physio-pathologie de la BPCO menant à l'obstruction des voies aériennes et aux manifestations cliniques.....	17
Figure 3. Obstruction du débit aérien dans la BPCO. ....	19
Figure 4. Prévalences estimées des comorbidités chez les personnes atteintes de BPCO. ....	21
Figure 5. Nombre d'articles sur le contrôle postural dans la BPCO indexés sur Medline par année. ....	22
Figure 6. Résumé graphique de la partie sur la BPCO.....	22
Figure 7. Résumé graphique des rôles principaux du contrôle postural.....	23
Figure 8. Représentation graphique du centre de masse et du centre de pression. ....	24
Figure 9. Représentation graphique des systèmes interagissant dans le contrôle postural. ....	25
Figure 10. Cadre conceptuel du contrôle postural et de ses composants impliqués. ....	27
Figure 11. Types d'évaluations du contrôle postural disponibles.....	30
Figure 12. Résumé graphique de la partie sur le contrôle postural.....	33
Figure 13. Résultats principaux des méta-analyses comparant le contrôle postural des personnes avec et sans BPCO. ....	34
Figure 14. Résumé graphique de la partie traitant du contrôle postural dans la BPCO.....	36
Figure 15. Diagramme de flux PRISMA de la <i>scoping review</i> .....	42
Figure 16. Répartition des années de publications des études incluses.....	43
Figure 17. Répartition géographique mondiale des études incluses. ....	44
Figure 18. Nombre d'études incluses dans la <i>scoping review</i> évaluant chaque composant du contrôle postural. ....	45
Figure 19. Représentation des modifications des composants du contrôle postural dans la BPCO. ....	50
Figure 20. Résumé graphique des questions émergentes traitées dans la suite de la thèse.....	53
Figure 21. Représentation graphique des questions de recherches traitées dans l'étude SPOON.....	55
Figure 22. La courbe Receiver Operating Characteristic (ROC) pour le modèle de régression logistique.....	63
Figure 23. Les moyennes marginales estimées pour chaque variable indépendante incluses dans le modèle.....	64
Figure 24. Résumé graphique des résultats principaux de SPOON.....	68
Figure 25. Point d'étape de la thèse à la suite de l'étude SPOON.....	69
Figure 26. Représentation graphique des questions de recherches traitées dans le projet ATTRACTION.....	70
Figure 27. Représentation graphique du mGADL.....	74
Figure 28. Représentation graphique du TUG.....	75
Figure 29. Positionnement des marqueurs dans le projet ATTRACTION.....	76
Figure 30. Représentation des marges de stabilité.....	78
Figure 31. Résumé graphique des résultats principaux de la partie 1 d'ATTRACTION.....	94
Figure 32. Résumé des résultats principaux de la partie 2 d'ATTRACTION.....	104
Figure 33. Résumé graphique des résultats principaux de la partie 3 d'ATTRACTION.....	111
Figure 34. Représentation graphique des résultats principaux issus des travaux cette thèse.....	113
Figure 35. Atteintes structurelles et fonctionnelles rapportées dans la BPCO pouvant impacter le contrôle postural.....	117
Figure 36. Proposition de support au raisonnement clinique pour la détection, caractérisation et prise en soin de l'altération du contrôle postural chez une pBPCO.....	119

## Liste des tableaux

Tableau 1. Détail des composants du cadre conceptuel du contrôle postural.....	28
Tableau 2. Détail des composants du contrôle postural évalués dans le OLS, le TUG et le BBS.....	37
Tableau 3. Caractéristiques des participants en fonction de leur statut de contrôle postural.....	60
Tableau 4. Corrélations significatives entre le contrôle postural (BBT) et facteurs cliniques chez les participants (n = 73) .....	62
Tableau 5. Critères d'inclusion et d'exclusion de l'étude ATTRACTION.....	72
Tableau 6. Récapitulatif des paramètres de CDM employés dans l'étude ATTRACTION.....	79
Tableau 7. Résumé des facteurs cliniques évalués au cours d'ATTRACTION.....	80
Tableau 8. Caractéristiques des participants en fonction de leur groupe.....	85
Tableau 9. Comparaisons inter-groupes des paramètres de CDM au cours du mGADL.....	88
Tableau 10. Résumé graphique des analyses des paramètres de CDM pour les différentes sous-tâches .....	89
Tableau 11. Résumé des corrélations significatives entre les paramètres de contrôle postural et les facteurs cliniques.....	97
Tableau 12. Modèles linéaires généraux .....	98
Tableau 13. Modèle linéaire général incluant la dyspnée, l'index de Charlson, la PiMAX et l'âge.....	100
Tableau 14. Résultats pour le TUGN et le TUGC. ....	106
Tableau 15. Résumé des atteintes et caractéristiques des composants du contrôle postural des pBPCO par rapport à la population générale.....	114

## **Avant-propos**

Quatre lettres : B.P.C.O. Quatre lettres pour broncho-pneumopathie chronique obstructive. Si vous interrogez des passants dans la rue, cela ne leur évoquera sûrement pas grand-chose. Et pourtant, la BPCO est responsable du décès de plus de personnes dans le monde chaque année que le diabète, les maladies rénales ou les cancers du poumon (1). Et pourtant, dans le monde, une personne sur dix entre 30 et 79 ans en est atteinte (2). Et pourtant, la BPCO impose souvent un fardeau progressif aux personnes atteintes, leur rendant difficile la vie de tous les jours, en raison de symptômes pénalisants (3). La BPCO, en plus des symptômes respiratoires, est également associée à beaucoup d'autres manifestations: atteintes cardiovasculaires, musculaires, ostéoporotiques, diabétiques, cognitives...(4). Parmi ces manifestations extra-respiratoires, l'atteinte du contrôle postural est progressivement apparue comme une préoccupation émergente pour les professionnels et chercheurs impliqués (5).

Le contrôle postural est la compétence permettant à l'humain de maintenir son équilibre en fonction des sollicitations auquel il est soumis (internes comme environnementales)(6). Il s'agit donc d'une compétence centrale de la vie humaine, mise en jeu à chaque instant de la vie éveillée, rendant possible les actions les plus simples comme les plus compliquées. Le contrôle postural fait appel à plusieurs systèmes du corps humain (entrées sensorielles, système nerveux central, effecteurs), devant interagir en permanence, de façon complexe (7). Le projet de thèse avait pour objectif d'explorer les modifications du contrôle postural chez les personnes atteintes de BPCO (pBPCO). Une première partie présentera succinctement les concepts fondamentaux entourant la BPCO et le contrôle postural, ainsi que les connaissances actuelles sur l'atteinte du contrôle postural dans la BPCO. Elle sera complétée par une première contribution originale sous forme de revue de littérature. Dans la seconde partie de ce manuscrit, seront présentés deux études expérimentales évaluant les modifications du contrôle postural dans cette population. Enfin la troisième partie sera dédiée à la discussion générale de cette thèse.

## 1. Cadre théorique

### 1.1. *Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO)*

La BPCO est une pathologie pulmonaire commune caractérisée par des symptômes respiratoires persistants en raison d'une atteinte des voies aériennes et/ou des anomalies alvéolaires qui causent une obstruction persistante et souvent progressive des débits aériens (3). La BPCO est majoritairement causée par le tabagisme (8), mais d'autres facteurs environnementaux (l'exposition à des particules ou gaz nocifs comme la fumée de biomasse (9) ou la pollution de l'air (10)) ou de susceptibilité génétique (3) peuvent également contribuer à sa survenue.

#### 1.1.1. *Epidémiologie*

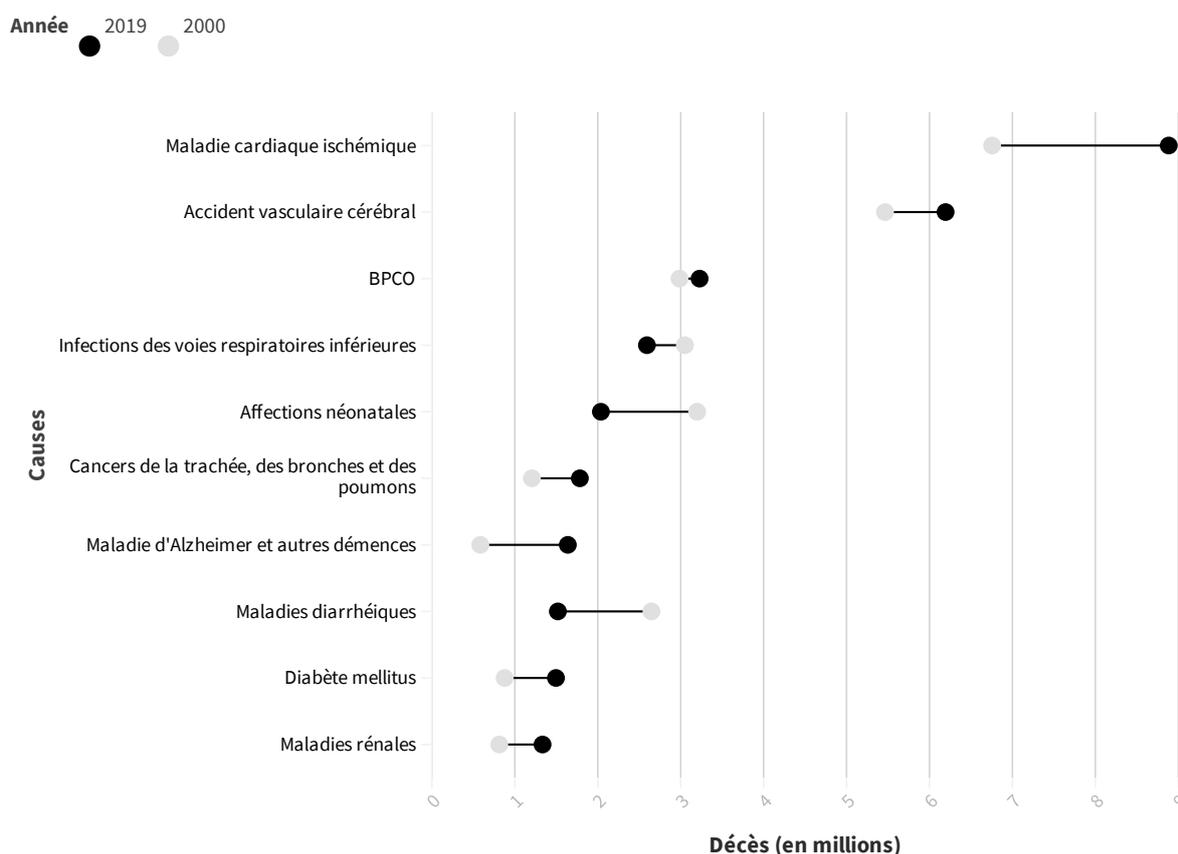
La BPCO est une des premières causes de morbidité et de mortalité au niveau mondial (1) et induit un impact social et économique substantiel et croissant (3).

#### Prévalence

En 2019, la prévalence mondiale de la BPCO était estimée à 10% des adultes de 30 à 79 ans, ce qui représente environ 391 millions d'individus (2). La prévalence était plus élevée chez les hommes (environ 14% chez les 30-79 ans) que chez les femmes (environ 6.5% dans la même catégorie d'âge) (2). En France, les dernières données disponibles rapportent une prévalence de 9 cas pour 100 personnes de plus de 45 ans en 2015, soit 2,6 millions de pBPCO (11). Les auteurs de cette dernière étude projettent une augmentation globale de la prévalence dans les années à venir, particulièrement en raison de l'augmentation de l'atteinte des femmes et des personnes de plus de 75 ans (11).

## Mortalité

En 2019, la BPCO était la troisième cause de mortalité à l'échelle mondiale (*Figure 1*) (1), devenant la maladie respiratoire qui cause le plus de décès. La BPCO serait responsable d'environ 5.7% des morts, toutes causes comprises, avec 42 décès pour 100 000 cas (12).



**Figure 1. Les dix causes majeures de mortalité à l'échelle mondiale et leurs évolutions entre 2000 et 2019.**

Données issues de Organisation Mondiale de la Santé 2020 (1). Les ronds gris représentent les données de l'année 2000, les ronds noirs représentent les données de l'année 2019.

## Impact Social et Humain

La BPCO a un impact important sur la qualité de vie (QdV) des individus à cause de ses symptômes, des limitations induites dans la vie quotidienne, en détériorant la santé mentale, et en réduisant l'activité physique et la qualité de sommeil (13). Les exacerbations, qui sont des épisodes aigus d'aggravation des symptômes respiratoires (14), jouent un rôle important, en jalonnant la vie des pBPCO. Plus d'un tiers des pBPCO rapportent au moins une

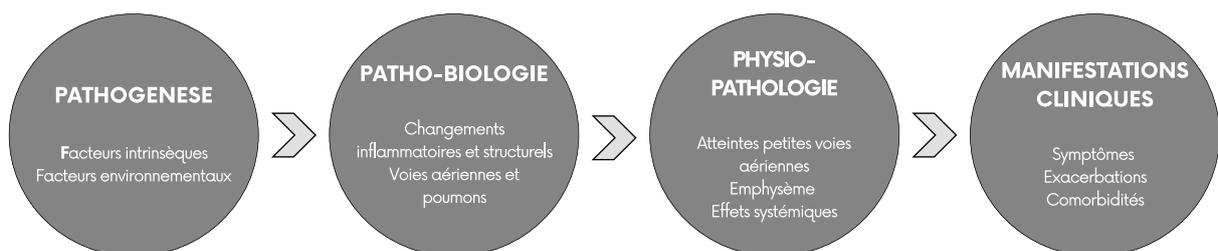
exacerbation par an, ce ratio augmentant avec la sévérité de la maladie (dans les formes les plus sévères, environ 70% des patients rapportent au moins une exacerbation par an) (15). La fréquence et la sévérité des exacerbations sont fortement associées avec une altération de la QdV et une augmentation de la mortalité (13).

### Impact économique

L'impact économique de la BPCO est substantiel, majoritairement causé par les hospitalisations et les consultations fréquentes et non-programmées (16,17). En France, l'impact économique global de la BPCO était estimé autour de onze milliards d'euros en 2011, soit environ 5 % des dépenses nationales de santé (18).

#### 1.1.2. Pathogénèse, patho-biologie et physio-pathologie

Les facteurs à l'origine de la BPCO, ses manifestations biologiques, structurelles et physiologiques sont présentés sur la *figure 2* et développés dans les paragraphes ci-dessous.



**Figure 2. Pathogénèse, patho-biologie et physio-pathologie de la BPCO menant à l'obstruction des voies aériennes et aux manifestations cliniques.**

Adapté du GOLD report 2022 (19).

### Pathogénèse

La BPCO est le résultat final d'interactions entre gènes et facteurs de risque environnementaux tout au cours de la vie, qui vont endommager les poumons et/ou modifier le processus physiologique de vieillissement (3).

Si le tabac est reconnu comme le facteur de risque environnemental principal dans la BPCO (8), d'autres facteurs environnementaux ont été associés à la survenue de la pathologie (20) : ainsi, l'exposition à la biomasse (substance biologique dérivée de végétaux ou de débris animaux, comme par exemple le charbon, la sciure de bois, etc...(21)), l'exposition professionnelle (poussières organiques ou non organiques, agents chimiques et fumées (22)) et la pollution de l'air sont retrouvés comme associés avec la BPCO.

Les facteurs génétiques pourraient également jouer un rôle dans la survenue de la BPCO, et plusieurs régions génomiques influençant la susceptibilité à la BPCO ont été identifiées (23).

### Patho-biologie

La BPCO induit des changements inflammatoires et structuraux au niveau des voies aériennes, du parenchyme pulmonaire et du système vasculaire pulmonaire (24).

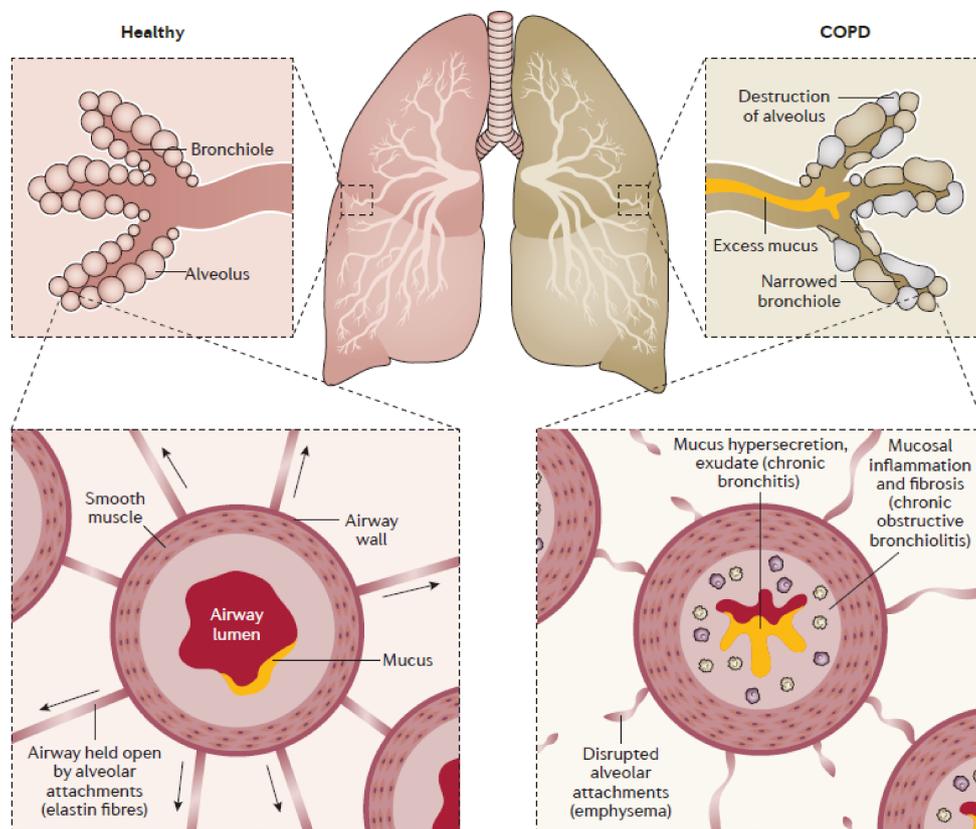
L'inflammation observée au niveau des poumons des pBPCO apparaît être une modification de la réponse inflammatoire normale en réponse aux toxiques inhalés comme la fumée de tabac (3). Cette inflammation se traduit par une augmentation du nombre de macrophages, des neutrophiles et des lymphocytes dans les voies aériennes, le parenchyme et les vaisseaux pulmonaires (25). Cette inflammation pulmonaire peut également être accompagnée d'une inflammation systémique (26), potentiellement impliquée dans le développement de comorbidités (27).

La combinaison de l'exposition aux toxiques et l'inflammation conduit à des dommages du tissu pulmonaire, résultant en un remodelage du poumon (28). Ce remodelage peut conduire à une fibrose avec l'épaississement des parois des voies aériennes et la réduction de la

lumière bronchique, mais également à un emphysème avec la destruction du parenchyme pulmonaire (28).

### Physio-pathologie

La physio-pathologie de la BPCO se caractérise principalement par une obstruction des débits aériens (conséquence des atteintes des voies aériennes et de la destruction du parenchyme pulmonaire (3))(figure 3) et par des anomalies des échanges gazeux (causées par les atteintes structurelles des voies aériennes, parenchyme et vaisseaux pulmonaires (3)).



**Figure 3. Obstruction du débit aérien dans la BPCO.**

Dans des poumons non-atteints (« healthy » sur la figure), les petites voies aériennes (bronchioles) sont maintenues ouvertes par les attaches alvéolaires qui contiennent des fibres d'élastine. En cas de BPCO (« COPD » sur la figure), les petites voies aériennes sont rétrécies par l'épaississement des parois des bronchioles dû à l'inflammation et à la fibrose, par la rupture des attaches alvéolaires ainsi que par l'occlusion de la lumière bronchique (due au mucus et à l'exsudat inflammatoire). Figure tirée de Rabe et Watz (29). Reproduit avec permission (licence Springer Nature numéro 5600120289163).

### 1.1.3. Symptômes

Les symptômes respiratoires majeurs de la BPCO sont la dyspnée, l'encombrement bronchique, la toux et la respiration sifflante (*wheezing*) (3).

La dyspnée est définie comme « une expérience subjective d'inconfort respiratoire qui consiste en des sensations qualitativement distinctes qui varient en intensité » (30). La dyspnée est complexe et multifactorielle (30) et est le symptôme le plus fréquent dans la BPCO, étant éprouvée par 70 à 99% des pBPCO (31–33). La toux, l'encombrement bronchique et la respiration sifflante sont donc les autres symptômes les plus prévalents chez les pBPCO, étant rapportés par environ 50 à 60% des pBPCO (31–33).

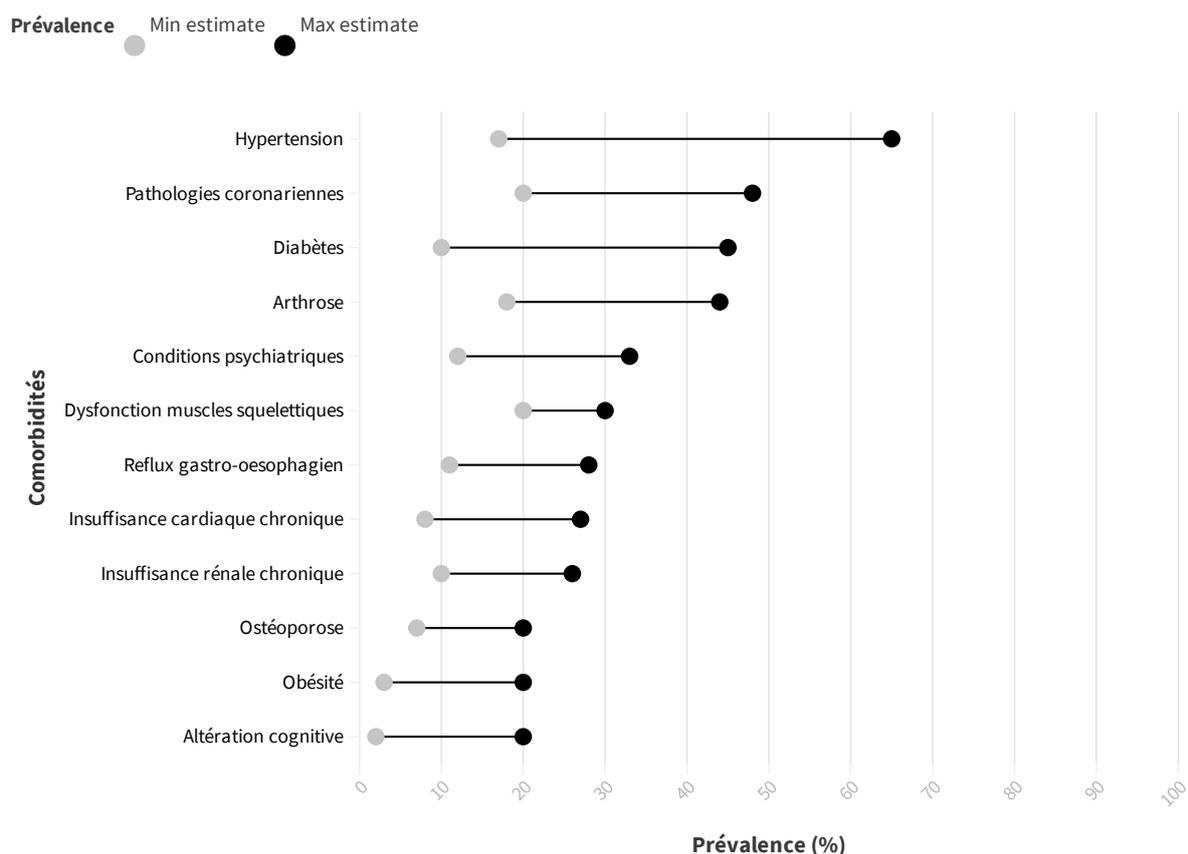
### 1.1.4. Comorbidités

La BPCO est une pathologie respiratoire chronique, néanmoins, son évolution est associée à la présence de fréquentes et nombreuses autres maladies ou atteintes (appelées comorbidités) (34). La présence de ces comorbidités est associée à une dégradation supplémentaire de la QdV des personnes (4).

### Prévalence

Selon Vanfleteren et al., 98% des pBPCO sont atteints d'au moins une comorbidité, et 53% d'entre elles par quatre comorbidités ou plus (35).

Les comorbidités les plus fréquentes sont l'hypertension, les pathologies coronariennes, les diabètes, l'arthrose, les pathologies psychiatriques et la dysfonction des muscles squelettiques (3,4,35–38) (*figure 4*).



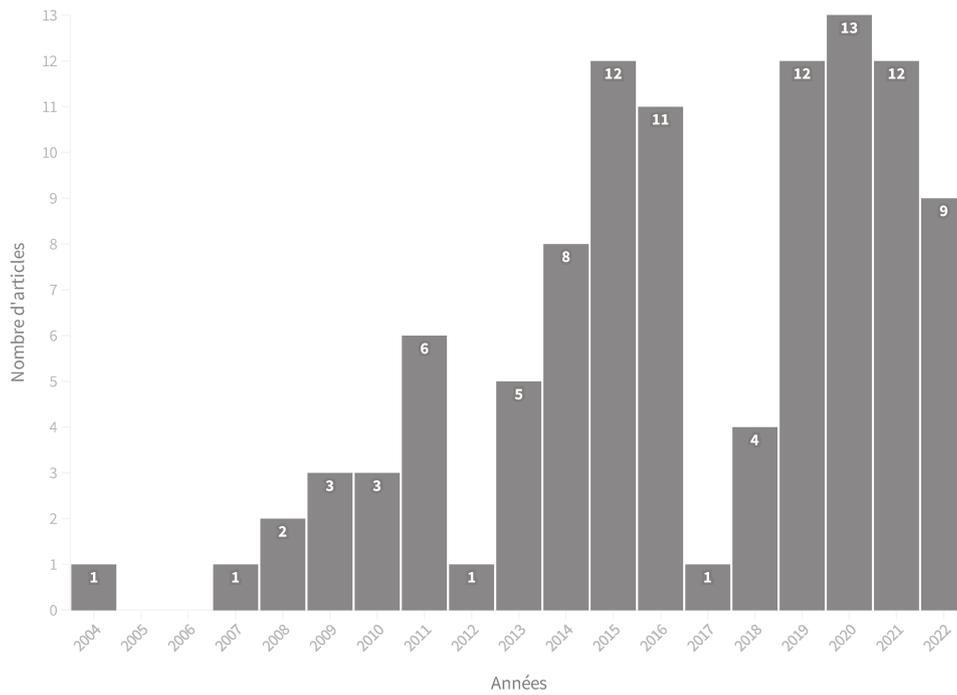
**Figure 4. Prévalences estimées des comorbidités chez les personnes atteintes de BPCO.**

Données issues de (3,4,35–38). Les cercles gris représentent les prévalences minimales retrouvées dans la littérature, les cercles noirs représentent les prévalences maximales retrouvées dans la littérature.

### Impact

Ces comorbidités ont un impact négatif sur plusieurs domaines dans la BPCO, dont les symptômes, la capacité à l'exercice, la QdV ainsi que la mortalité (4).

Parmi ces nombreuses et fréquentes comorbidités, des recherches ont été menées à partir des années 2000 sur les domaines du contrôle postural, des chutes et de la peur de chuter dans la population de pBPCO. A notre connaissance, Butcher et al. ont ainsi été les premiers à explorer les troubles du contrôle postural dans cette population, en 2004 (39). Leurs résultats ont ouvert un champ d'investigation, pour lequel l'intérêt des chercheurs a été globalement croissant depuis lors (*figure 5*).

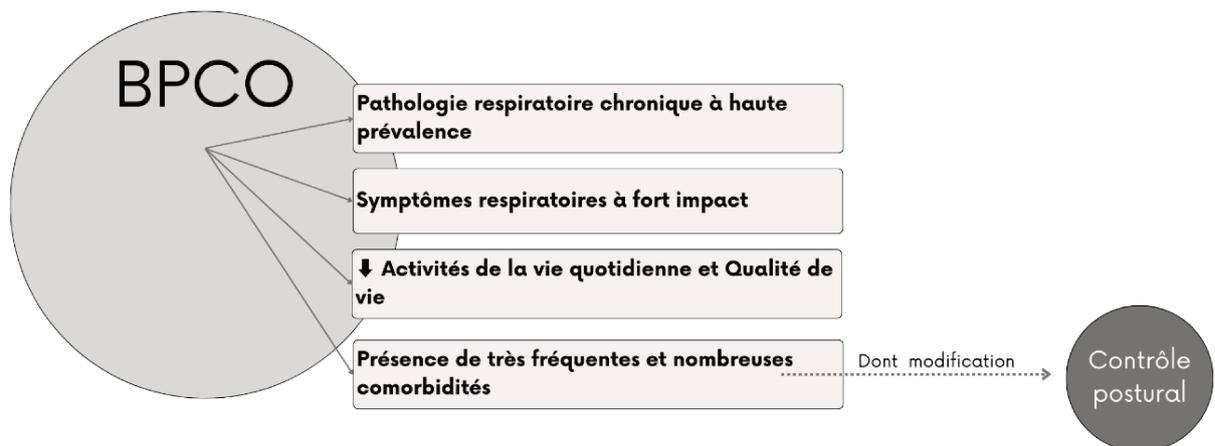


**Figure 5. Nombre d'articles sur le contrôle postural dans la BPCO indexés sur Medline par année.**

La recherche est effectuée est (pulmonary disease, chronic obstructive[MeSH Terms]) AND (balance, postural[MeSH Terms]) au 30/06/2023.

### 1.1.5. Point d'étape

Cette première partie nous a permis de faire un état des lieux global sur la BPCO (figure 6).

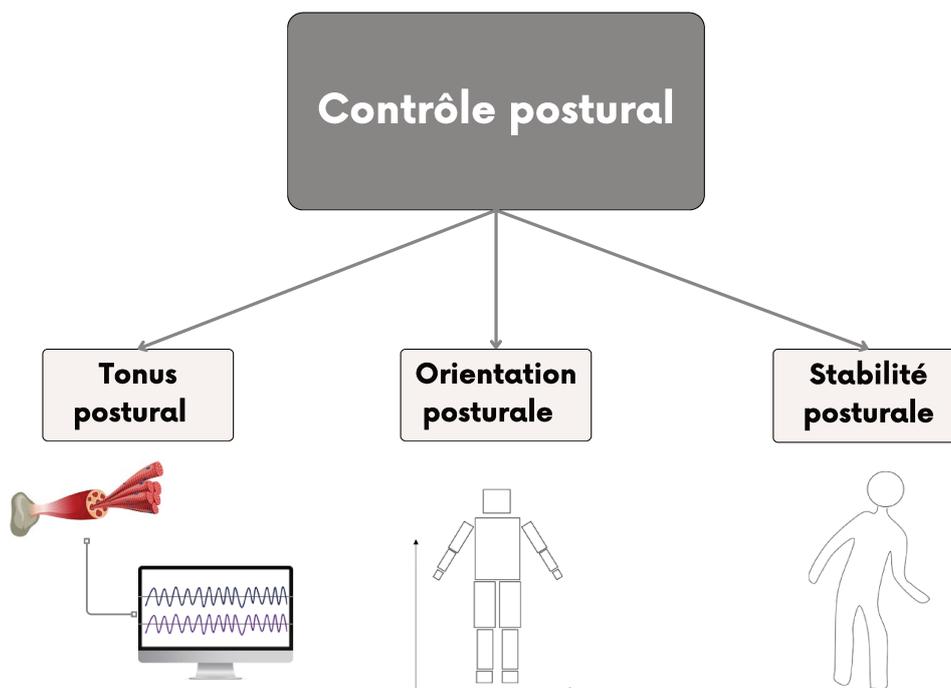


**Figure 6. Résumé graphique de la partie sur la BPCO.**

## 1.2. Le contrôle postural

### 1.2.1. Définition et processus neurophysiologiques

Le contrôle postural est une compétence motrice complexe dépendante de l'interaction de multiples processus sensori-moteurs (40). Il peut être défini comme la compétence ou l'acte visant à atteindre, maintenir ou restaurer un état d'équilibre durant toute posture ou activité de la vie humaine (6). L'équilibre humain pouvant lui-même être défini comme un concept multidimensionnel, se référant à la capacité d'une personne à ne pas tomber (6). Ainsi les trois objectifs majeurs du contrôle postural sont la production du tonus postural, de l'orientation posturale et de la stabilité posturale (7,41)(figure 7).

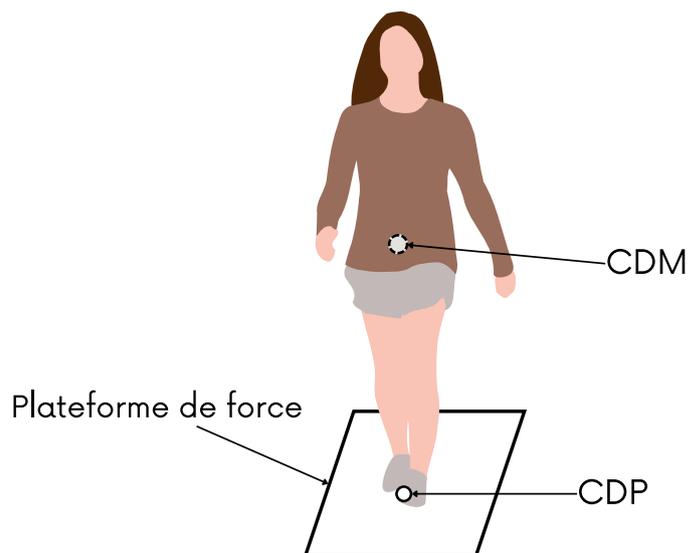


**Figure 7. Résumé graphique des rôles principaux du contrôle postural.**

Crédit : L'illustration musculaire est une image de brgfx sur Freepik.

Le tonus postural correspond au tonus musculaire actif et passif des muscles qui ont pour objectif de contrer la gravité en stabilisant les articulations (41). L'orientation posturale est le positionnement des segments du corps humain les uns par rapport aux autres et par rapport à l'environnement, alors que la stabilité posturale est la capacité d'une personne à maintenir,

atteindre ou rétablir un état d'équilibre et à ne pas tomber (41). Mécaniquement, la stabilité posturale est la condition visant à stabiliser le centre de masse (CDM) du corps en réponse à des perturbations internes et externes (7,40). Le CDM représente un point virtuel autour duquel la masse corporelle est répartie équitablement dans toutes les directions (41,42) et correspond à la moyenne pondérée des CDM de chaque segment du corps (42). Ainsi, les paramètres en lien avec le CDM (comme par exemple les déplacements ou vitesses du CDM (43,44) ou les marges de stabilité (45)) sont des options intéressantes pour évaluer le contrôle postural et sont fréquemment employées dans cet objectif (46), tout comme les paramètres liés au centre de pression (CDP) (qui est défini comme le point moyen d'application des forces d'action plantaire au sol, couramment évalué sur plateforme de force (47)) (*figure 8*).

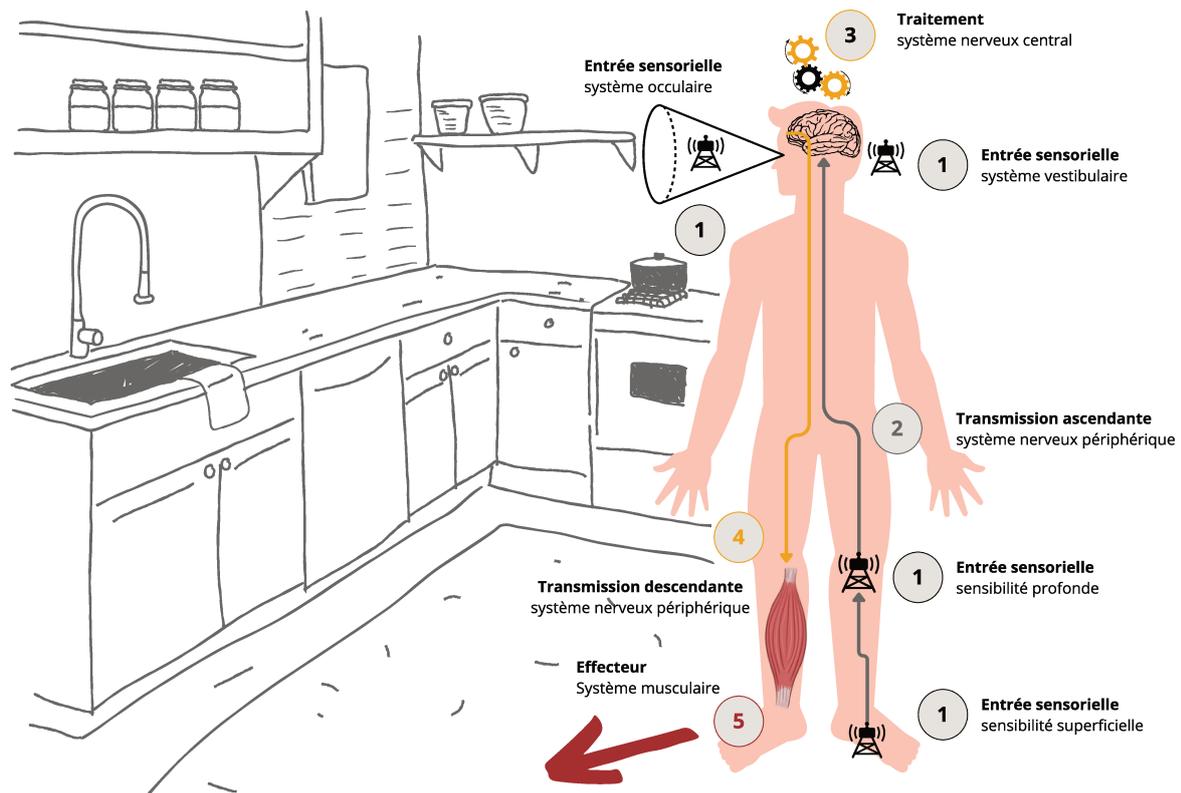


**Figure 8. Représentation graphique du centre de masse et du centre de pression.**

Abréviations : CDM, Centre de Masse ; CDP : centre de pression.

Ainsi, le contrôle postural est une compétence centrale au bon fonctionnement de la vie éveillée humaine (6). Le contrôle postural est maintenu à travers l'action continue de systèmes sensori-moteurs (*figure 9*). Les entrées sensorielles (visuelles, vestibulaires, proprioceptives et cutanées) fournissent des informations sur l'orientation du corps dans l'espace et sur les

conditions environnementales (41). L'intégration des informations afférentes se fait au niveau du système nerveux central (7). Les réponses posturales peuvent donc ensuite être sélectionnées en fonction des expériences antérieures, du degré de stabilisation posturale et de l'environnement (7).



**Figure 9. Représentation graphique des systèmes interagissant dans le contrôle postural.**

Le numéro [1] désigne la captation des informations par les différentes entrées sensorielles, le numéro [2] la transmission du signal afférent de l'entrée vers le système nerveux central, le numéro [3] l'intégration et le traitement par le système nerveux central, le numéro [4] la transmission du signal efférent du système nerveux central vers les effecteurs musculaires et le numéro [5], l'action consécutive générée par le système musculaire effecteur.

### Entrées sensorielles impliquées

Les entrées sensorielles sont l'entrée visuelle, l'entrée somato-sensorielle et l'entrée vestibulaire. L'entrée visuelle, grâce à l'organe œil (et particulièrement la rétine) (48) fournit des informations issues de la vision sur l'organisation spatiale de l'environnement, les repères de verticalité ou la perception du mouvement (41,49). Les entrées somato-sensorielles comprennent les mécanorécepteurs de la peau, les récepteurs à la pression des tissus

profonds, les fuseaux musculaires, les organes de Golgi et les récepteurs articulaires (50). Ils sont responsables des sensibilités extéroceptive et proprioceptive et fournissent donc des informations sur les contacts avec l'environnement, la position des segments du corps ou leur mouvement (7). Enfin, l'entrée vestibulaire, par l'intermédiaire des afférences issues des organes otolithiques et des canaux semi-circulaires du vestibule, donne des informations sur la verticalité ainsi que sur la perception du mouvement dans toutes les directions (7).

### Intégration centrale

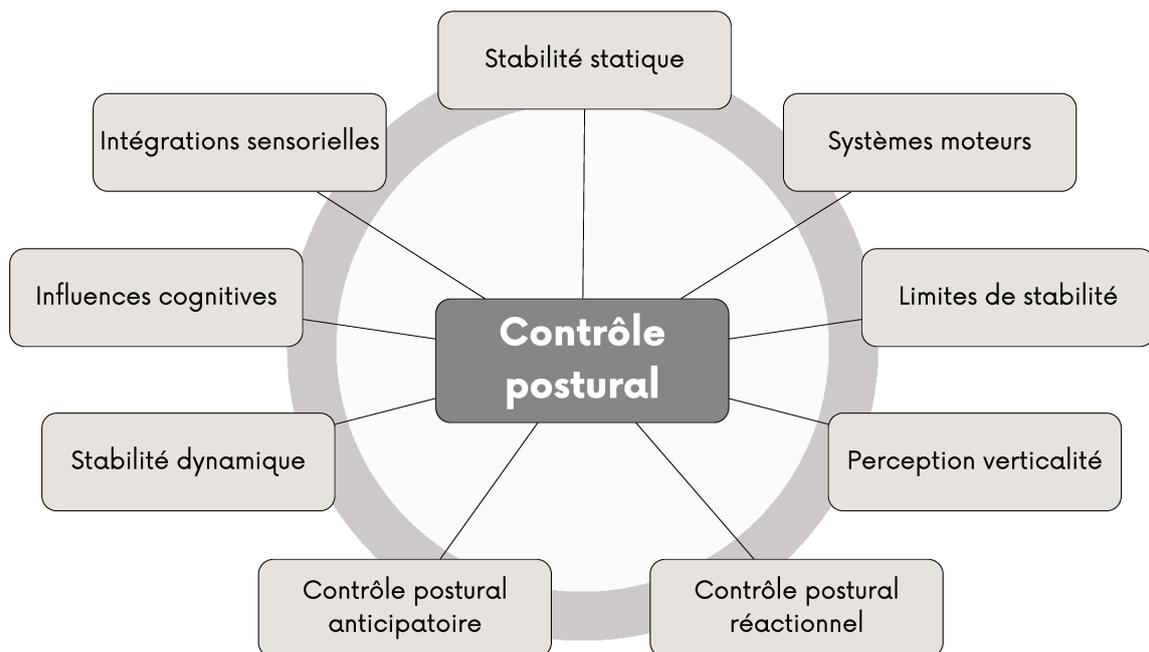
Le système nerveux central a un rôle de traitement des informations sensorielles et de commande dans le contrôle postural (7). Les informations issues des entrées sensorielles convergent dans la moelle épinière, les noyaux vestibulaires, le tronc cérébral, le thalamus, le cervelet et le cortex cérébral et interagissent ensemble pour produire une représentation (ou modèle interne) de la position et des mouvements du corps en fonction de l'environnement (7). La voie descendante organise l'action musculaire en fonction des ajustements jugés nécessaires par le système nerveux central (49).

L'intégration centrale des informations sensorielles et donc la réponse commandée par le système nerveux central, sont également influencées par plusieurs facteurs cognitifs, comme l'attention et les émotions, les expériences antérieures ou la perception d'un danger (7).

#### *1.2.2. Cadre conceptuel du contrôle postural*

Un cadre conceptuel est, selon la définition de Jabareen, « *un réseau ou ensemble de concepts liés entre eux qui, ensemble, fournissent une compréhension globale d'un sujet ou d'un phénomène* » (51). Des cadres conceptuels ont été proposés pour de nombreux concepts de santé et en recherche (52–54), leur intérêt résidant dans le fait qu'ils proposent un résumé graphique accessible et synthétique, en identifiant les domaines ou systèmes importants (55). Ainsi ils présentent des outils de support intéressants autant pour les cliniciens que pour les chercheurs. Ils apparaissent particulièrement intéressants dans le cas de concepts complexes,

comme ici avec le contrôle postural. Plusieurs cadres conceptuels ont ainsi été proposés autour du contrôle postural (40,56,57). La proposition de Fay Horak est l'une des plus communément employée de nos jours et est présentée sur la *figure 10*, dans sa version modifiée par Sibley et al. (40,58).



**Figure 10. Cadre conceptuel du contrôle postural et de ses composants impliqués.**  
Adapté de Horak et al. (40) et Sibley et al. (58).

Ce cadre conceptuel présente une validité établie : il a été montré que si un ou plusieurs de ces composants étaient modifiés, alors le contrôle postural était impacté (59). D'autre part, il permet l'étude précise et la caractérisation d'une modification du contrôle postural (58), mais est également un support à l'évaluation et aux interventions en cas d'altération du contrôle postural : plusieurs outils d'évaluation fonctionnelle du contrôle postural ont été développés à partir de ce cadre conceptuel (notamment le BESTest et ses dérivés, Mini-BESTest, Brief-BESTest) (59–61), et il a servi de base conceptuelle à des interventions pour améliorer l'équilibre de patients dans plusieurs programmes (62,63). Le cadre conceptuel proposé par

Horak et adapté par Sibley détaille neuf composants impliqués dans le contrôle postural, présentés dans le *tableau 1*.

**Tableau 1. Détail des composants du cadre conceptuel du contrôle postural.** Selon Horak (40) et Sibley et al. (58)

Domaines initialement définis par Horak (40)	Adaptation par Sibley et al. (58)	Définition opérationnelle par Sibley et al. (58)
1. Contraintes biomécaniques	1. Stabilité statique	Habilité à maintenir la position du CDM dans une posture quand la base de support ne change pas (peut inclure posture pieds écartés, joints, unipodal...toute posture debout).
	2. Systèmes moteurs sous-jacents	Qualités musculaires (force, endurance, puissance, coordination).
	3. Limites de stabilité	Habilité à mobiliser le CDM aussi loin que possible dans les directions antéro-postérieures ou médio-latérale, à l'intérieur de la base de support.
2. Orientation dans l'espace	4. Perception de la verticalité	Habilité à s'orienter de façon appropriée en fonction de la gravité.
3. Stratégies de mouvement	5. Contrôle postural réactionnel	Habilité à retrouver la stabilité après une perturbation externe pour porter le CDM à l'intérieur de la base de support par l'intermédiaire de mouvements correctifs (ex. stratégies de cheville, hanche, stepping).
	6. Contrôle postural anticipatoire	Habilité à adapter le CDM avant un mouvement volontaire (ex. montée du bras, tourner la tête).
4. Contrôle dynamique	7. Stabilité dynamique	Habilité à exercer un contrôle continu du CDM quand la base de support change (ex. pendant la marche et les transitions posturales).
5. Stratégies sensorielles	8. Intégrations sensorielles	Habilité à pondérer l'information sensorielle (vision, vestibulaire, somatosensorielle) quand l'entrée sensorielle est altérée.
6. Traitement cognitif	9. Influences cognitives	Habilité à maintenir la stabilité tout en répondant à des commandes durant la tâche ou mener à bien la tâche additionnelle (ex. double tâche).

En cas d'atteinte du contrôle postural, par exemple dans un cadre pathologique, l'emploi de ce cadre conceptuel peut être intéressant pour caractériser, décrire et comprendre de façon plus détaillée cette atteinte (64,65).

### 1.2.3. Conséquences d'une altération du contrôle postural

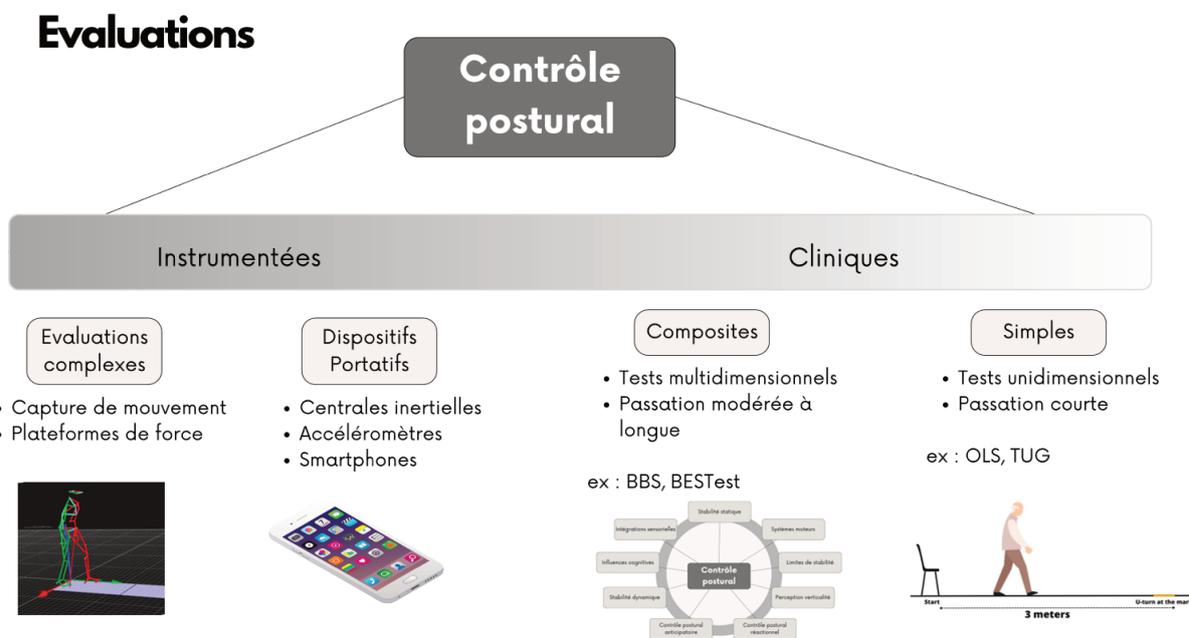
Le contrôle postural peut être modifié et sa performance diminuée en raison de pathologies ou de modifications physiologiques liées à l'âge (7,41). Cette altération du contrôle postural

peut avoir des conséquences, et la plus évidente d'entre-elles est l'augmentation du risque de chute. En effet, plusieurs revues de littérature identifient l'altération du contrôle postural comme un important facteur de risque de chutes chez les personnes âgées (66,67), comme dans de nombreuses pathologies (68–70). Les chutes sont elles-même considérées comme une préoccupation de santé publique en raison de leurs conséquences néfastes en terme de morbidité, mortalité et de QdV (71). L'association entre contrôle postural et QdV a également été rapportée par plusieurs études (72–75), montrant que les personnes avec un moins bon contrôle postural avaient des scores de QdV altérés. Enfin, il a aussi été décrit une association entre contrôle postural et capacité à réaliser les activités de la vie quotidienne (AVQ) (que l'on peut définir comme les tâches fondamentales nécessaires pour prendre soin de soi de manière indépendante (76)) : la réduction des habiletés du contrôle postural est liée à une moins bonne réalisation des actes du quotidien, voire à une impossibilité de réalisation (77–79).

#### *1.2.4. Evaluation du contrôle postural*

L'évaluation du contrôle postural est un enjeu important pour les cliniciens impliqués comme pour les chercheurs. Les cliniciens doivent bénéficier d'une évaluation performante capable de détecter les troubles de contrôle postural et d'identifier les composants plus ou moins modifiés, mais aussi de guider leur plan d'intervention. Quant aux chercheurs, il est primordial pour eux d'avoir des outils capables de caractériser précisément le contrôle postural afin de mieux comprendre les mécanismes impliqués ou d'identifier les potentielles conséquences de ses modifications. Dans ce cadre, plusieurs types d'évaluations ont été proposées, et s'il est difficile de proposer une classification avec des catégories fermées et définitives, nous les décrirons par simplification en séparant les évaluations instrumentées et les évaluations cliniques (au sens de l'observation directe sur une personne donnée (80)) (*figure 11*). Il nous semble important de préciser que cette compartimentation est employée dans un souci de

clarté de présentation et qu'au vu des possibilités actuelles, certaines évaluations sont cumulables et que d'autres peuvent appartenir aux deux catégories.



**Figure 11. Types d'évaluations du contrôle postural disponibles.**

Abréviations : OLS, test d'équilibre unipodal ; TUG, timed up and go test ; BBS, Berg balance scale.

### Évaluations Instrumentées

On retrouve dans cette catégorie les évaluations avec des dispositifs portatifs et des évaluations plus complexes (dites *de laboratoire*). Les dispositifs portatifs sont les centrales inertielles (81), les accéléromètres (82) ou les smartphones (83). Les évaluations complexes sont représentées par les solutions de capture de mouvement (46) et également les évaluations sur plateforme de force (qui peuvent être associées avec la capture de mouvement) (47). L'objectif de toutes ces évaluations instrumentées est de fournir des métriques reflétant le contrôle postural à travers des paramètres liés au CDM, au CDP ou aux déplacements/oscillations du corps, au cours de tâches dynamiques ou statiques. La précision de ces métriques est influencée par la méthode et les outils de mesure employés : la capture

de mouvement rend possible la détermination de la position du CDM, et si elle peut être techniquement complexe (84), elle est considérée par certains chercheurs et spécialistes comme la méthode la plus précise et directe de mesure du contrôle postural (43). A l'opposé, l'utilisation des dispositifs portatifs apparaît comme plus simple techniquement et plus facilement utilisable sur le terrain, mais est moins précise pour le calcul de ces paramètres de contrôle postural (84).

De nombreux paramètres liés au CDM ont été proposés dans la littérature pour rendre compte du contrôle postural (45,85,86). Ainsi, parmi les paramètres de CDM pertinents dans l'évaluation du contrôle postural, on peut citer :

- les paramètres positionnels et dynamiques du CDM : ils sont le reflet direct de la position, des déplacements (longueur du déplacement, amplitude du déplacement (87)), de la vitesse (moyenne ou pic (88,89)) ou de l'accélération du CDM (90). Ces paramètres sont considérés comme une mesure pertinente reflétant la stabilité humaine et donc le contrôle postural (43). Les indices de variabilité (comme l'écart-type ou la variance (91)) de ces paramètres sont également employés pour compléter l'analyse du comportement du CDM.

- les paramètres associant CDM et base de support (marges de stabilité) : la notion de marges de stabilité a été proposée par Hof (92), pour permettre de rapporter le comportement du CDM à la base de support au cours de tâches dynamiques (majoritairement à la marche) (93). Dans ce concept, la grandeur de la marge de stabilité (le rapport entre la position extrapolée du CDM en fonction de la vitesse de déplacement et l'extrémité de la base de support) donne un reflet de la stabilité de la personne (45). Les marges de stabilité sont de plus en plus employées dans les recherches dans le domaine du contrôle postural pour évaluer ce dernier (45).

Des débats existent sur la validité, la signification et l'interprétation de ces paramètres de CDM (85), et il n'existe pas, à notre connaissance, de consensus sur leur utilisation. Néanmoins, les paramètres du CDM ont le potentiel de renseigner sur un nombre important de composants du contrôle postural (tels que définis dans le cadre conceptuel de Horak (40) au [1.2.2](#)), car la

capture du mouvement permet une grande liberté dans les conditions et les tâches évaluées (84).

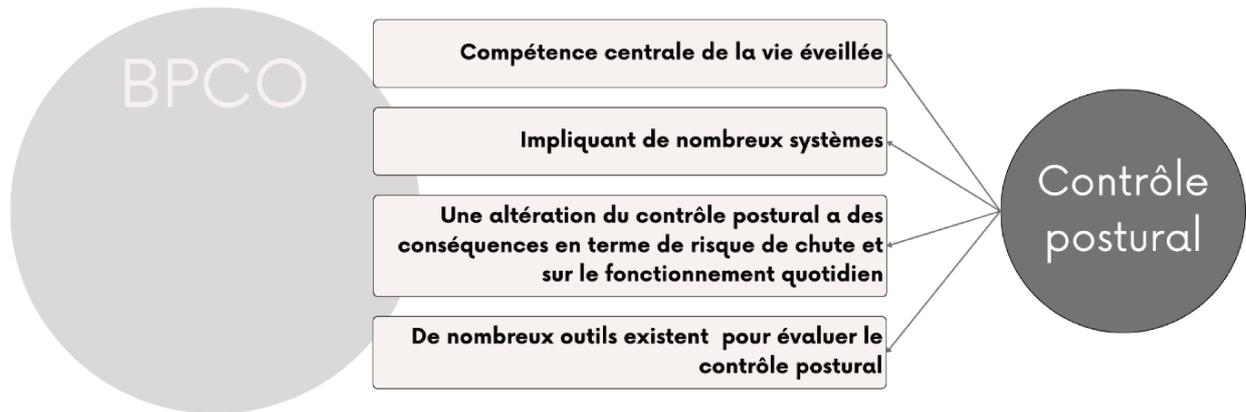
Les paramètres de CDP sont également très fréquemment employés pour l'évaluation du contrôle postural, majoritairement en situation statique, et une grande variété de paramètres ont été proposés, tout comme pour le CDM. Souhaitant nous concentrer principalement sur les paramètres de CDM dans les contributions proposées dans cette thèse, nous ne développerons pas de façon complète les paramètres du CDP (*pour une revue de littérature complète sur le sujet voir Quijoux et al. (94)*).

### Évaluations cliniques

Dans cette catégorie, on retrouve des tests simples (comme le test d'équilibre unipodal (OLS) ou le timed up and go test (TUG)), et des tests composites (comme le Berg balance scale (BBS), ou le BESTest). Les tests simples ne peuvent évaluer qu'un nombre limité de composants du contrôle postural de par leur nature (58), mais sont rapides de passation, possèdent souvent de robustes qualités métrologiques (c'est le cas du TUG (95) et du OLS (96)) et sont beaucoup employés en recherche (97) comme en pratique clinique (98). Dans le cas des tests composites, ils regroupent plusieurs tests simples et couvrent donc une partie plus importante des composants du contrôle postural : selon la revue de Sibley et al. (58) plusieurs tests composites couvrent au moins six composants du contrôle postural (respectivement sept à neuf pour le BESTest et ses dérivés et six pour le BBS). Les tests composites les plus performants possèdent de robustes qualités métrologiques (c'est le cas du BBS (99) et du BESTest et ses dérivés (100–102)) mais sont néanmoins plus longs de passation. Globalement tous ces tests cliniques sont utilisables en pratique clinique comme en recherche, autant à visée de détection des troubles de contrôle postural et de risque de chute, que d'évaluation complète des composants du contrôle postural et d'aide à la construction de l'intervention de rééducation.

### 1.2.5. Point d'étape

Le résumé graphique de cette partie est présenté sur la *figure 12* ci-dessous. La partie suivante présentera le lien entre BPCO et contrôle postural.



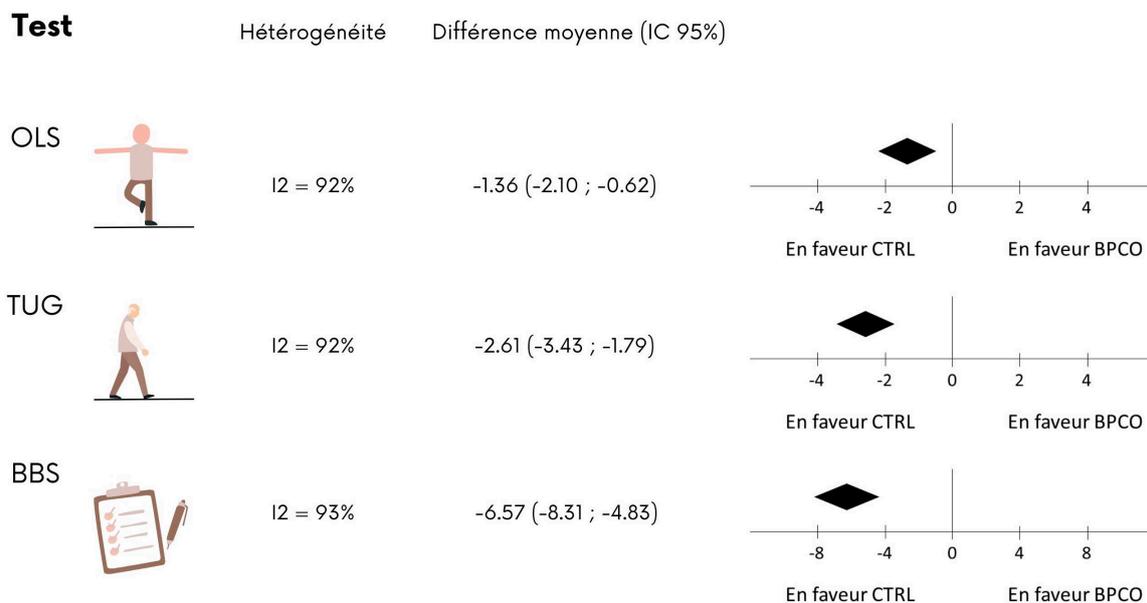
**Figure 12.** Résumé graphique de la partie sur le contrôle postural.

### 1.3. Le contrôle postural dans la BPCO

#### 1.3.1. État des lieux général

Plusieurs revues systématiques avec méta-analyses concluent à une altération du contrôle postural des personnes atteintes de BPCO par rapport à des personnes non-atteintes par la pathologie (103–106).

Le travail de Núñez-Cortés et al. (106), la méta-analyse disponible la plus récente, retrouve une altération à la fois sur des tests d'équilibre cliniques simples (OLS et TUG) et composite (BBS). Les résultats de cette méta-analyse sont présentés sur la *figure 13* ci-dessous.



**Figure 13. Résultats principaux des méta-analyses comparant le contrôle postural des personnes avec et sans BPCO.**

Données issues de Núñez-Cortés et al. (106). BBS : Berg balance scale ; BPCO : broncho-pneumopathie chronique obstructive ; CTRL : contrôles ; IC : intervalle de confiance ; OLS : test d'équilibre unipodal ; TUG : timed up and go test. Le I<sup>2</sup> présente un indice de l'hétérogénéité des études incluses dans la méta-analyse, traduisant des valeurs basses (0<I<sup>2</sup><25%), modérées (25<I<sup>2</sup><50%), substantielles (50<I<sup>2</sup><75%) et considérables (75<I<sup>2</sup><100%) d'hétérogénéité (107).

Une réduction des scores des tests de contrôle postural est donc rapportée chez les pBPCO comparativement aux participants *contrôles*. Ces différences sont proches ou excèdent les indices de différences minimales détectables ou de différences minimales cliniquement

importantes pour le TUG (108–110) et le BBS (109,111,112). Ceci soutient la pertinence clinique de cette altération du contrôle postural chez les pBPCO. Néanmoins, pour l'OLS, la différence retrouvée est inférieure aux différences minimales détectables établies chez les pBPCO ou les personnes âgées (109,113).

Cette modification du contrôle postural semble présente autant chez les femmes que les hommes atteints de BPCO (105). Il est également rapporté la présence de cette altération à tous les stades de sévérité de la pathologie (104).

### Facteurs associés

La méta-analyse de Loughran et al. (105) retrouvait une association significative faible à modérée entre la force des quadriceps et le contrôle postural ; la réduction de la force étant commune dans la BPCO (37), cette association pourrait, en partie, expliquer les modifications de contrôle postural retrouvées. La précédente méta-analyse évaluait également les associations avec l'activité physique et la capacité à l'exercice, paramètres pour lesquels les associations étaient présentées comme incertaines (105). La sévérité de la BPCO, estimée par le Volume Expiratoire Maximal en une seconde (VEMS), n'est pas retrouvée comme associée avec les capacités de contrôle postural chez les pBPCO (105).

Comme dans la population générale, le lien est établi entre une atteinte du contrôle postural et une augmentation du risque de chute chez les pBPCO (114). Il faut noter que les prévalences de chutes sont élevées chez les pBPCO (114): 30% des pBPCO seraient chuteurs et 24% d'entre eux considérés comme chuteurs fréquents (plus de 2 chutes par an). Dans une population où l'ostéoporose est une comorbidité fréquente (4), le risque de fractures et de complications liées aux chutes est une préoccupation réelle (115,116). Enfin, il a été montré chez les pBPCO que l'altération du contrôle postural était associée à une peur de chuter accrue (117).

### 1.3.2. Synthèse et point d'étape

Si le constat d'une diminution des capacités du contrôle postural à l'échelle de la population de pBPCO par rapport à la population non atteinte par la pathologie est dorénavant bien établi dans les évaluations cliniques (104–106), des données précises sur les caractéristiques de cette altération sont nécessaires pour permettre sa meilleure compréhension. L'utilisation du cadre conceptuel du contrôle postural de Fay Horak (40) pourrait permettre de préciser les modifications établies pour chacun des composants du contrôle postural. Une synthèse de ce type n'a, à notre connaissance, pas encore été réalisée. D'autre part, si le lien entre altération du contrôle postural et risque de chute est bien décrit, d'autres associations potentielles avec cette altération, notamment en termes de réalisation des activités de la vie quotidienne (AVQ), sont également d'intérêt et doivent être explorées.

Comme indiqué sur la *figure 14*, nous proposons donc de réaliser un panorama de la littérature existante à travers une *scoping review*, qui sera développée dans le paragraphe à venir.

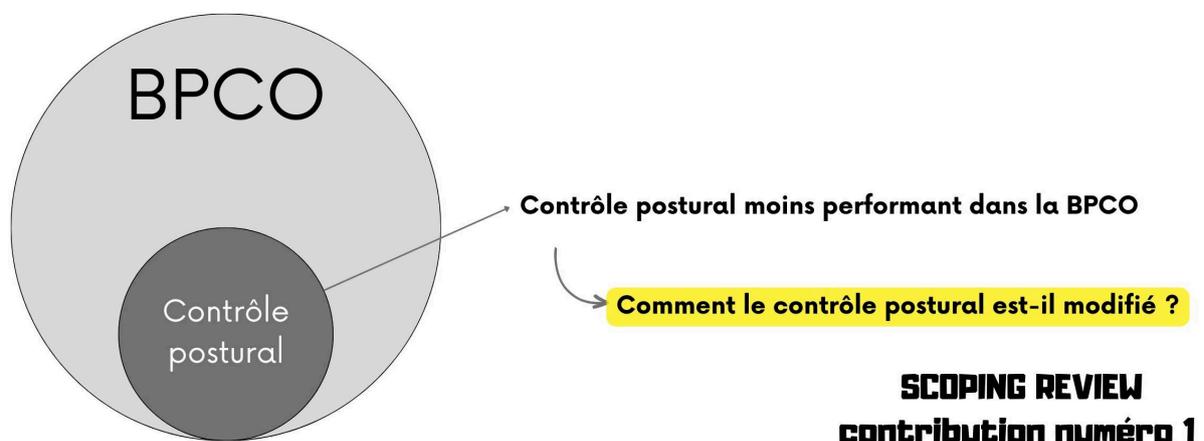


Figure 14. Résumé graphique de la partie traitant du contrôle postural dans la BPCO.

## 2. Caractéristiques des modifications du contrôle postural dans la BPCO

### 2.1. Rationnel de la scoping review

En considérant le contrôle postural selon le cadre conceptuel de Fay Horak (40), ensuite modifié par Kathryn Sibley (58), on conçoit que l'évaluation du contrôle postural doit prendre en compte un maximum de ses composants pour pouvoir réussir à l'objectiver efficacement et de façon complète. Les conclusions actuelles sur le contrôle postural des personnes atteintes de BPCO reposent sur des méta-analyses (105,106) réalisées sur le OLS, le TUG, et le BBS. Or, selon Sibley et al. (58), le nombre de sous-composants du contrôle postural investigués dans ces outils est respectivement de 2 sur 9, 3 sur 9 et de 6 sur 9 (tableau 2).

**Tableau 2. Détail des composants du contrôle postural évalués dans le OLS, le TUG et le BBS.** Selon Sibley et al. (58). BBS : Berg balance scale ; CP : contrôle postural ; OLS : test d'équilibre unipodal ; TUG : timed up and go test.

Test	Stabilité Statique	Systèmes moteurs	Limites de stabilité	Verticalité	CP réactionnel	CP anticipatoire	Stabilité dynamique	Intégration sensorielle	Influences cognitives	Ratio composants évalués
OLS	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	 2/9
TUG	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✗	✗	 3/9
BBS	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✓	✓	✗	 6/9

Ainsi les conclusions actuelles s'appuient sur des tests objectivant partiellement le contrôle postural et certains composants ( la perception de la verticalité, le contrôle postural réactionnel ou les influences cognitives) ne sont étudiés dans aucun des tests. Il existe donc un besoin de caractériser précisément le contrôle postural des personnes atteintes de BPCO à travers chaque composant, en déterminant si celui-ci est altéré ou non comparativement à des personnes contrôles, et si oui, les caractéristiques de ses modifications.

D'autre part, il a été établi dans la population générale une association entre un contrôle postural réduit et une réalisation plus difficile des AVQ (77–79). Or, les pBPCO ont des difficultés importantes dans un nombre conséquent d'AVQ (118). On peut émettre l'hypothèse qu'un des impacts potentiel de l'altération du contrôle postural chez les pBPCO réside dans des difficultés à réaliser les gestes du quotidien avec efficacité et sans risque de chute. Ainsi, le lien entre altération du contrôle postural et impact dans les gestes du quotidien des pBPCO doit être précisé.

Une *scoping review*, qui représente la première contribution originale de cette thèse (l'article publié dans *Disability and Rehabilitation* est disponible en version complète en [Annexe 1](#)), a donc été menée afin de répondre aux questions suivantes :

- Quels composants du contrôle postural sont modifiés dans la BPCO ? En cas de modifications, quelles en sont les caractéristiques ?
- Quel est le lien entre contrôle postural et activités de la vie quotidienne dans la BPCO ?

## **2.2. Méthodologie de la Scoping review**

Cette *scoping review* a été conduite selon les recommandations méthodologiques du Johanna Briggs Institute (JBI) pour les revues de ce type (119). Les objectifs, critères d'inclusion et méthodes ont été spécifiés par avance et documentés dans un protocole *a priori*, enregistré sur OSF.io le 02/03/2021 (120).

### 2.2.1. Critères d'inclusion

#### Participants

Cette revue considérait les études incluant des personnes avec BPCO comme définie par le Global Initiative for Obstructive Lung Disease (GOLD) (3). Tous les stades de la pathologie étaient considérés. Les patients devaient avoir au moins 18 ans. Cette revue excluait les études impliquant d'autres pathologies respiratoires chroniques (comme l'asthme, les pathologies interstitielles ou les bronchiectasies).

#### Concept

Le concept du contrôle postural et de ses composants (à travers le cadre conceptuel proposé par Horak (40)) était exploré dans cette revue. Ce modèle a été utilisé et adapté par Sibley et al. (58), qui ont établi une définition opérationnelle du cadre conceptuel. Cette adaptation inclut neuf composants précédemment définis dans ce manuscrit (au [1.2.2](#)).

Cette revue incluait des études s'intéressant au contrôle postural, ou au moins à l'un de ses composants, mais en lien avec les stratégies ou les performances globales du contrôle postural dans les conditions statiques et dynamiques. Ce travail considérait comme évaluation du contrôle postural tous les tests cliniques décrits par Sibley et al. (58) et les évaluations de laboratoire (analyses cinétiques et cinématiques dans les conditions statiques et dynamiques) (46). Les évaluations subjectives sans lien direct avec le contrôle postural étaient exclues de la revue.

#### Contexte

Le contrôle postural est dorénavant identifié comme une préoccupation importante pour l'évaluation et la prise en soin des pBPCO partout dans le monde et dans chaque type de prise en soin (104–106). Cette revue s'intéressait aux preuves disponibles sur le contrôle postural sans restriction géographique. Nous avons inclus des études avec la variété la plus large possible, aussi bien concernant le contexte des études (études en laboratoire, études en

ambulatoire, dans le cadre d'une hospitalisation, dans le cadre d'un programme de réhabilitation respiratoire), que les caractéristiques de la population incluse (vivant en habitation communautaire, en domicile personnel...).

### Types d'études

Cette *scoping review* considérait les études observationnelles (études descriptives, études de cohorte, études transversales, études cas-témoins), les études interventionnelles (essais randomisés contrôlés, essais contrôlés non-randomisés et les designs quasi-expérimentaux comme les études avant-après) et les revues systématiques. Les actes de congrès et la littérature grise étaient également considérés comme incluables, car ils représentent une importante source de preuves non-publiées qui peuvent avoir un impact sur les résultats et les conclusions de la revue (121,122).

#### *2.2.2. Stratégie de recherche*

La stratégie de recherche suivait la méthodologie en trois étapes, recommandée par le JBI. Premièrement, une recherche initiale a été menée sur Medline et la Cochrane Library, pour identifier des articles en lien avec nos questions de recherche. Les termes et les mots-clés utilisés dans les titres et résumés ont été employés pour développer une stratégie de recherche complète. Deuxièmement, la stratégie complète de recherche a été développée en incluant les informations de la première étape et complétée par des mots-clés spécifiques en lien avec chaque composant du contrôle postural. La recherche a été menée sur Medline, Google Scholar, Scielo and Cochrane Library. La stratégie de recherche complète est présentée dans l'[Annexe 2](#). La stratégie de recherche a été adaptée comme nécessaire pour chaque base de données. Pour la recherche sur Google Scholar, les 500 premiers résultats ont été étudiés (étant donné qu'un travail antérieur a montré que des sources pertinentes peuvent être retrouvées après les 300 premiers résultats (123)). La troisième et dernière étape

a consisté à examiner les liste des références des articles précédemment identifiés, à la recherche de sources additionnelles.

Une recherche de la littérature grise a été conduite sur OpenGrey et HAL (multidisciplinary open archive HAL). Si besoin, les reviewers (RP et OVH) ont contacté les auteurs pour des informations supplémentaires.

Les études publiées en anglais et en français étaient considérées pour inclusion. Les bases de données ont été consultées de leur création jusqu'au 3 mars 2021. Dans le cadre de la publication de cette *scoping review*, une mise à jour de la recherche a été réalisée à la demande de l'éditeur de *Disability and Rehabilitation* le 27 mai 2022.

### Sélection des sources

Toutes les citations identifiées ont été téléchargées sur le logiciel Rayyan (124). Deux membres de l'équipe (Romain Pichon et Olivier Van Hove) ont indépendamment examiné les titres, résumés et mots clés des citations identifiées et appliqué les critères d'inclusion. En cas d'informations incomplètes, le texte complet était examiné. Ensuite, les deux mêmes chercheurs ont indépendamment examiné les textes complets, en appliquant les critères d'inclusions. En cas de désaccord, une discussion argumentée était réalisée entre les deux reviewers et un troisième membre de l'équipe était consulté si la discussion ne permettait pas la décision. Les raisons de l'exclusion des sources qui ne respectaient pas les critères d'inclusions étaient rapportées et présentées dans la version finale de la revue. Les résultats complets des recherches étaient également rapportés dans la version finale et présentés selon un diagramme de flux respectant l'extension pour *scoping review* du *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA) (125).

### Extraction des données

Les données pertinentes étaient extraites des travaux inclus dans cette revue en utilisant un tableau d'extraction développé en lien avec les questions et objectifs de cette revue. Une

version pilote du tableau d'extraction a été testée préalablement à la réalisation de l'extraction des données. Comme planifié dans le protocole *a priori*, le tableau d'extraction a été modifié après le pré-test. La version finale du tableau est disponible à l'[Annexe 3](#).

## 2.3. Résultats

### 2.3.1. Etudes incluses

Le processus global et les différentes étapes de sélection décrits sur le diagramme de flux PRISMA (*figure 15*) nous ont permis de passer de 11 006 documents initiaux à 89 études incluses au final.

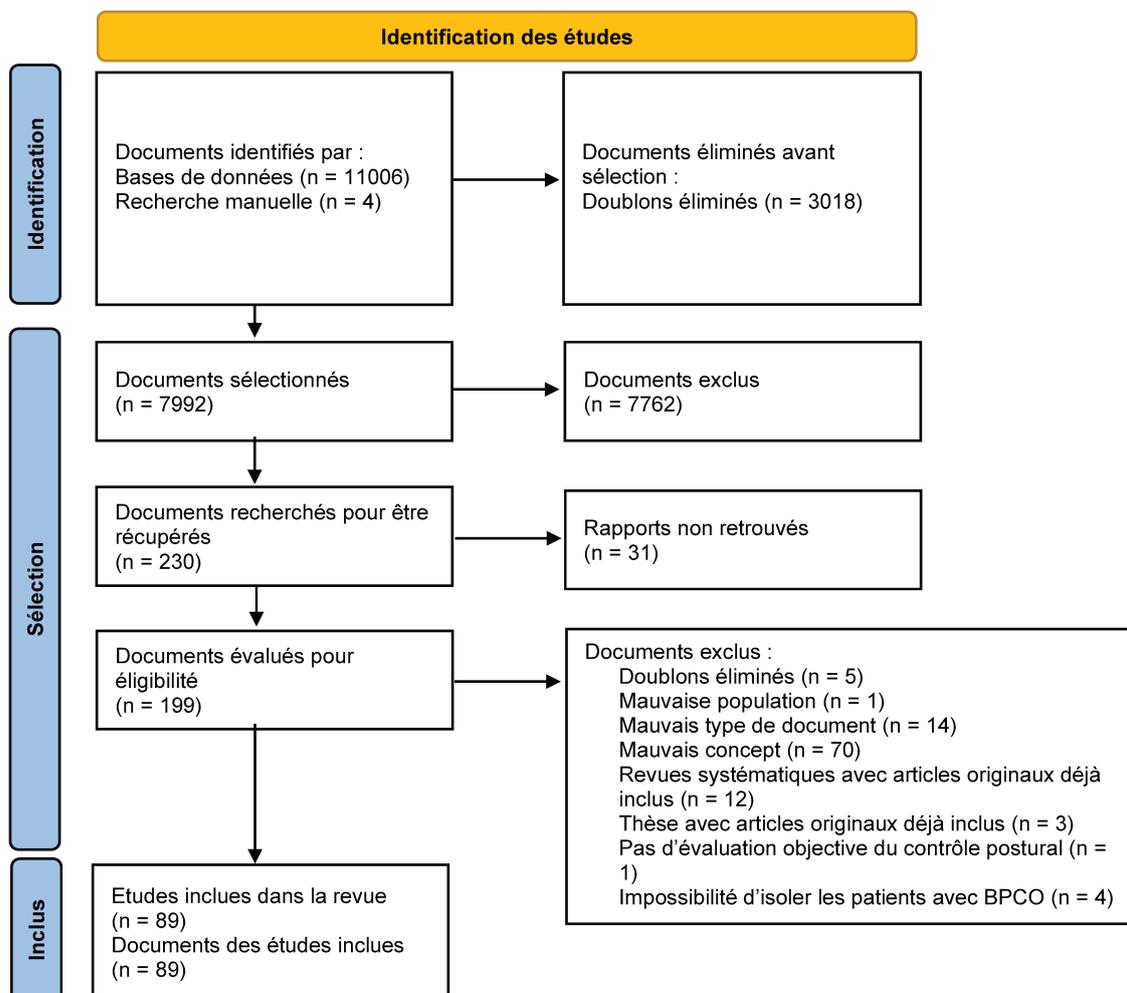
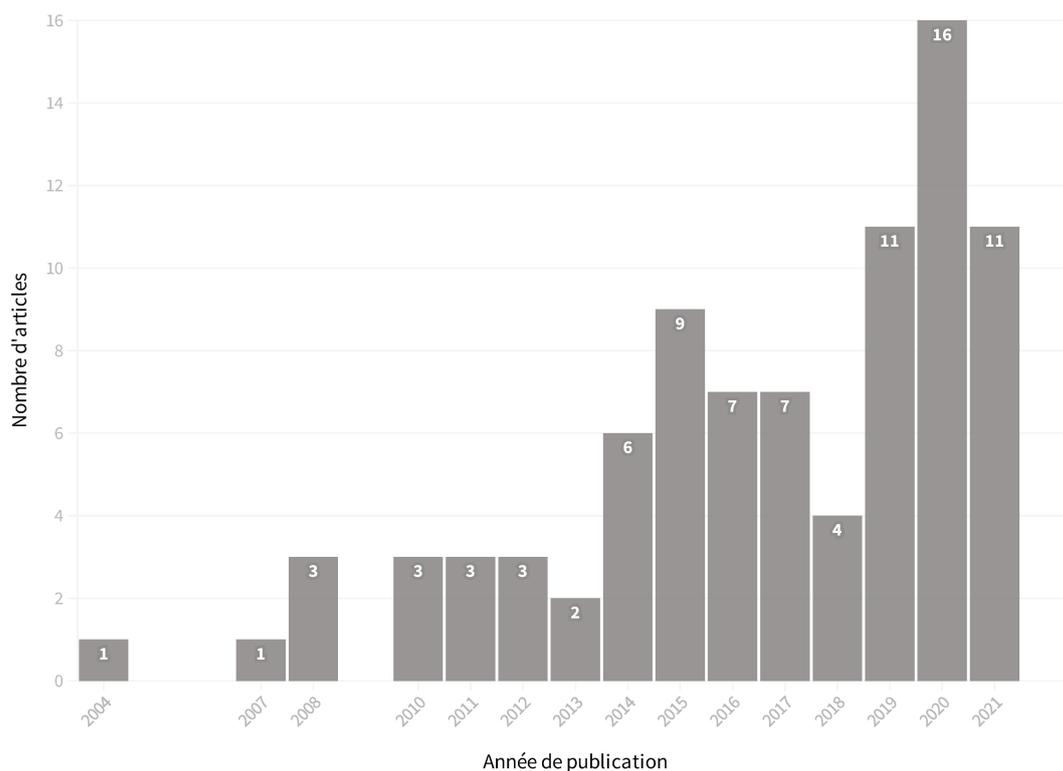


Figure 15. Diagramme de flux PRISMA de la scoping review.

### 2.3.2. Caractéristiques des études incluses

#### Année de publication

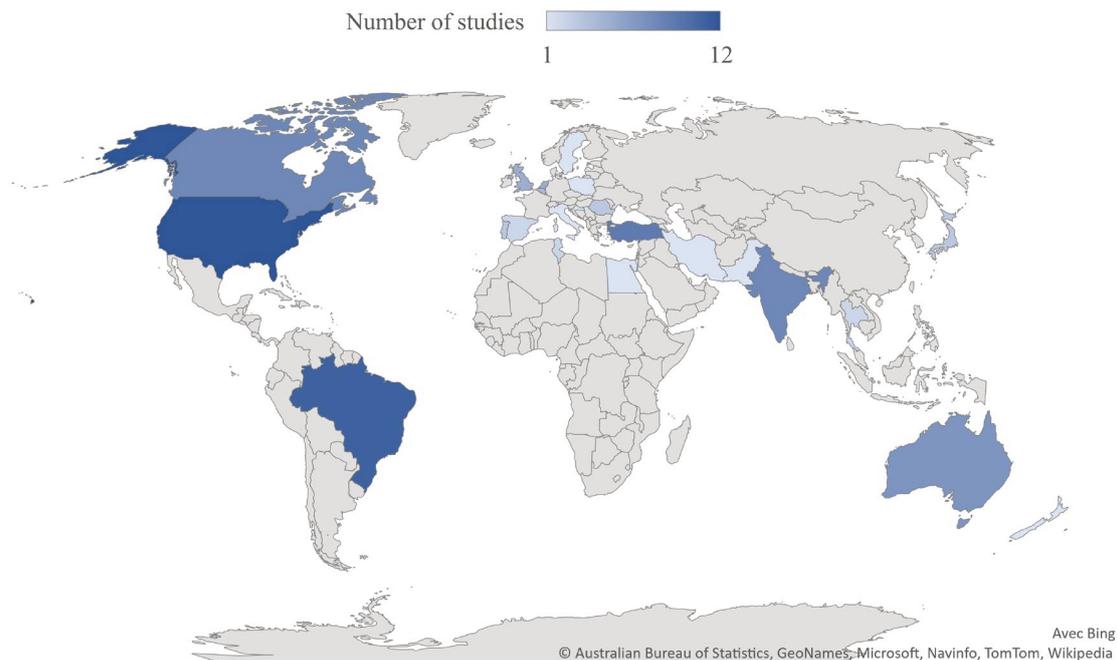
La plus ancienne publication incluse datait de 2004 (39). Il y a une tendance à une augmentation du nombre de publications à partir de 2012 (3 études) jusqu'à un pic en 2020 (16 études) (figure 16).



**Figure 16. Répartition des années de publications des études incluses.**

#### Pays

Les publications incluses venaient de 22 pays différents. Tous les continents étaient représentés. Les pays les plus représentés étaient les Etats-Unis (n = 12), le Brésil (n = 11), la Turquie (n = 8), le Canada et l'Inde (n = 7). La répartition géographique complète des études incluses est présentée sur la figure 17.



**Figure 17. Répartition géographique mondiale des études incluses.**

### Type d'article

La majorité des études incluses étaient des études transversales observationnelles ( $n = 78$ ). Les autres études étaient des études de cohorte ( $n = 6$ ), des essais pilotes expérimentaux ( $n = 2$ ), des essais longitudinaux ( $n = 2$ ) et une étude de fiabilité. 64 études (39,126–188) incluaient un groupe *contrôle* pour comparer le contrôle postural des pBPCO avec celui de personnes sans la pathologie. Les 25 études restantes (189–213) n'incluaient pas de groupe *contrôle* mais présentaient des analyses de corrélation entre des facteurs cliniques et des paramètres de contrôle postural.

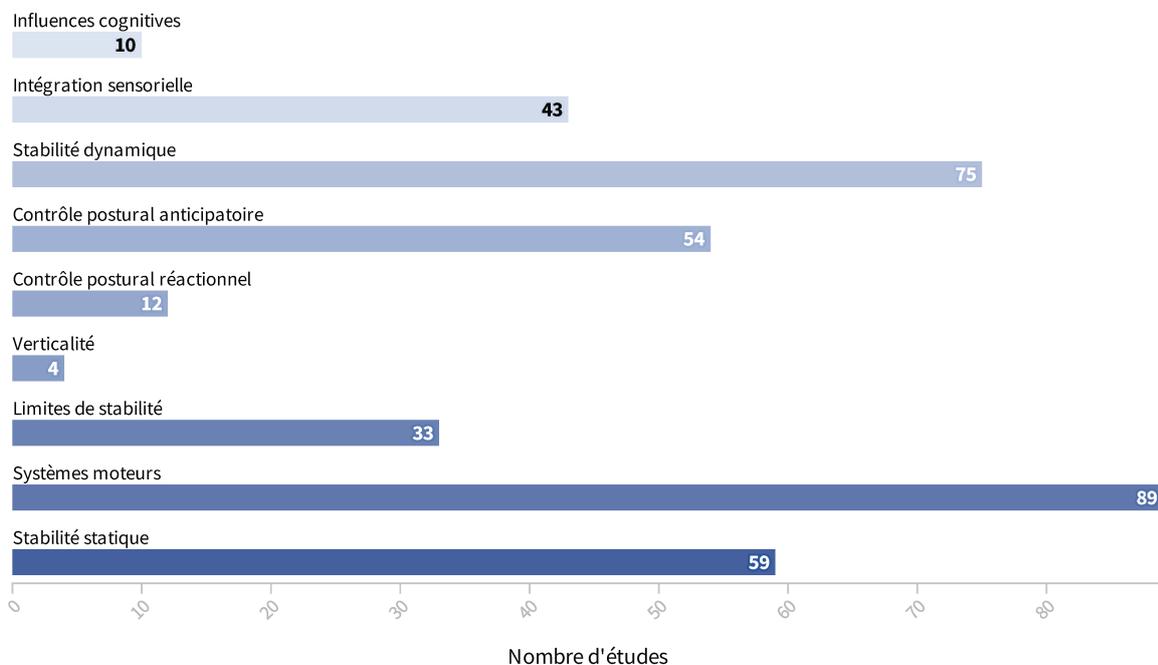
### Participants

Le nombre total de participants à travers toutes les études incluses était de 11 672 (8297 pBPCO et 3375 personnes contrôles). Le nombre de pBPCO par étude variait de 7 à 1 202 avec une médiane de 33 (quartile 1 – quartile 3 : 20 – 79). L'âge médian des pBPCO était de

67 ans (quartile 1 – quartile 3 : 64-71) avec une volume expiratoire maximal en une seconde de 50 % de la valeur prédite (quartile 1 – quartile 3 : 44 – 55). Le pourcentage médian de femmes avec BPCO par étude était de 39 % (quartile 1 – quartile 3 : 23 – 48).

### 2.3.3. Résultats principaux

Globalement, les résultats indiquent que le contrôle postural des pBPCO est altéré comparativement à celui des participants *contrôles*. Sur les 64 études (39,126–188) qui comparaient directement le contrôle postural des pBPCO avec celui des *contrôles*, 59 d'entre elles (39,126–138,140–148,150,151,154–162,164–188) rapportaient une altération statistiquement significative dans au moins un composant du contrôle postural. Chacun des neuf composants était évalué indépendamment au moins un fois dans les études incluses. La distribution complète de l'évaluation des composants dans les études incluses est présentée sur la *figure 18*. La liste complète des composants objectivés dans chaque étude incluse est disponible en [Annexe 4](#).



**Figure 18. Nombre d'études incluses dans la *scoping review* évaluant chaque composant du contrôle postural.**

#### 2.3.4. Résultats par composant du contrôle postural

##### Stabilité statique

Sur les 43 études (27,30,32–39,41–43,45,47–49,51,56–61,63–69,71,74–77,79,81–84,86,87) comparant ce composant chez les personnes avec et sans BPCO, des modifications de la stabilité statique sont retrouvées de façon homogène dans 37 études (39,128,130–137,140,141,143,145–147,154–159,161,162,165,166,169,172–175,177,179,181,182,184,185), aucune différence significative n'est retrouvée dans cinq études (139,149,163,164,167) et les données n'étaient pas disponibles dans une étude (180). Ces résultats tendent à montrer une moins bonne stabilité statique pour les BPCO. Les caractéristiques de la modification de ce composant étaient hétérogènes (paramètres différents évalués, résultats variables entre les études sur les paramètres altérés ou non ou sur la direction altérée de façon prédominante) et ne permettaient pas d'établir un modèle commun.

Les associations entre les facteurs cliniques et ce composant sont présentés en [Annexe 5](#).

##### Systèmes moteurs

Si toutes les études incluses évaluaient ce composant, peu d'études offraient l'opportunité d'isoler cette dernière et ainsi d'obtenir des données claires. Néanmoins, il apparaît que ce composant est altéré chez les pBPCO (132,140,165) et plusieurs études identifiaient ce composant comme l'un des plus fortement modifié parmi tous (132,165). De plus, les activations musculaires des pBPCO lors d'une tâche impliquant le contrôle postural sont modifiées sur plusieurs groupes musculaires (tibial antérieur (132), scalène, moyen fessier (131) ou muscles abdominaux (178)). Enfin, une étude montrait que les pBPCO avec des muscles inspireurs faibles présentaient des stratégies proprioceptives modifiées (143).

### Limites de stabilité :

Cinq études (136,137,146,164,179) mettaient en évidence que les limites fonctionnelles de stabilité sont moins importantes chez les pBPCO. Une étude (179) rapportait que cette limitation est prédominante dans la direction antéro-postérieure mais deux autres études retrouvaient cette modification de façon homogène dans toutes les directions testées (antéro-postérieure comme médio-latérale) (137,146).

### Perception de la verticalité :

Ce composant n'était étudié que dans quatre études (132,140,155,189), et n'était évalué dans ces études que comme une sous-partie de tests composites, conjointement avec les limites de stabilité, jamais de façon spécifique et isolée. Il est ainsi difficile de conclure pour ce composant.

### Contrôle postural réactionnel :

Ce composant était retrouvé comme significativement moins performant chez les pBPCO dans trois études (132,140,165), et une étude (153) ne retrouvait pas de différence significative (il est à noter que cette dernière était une étude pilote de faible puissance). Les capacités des pBPCO à réagir à une perturbation imprévue semblaient donc altérées (augmentation du temps de réponse et de la qualité de la réponse).

### Contrôle postural anticipatoire :

Des différences entre pBPCO et personnes *contrôles* concernant ce composant étaient identifiées dans plusieurs études (132,140,165,178). Les études semblaient montrer que la fréquence des ajustements posturaux anticipatoires (APA) était semblable par rapport aux personnes non-BPCO, mais que la durée de ces APA était plus importante chez les pBPCO, et que ces derniers étaient moins stables à la suite des APA.

### Stabilité dynamique :

Ce composant semblait modifié en se basant sur le TUG, la partie dédiée du BESTest et l'analyse de la marche. On retrouve 20 études (126,127,130,131,134,135,137,145,154,155,160,166,168,174,176,181,183–185,188) utilisant le TUG qui montraient que les pBPCO étaient moins rapides que les participants *contrôles* à réaliser ce test. Trois études (132,140,165) retrouvaient une moins bonne performance de ce composant dans le BESTest et c'était un des composants les plus fortement modifiées parmi tous les composants du contrôle postural évalués dans le test. Concernant l'analyse de la marche, les études (129,142,148,150,151,170,171,186,187) rapportaient des modifications des paramètres spatio-temporels (diminution de la vitesse de marche, diminution de la cadence), de la variabilité des paramètres spatio-temporels (variabilité du temps du cycle de marche augmenté, variabilité de la largeur de pas réduite) ou des modifications des paramètres cinématiques (augmentation des marges de stabilité en médio-latéral (ML)(138), augmentation du déplacement ML du CDM (180)).

Un résumé des associations entre les facteurs cliniques et ce composant est disponible en [Annexe 6](#).

### Intégration sensorielle :

Ce composant apparaît altéré dans la grande majorité des études incluses permettant de l'isoler (132,140,165,169,175), alors qu'une seule étude ne retrouvait pas de différence significative entre pBPCO et *contrôles* (163). Néanmoins, les résultats diffèrent en fonction des conditions étudiées dans ces études (selon les entrées sensorielles perturbées) et il est difficile de déterminer si un niveau de traitement (une ou plusieurs des entrées sensorielles, transmission du message nerveux, traitement par le système nerveux central) de l'information sensorielle est prédominant dans la modification de ce composant.

### Influences cognitives :

Pour ce composant, les résultats retrouvés dans la littérature étaient contrastés. Si une tâche cognitive impactait effectivement le contrôle postural des pBPCO comme des personnes non-BPCO, les résultats des études étaient hétérogènes concernant un effet additionnel de la tâche cognitive chez les pBPCO comparativement aux personnes *contrôles* : des études ne retrouvaient pas d'effet additionnel (156,160) ou de façon inconstante (182), alors qu'une étude retrouvait un effet additionnel significatif chez les pBPCO (155) et que deux autres études rapportaient une altération significative de la sous-partie du BESTest incluant des TUG en double tâche cognitive et motrice (132,140). Devant l'hétérogénéité des résultats, il n'était pas possible de conclure sur le potentiel effet supplémentaire de la tâche cognitive sur le contrôle postural des pBPCO.

#### 2.3.5. Résultats concernant les AVQ

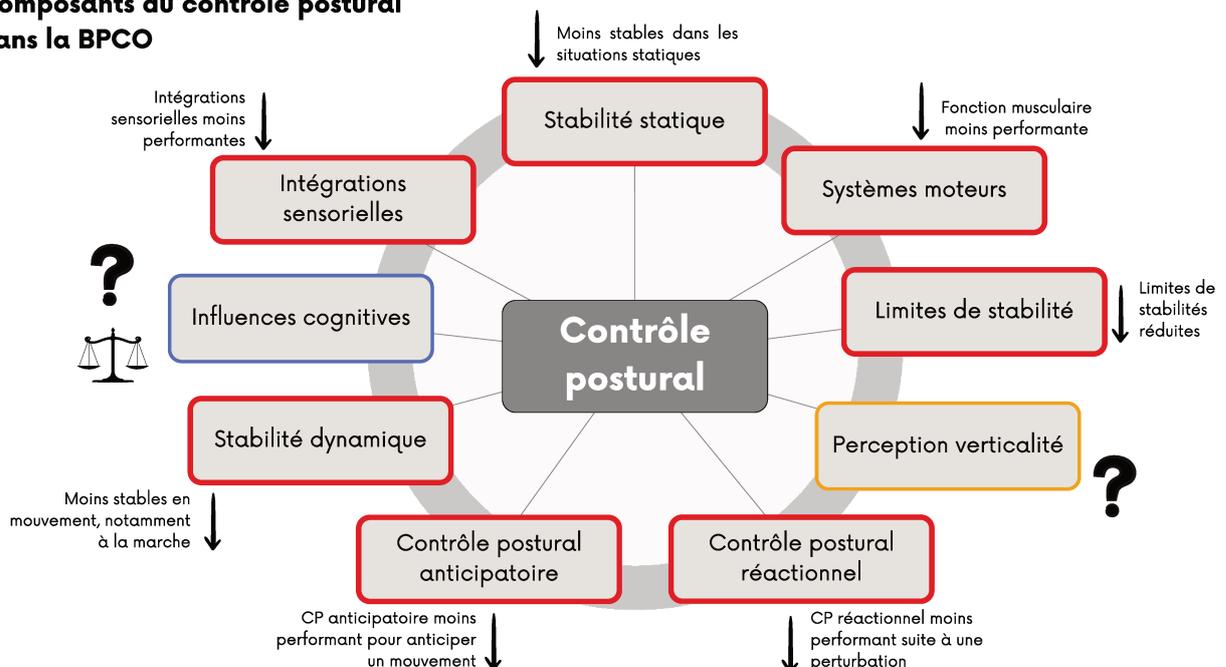
Six études (127,128,168,192,197,200) rapportaient des résultats sur le lien entre AVQ et contrôle postural chez les pBPCO. Cruz et al. (197) montraient que les pBPCO avec un contrôle postural altéré étaient plus sévèrement limités dans les AVQ. De plus, plusieurs indicateurs en lien avec les AVQ étaient associés de façon faible à modérée à des tests de contrôle postural (127,128,168,192,200).

## 2.4. Discussion

Cette *scoping review* avait pour objectif de proposer un panorama des modifications du contrôle postural des pBPCO en utilisant un cadre conceptuel, permettant une analyse par composants du contrôle postural. 89 études ont été incluses dans ce travail, indiquant que celui-ci est actuel, et permet d'identifier des domaines à explorer et de proposer des perspectives de recherche intéressantes.

De façon générale, cette revue rejoint les travaux précédents (104–106) attestant de la réalité de la modification du contrôle postural à l'échelle populationnelle dans la BPCO. De plus, il existe des preuves de la modification d'une grande majorité de composants du contrôle postural chez les pBPCO (*figure 19*). Ainsi sept composants sur neuf peuvent connaître des altérations entraînant des conséquences sur le contrôle postural : les systèmes moteurs, les limites de stabilité, le contrôle postural réactionnel, le contrôle postural anticipatoire, la stabilité dynamique, les intégrations sensorielles et la stabilité statique. Les données ne permettaient pas de conclure pour les composants « influences cognitives » et « perception de la verticalité ».

### Composants du contrôle postural dans la BPCO



**Figure 19. Représentation des modifications des composants du contrôle postural dans la BPCO.**

*Le cadre rouge indique que des preuves robustes et homogènes existent dans la littérature quant à une atteinte du composant. Le cadre bleu indique l'existence de preuves contradictoires. Le cadre orange indique un manque de preuves disponibles.*

Pour ces deux derniers composants, des rationnels physio-pathologiques pouvant supporter leur altération chez les pBPCO existent. Le point commun est l'existence de modifications

structurelles retrouvées dans la BPCO de zones du système nerveux central (214,215). Certaines de ces zones (le thalamus notamment) ont une implication établie dans la perception de la verticalité (216), et les changements structuraux les concernant pourraient avoir des conséquences sur une perception modifiée chez les pBPCO. Ces changements structuraux du système nerveux central pourraient également être associés à des troubles de la fonction cognitive retrouvés chez les pBPCO (217,218). D'autre part, une revue systématique a établi qu'il existait des atteintes notables des domaines cognitifs de la mémoire et de l'attention chez les pBPCO (218). Si les études incluses dans cette *scoping review* sur l'influence d'une tâche cognitive sur contrôle postural sont contradictoires, il est également intéressant d'observer que la performance cognitive (par exemple l'habileté à compter à rebours sans erreur de calcul) pouvait être réduite chez les pBPCO lors d'exercices en double tâche (160,182). De nouvelles recherches sont ainsi nécessaires pour explorer l'interférence entre tâche cognitive et contrôle postural chez les pBPCO.

Si sept composants du contrôle postural peuvent présenter des altérations chez les pBPCO, il ne semble actuellement pas possible de dégager des caractéristiques typiques pour tous. Plusieurs hypothèses peuvent être proposées pour ce point. Tout d'abord, il est possible qu'un manque d'études spécifiques en soit la raison. Ainsi, l'identification de ces caractéristiques pourrait être possible à l'avenir en complétant des recherches sur ces composants. Cela étant, il est également possible que des caractéristiques communes ne puissent être identifiées, non pas à cause d'un manque d'études, mais en raison de la grande variété et hétérogénéité des atteintes retrouvées dans la BPCO (3). En effet, au regard des nombreuses atteintes extra-respiratoires potentielles pouvant atteindre chaque pBPCO et de leurs conséquences potentielles variées (4), y compris sur le contrôle postural, il n'est pas certain que des caractéristiques communes existent à l'échelle populationnelle ou à l'échelle de sous-groupes.

Ce point a des implications sur la façon d'évaluer le contrôle postural des pBPCO : au vu du nombre de composants pouvant présenter une altération et des connaissances encore imparfaites sur les caractéristiques de ces derniers, on ne peut que recommander pour la pratique clinique des évaluations prenant en compte un maximum de composants du contrôle postural. Ainsi des outils tels que le BESTest et ses dérivés (112,203) ou le BBS (112) semblent appropriés pour une évaluation complète et valide des pBPCO.

Enfin, concernant les AVQ, la réduction du contrôle postural semble bien associée avec des difficultés plus importantes dans les tâches de la vie quotidienne pour les pBPCO. Cela soutient notre hypothèse initiale concernant un impact potentiel de l'altération du contrôle postural sur la facilité de réalisation des AVQ. Néanmoins, il existe très peu de données directes du contrôle postural des pBPCO au cours de nombreuses AVQ (transferts, escaliers, manipulation d'objets), et il serait pertinent de les explorer.

## **2.5. Questions émergentes traitées dans la suite de la thèse**

La réalisation de la *scoping review* nous a permis de dégager plusieurs perspectives de recherche concernant le contrôle postural des pBPCO (la liste complète des perspectives de recherche peut être consulté en [Annexe 1](#) dans la discussion de l'article publié). Certaines d'entre elles nous paraissaient particulièrement intéressantes pour améliorer les connaissances sur le champ de recherche et proposer des implications dans la pratique clinique auprès des pBPCO. Nous nous sommes donc intéressés aux points suivants (et résumés sur la *figure 20*) :

1. Tous ces résultats sont obtenus sur des études agrégeant les données de groupes de pBPCO, attestant que le contrôle postural est modifié à l'échelle populationnelle. Néanmoins, cela n'implique pas obligatoirement que chaque pBPCO va présenter une altération du contrôle postural. Ainsi, pour les cliniciens, il apparait important d'identifier quels sont les **facteurs cliniques discriminants** chez les pBPCO avec un contrôle postural altéré par rapport à ceux avec un contrôle postural préservé. Cela aurait le

potentiel d'améliorer la détection de ces derniers et de faciliter le raisonnement clinique des professionnels impliqués.

2. L'étude des **associations avec les facteurs cliniques** est également d'intérêt pour essayer de mieux comprendre les origines de la présence de cette altération dans la BPCO, d'identifier d'éventuels facteurs modifiables ou d'éventuelles conséquences de cette modification du contrôle postural.
3. Les résultats de la *scoping review* retrouvent peu de données sur le lien entre contrôle postural et AVQ. Pourtant, devant la difficulté que ces AVQ représentent pour les pBPCO, il semble important d'étudier le **contrôle postural au cours des AVQ**. Cela permettrait tout d'abord d'estimer si l'altération retrouvée dans la littérature sur des tests plus ou moins éloignés des AVQ se retranscrit effectivement dans ces activités. Ensuite, cela pourrait permettre de préciser les stratégies de contrôle postural employées par les pBPCO et de mettre en avant d'éventuelles différences avec les personnes non-atteintes par la pathologie.
4. Dans la vie quotidienne, les **influences cognitives** jouent un rôle important et peuvent interagir avec le contrôle postural. Dans notre *scoping review*, les résultats de la littérature sur ce point sont hétérogènes. Il apparaît ainsi intéressant d'apporter de nouvelles données sur l'influence d'une tâche cognitive sur le contrôle postural des pBPCO et d'estimer si cette influence est différente de celle retrouvée chez des personnes non-BPCO.

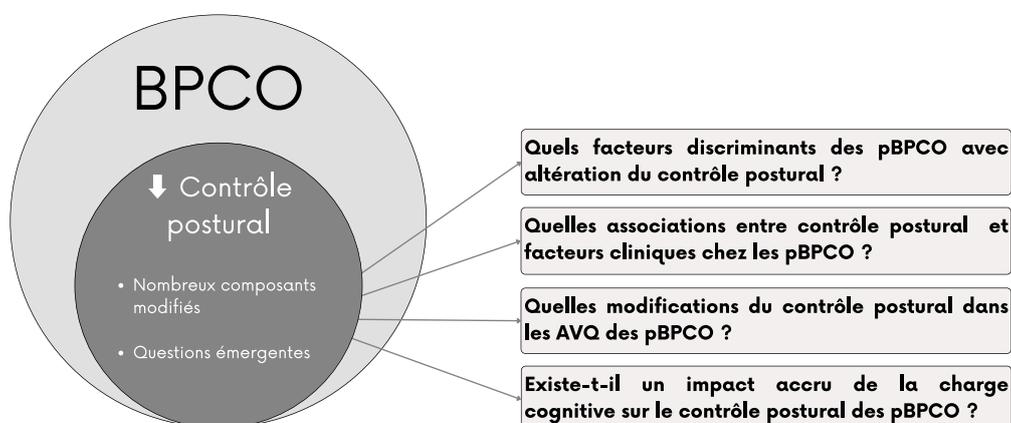


Figure 20. Résumé graphique des questions émergentes traitées dans la suite de la thèse.

### **3. Caractéristiques cliniques des personnes avec BPCO ayant une altération du contrôle postural (Etude SPOON)**

Pour tenter d'apporter des réponses aux deux premières questions issues de la *scoping review*, une étude en partenariat avec le service de réhabilitation respiratoire du Centre Hospitalier des Pays de Morlaix a pu être menée. L'acronyme employé pour cette étude est SPOON (Study of Postural cOntrol correlatioNs in people with COPD).

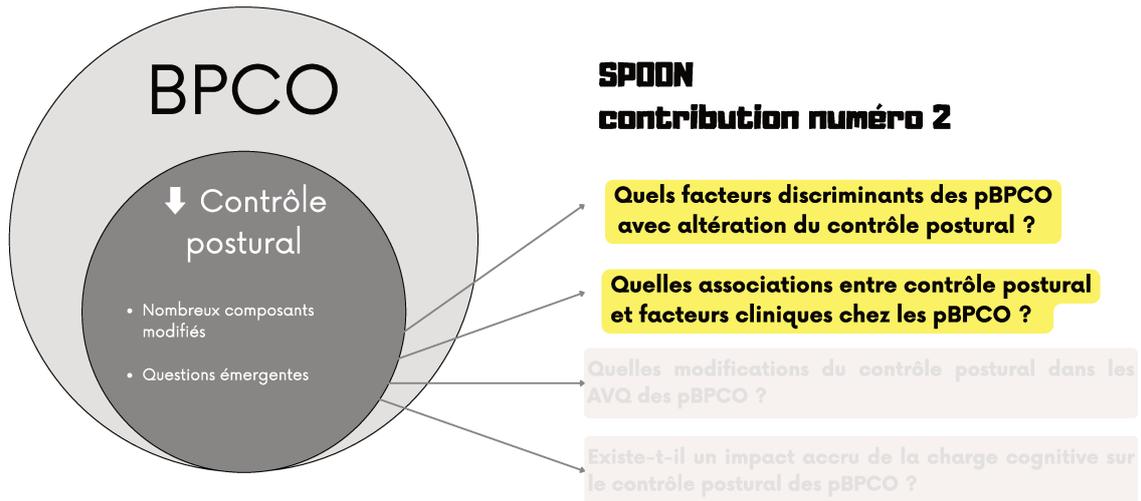
Cette étude a été publiée dans le *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*. L'article sous sa forme originale est disponible en [Annexe 7](#).

#### **3.1. Rationnel**

Les mécanismes à l'origine de l'altération du contrôle postural chez les pBPCO restent imparfaitement connus (105). De plus, cette altération n'est pas présente chez toutes les pBPCO (197). L'étude des caractéristiques cliniques des pBPCO avec un contrôle postural réduit a le potentiel de préciser les hypothèses sur les origines de cette modification, mais également de faciliter la détection des pBPCO avec cette altération et de guider le raisonnement clinique des professionnels de santé impliqués auprès de ces personnes (*figure 21*).

Les objectifs de cette étude SPOON étaient :

- 1) d'identifier les facteurs cliniques qui caractérisent les pBPCO avec un contrôle postural réduit,
- 2) d'identifier les déterminants d'un contrôle postural réduit chez ces personnes,
- 3) d'investiguer les corrélations entre contrôle postural et facteurs cliniques chez les pBPCO.



**Figure 21. Représentation graphique des questions de recherches traitées dans l'étude SPOON**

### **3.2. Méthodes**

#### *3.2.1. Type d'étude*

Cette étude est une analyse transversale des données de l'étude PARACHUTE (219), conduite dans le service de réhabilitation respiratoire du Centre Hospitalier des Pays de Morlaix sur la période de janvier à décembre 2019. L'objectif de cette étude était d'investiguer les effets d'un programme de réhabilitation respiratoire sur la peur de chuter des pBPCO. Cette recherche a été approuvée par le comité éthique du Centre Hospitalier Universitaire de Brest (numéro 29BRC18.0246) et a été enregistrée sur ClinicalTrials.gov (numéro NCT03793452).

#### *3.2.2. Participants*

Les critères d'inclusion étaient les suivantes : patients de plus de 18 ans avec un diagnostic confirmé de BPCO stade 2 à 4 (A-D) selon les critères GOLD (220). Les critères d'exclusions étaient : 1. patients avec une pathologie diagnostiquée altérant leur équilibre, 2. pneumonectomie ou lobectomie dans les 6 derniers mois, 3. refus de participation, 4. patients

avec une incapacité à suivre un programme de réhabilitation respiratoire standard, 5. femme enceinte ou allaitante, 6. patients sous tutelle ou curatelle.

Les participants effectuaient un programme de 4 semaines dans le service de réhabilitation respiratoire du Centre Hospitalier des Pays de Morlaix. Les patients étaient évalués au début et à la fin du programme. La présente étude sur les associations entre contrôle postural et facteurs cliniques a été effectuée sur les données recueillies lors de l'évaluation initiale.

### *3.2.3. Critères de jugement*

#### *Contrôle postural*

Le contrôle postural était évalué par le Brief-BESTest (BBT) qui est un test fonctionnel composite (61). Le BBT est un dérivé du BESTest, un outil évaluant chaque composant du contrôle postural (40,59). Le BBT explore un nombre important de composants du contrôle postural (7 sur 9 selon la définition opérationnelle de Sibley et al. (58)). Le BBT est valide (112) et fiable (112,203) dans la population de pBPCO. Des valeurs normatives ont été établies par O'Hoski et al. (221) pour des personnes de 50 à 90 ans.

#### *Fonction pulmonaire*

Chaque participant réalisait une spirométrie avec les manœuvres de Volume Expiratoire maximale en 1 seconde (VEMS) et de capacité vitale forcée après bronchodilatateurs, en accord avec les recommandations internationales (222).

#### *Gaz du sang*

Une gazométrie était effectuée pour analyse des gaz du sang artériel afin d'obtenir la pression partielle en oxygène (PaO<sub>2</sub>) et la pression partielle en dioxyde de carbone (PaCO<sub>2</sub>).

### Fonction musculaire

La force des muscles inspirateurs était obtenue en évaluant la pression inspiratoire maximale (PiMAX), mesurée avec le Micro RPM (Micro Medical), suivant les recommandations de l'*European Respiratory Society* sur l'évaluation des muscles respiratoires (223). La force maximale isométrique du quadriceps et l'endurance du quadriceps étaient mesurées par l'intermédiaire d'un dynamomètre à main (MicroFET 2, Hoggan), suivant une procédure standardisée, valide et fiable (224,225).

### Capacité à l'exercice

La capacité à l'exercice était évaluée grâce au test de marche de six minutes et le test de lever de chaise d'une minute. Le test de marche de six minutes est un test objectivant la distance maximale totale couverte par un individu au cours d'un temps de six minutes. C'est un outil valide et fiable pour évaluer la capacité à l'exercice chez les pBPCO (226). Le test de lever de chaise d'une minute évalue la capacité à passer d'une position assise à une position debout de façon répétée durant une minute. Le test de lever de chaise d'une minute est un outil pertinent et fiable pour évaluer le statut fonctionnel et la capacité à l'exercice des pBPCO (227).

### Dyspnée

La dyspnée était évaluée de façon multi-dimensionnelle par le questionnaire Dyspnea-12, l'échelle Modified Medical Research Council (MMRC), le questionnaire London Chest Activity of Daily Living (LCADL) et le questionnaire Multidimensional Dyspnea Profile (MDP) (réalisé à la fin du test de marche de six minutes). Le Dyspnea-12 est un questionnaire évaluant les dimensions affectives et sensorielles de la dyspnée (228). L'outil MMRC est une échelle de zéro à quatre, évaluant l'impact de la dyspnée dans le quotidien des pBPCO (229). Le questionnaire LCADL est un outil développé pour évaluer l'impact de la dyspnée dans quinze AVQ différentes (230). Le questionnaire MDP est un outil composite qui évalue les dimensions

affectives et sensorielles de la dyspnée en lien avec une activité précise (231). Le MDP est séparé en trois différentes échelles (A1 et A2 concernant la dimension affective de la dyspnée et QS concernant la dimension sensorielle de la dyspnée). Tous ces questionnaires ont été validés pour la population BPCO et traduits en français (232,233).

### QdV

La QdV était mesurée par le Saint George Respiratory Questionnaire (SGRQ) et le COPD Assessment Test (CAT). Le SGRQ est un questionnaire développé pour mesurer l'impact sur la santé globale, la vie quotidienne et le bien-être perçu chez les personnes avec des pathologies respiratoires obstructives (234). Le SGRQ donne trois sous-scores (symptômes, activités et impacts) ainsi qu'un score total. Chaque score est établi sur une échelle de 0 à 100 points (un score élevé indiquant un impact élevé de la pathologie sur la QdV des personnes). Le CAT est un questionnaire évaluant l'impact de la BPCO sur le statut de santé (235). Le CAT totalise huit items, chacun scoré sur une échelle de 1 à 5 points. Les scores totaux du CAT peuvent donc aller de 0 à 40 points, où un score élevé dénote un impact sévère de la BPCO dans la vie de la personne.

### Anxiété et dépression

L'anxiété et la dépression étaient évaluées par l'intermédiaire de l'Hospital Anxiety and Depression Scale (HAD) (236). Cet outil contient 14 items, 7 concernant l'anxiété et 7 concernant la dépression. Chaque item est scoré entre 0 et 3 points et un score sur 21 points est donné pour chaque dimension. Un score élevé indique un risque élevé de symptômes anxieux ou dépressifs.

### Chutes et peur de chuter

Il était demandé aux participants de reporter les chutes éventuelles sur les 12 mois précédents l'inclusion dans le programme. La peur de chuter était évaluée par le Fall Efficacy Scale-

International (FES-I) (237), qui est un auto-questionnaire, largement employé dans les précédentes recherches sur la peur de chuter dans la population de pBPCO (117,238). Il consiste en 16 items, scorés de 1 à 4 par le répondant. Le score total est ainsi entre 16 et 64 points, un score élevé indiquant une peur de chuter importante.

#### 3.2.4. Analyse statistique

Les données descriptives étaient présentées en moyenne ( $\pm$  écart-type) ou médiane (quartile 1, quartile 3) en fonction de la nature des variables et de la distribution. La normalité de la distribution était testée par le test de Shapiro-Wilk.

En s'appuyant sur les valeurs normatives du BBT (221), une diminution du contrôle postural était définie par un score au BBT sous la limite inférieure de l'intervalle de confiance à 95% du score moyen du BBT pour la décade d'âge. Ainsi, les participant étaient classés dans le groupe contrôle postural réduit ou contrôle postural non-réduit.

L'analyse des différences entre les deux groupes étaient réalisée en employant le test de Student, le test de Mann-Whitney ou le test du  $\chi^2$ . La taille de l'effet pour les comparaisons inter-groupes était calculée par le  $d$  de Cohen ou la corrélation bisériale de rangs.

L'analyse des corrélations entre le score de contrôle postural (BBT) et les facteurs cliniques était réalisée par le coefficient de Pearson ou de Spearman.

Une régression logistique binomiale a été ensuite réalisée avec comme variable dépendante la présence ou non d'un contrôle postural altéré. Une approche pas à pas ascendante était employée pour déterminer le meilleur modèle de régression. Les variables indépendantes étaient sélectionnées à partir de la comparaison inter-groupes et de l'analyse de corrélation. Le nombre de variable indépendantes sélectionnées était adaptée à la taille de l'échantillon, en employant la règle empirique d'un minimum de dix participants par déterminant inclus dans le modèle (239). Les variables indépendantes étaient successivement incluses dans le modèle pour obtenir un critère d'information d'Akaike le plus bas possible et un Nagelneke  $R^2$  le plus

élevé possible. Une analyse de courbe Receiver Operating Characteristic était réalisée pour évaluer la sensibilité et la spécificité du modèle.

Une valeur p inférieure à 0.05 était considérée comme statistiquement significative. L'analyse statistique était réalisée avec le logiciel Jamovi 1.8.1.0 (The Jamovi Project).

### 3.3. Résultats

#### 3.3.1. Participants et caractéristiques

80 personnes ont été incluses consécutivement dans l'étude PARACHUTE. Sept personnes ont été exclues de l'analyse finale : quatre participants ne respectaient plus les critères d'inclusion au décours de l'étude et trois n'ont pas réalisés les évaluations initiales du contrôle postural. Ainsi, 73 participants ont été inclus dans l'analyse. Les caractéristiques détaillées des participants sont présentées dans le *tableau 3*.

**Tableau 3. Caractéristiques des participants en fonction de leur statut de contrôle postural.**

Variables	Tous les participants (n=73)	Groupe contrôle postural non- réduit (n=26)	Groupe contrôle postural réduit (n=43)	Comparaison inter- groupes	
				P value	Taille de l'effet
Âge, ans	66 (59, 70)	67 (62, 71)	65 (27, 69.5)	0.225 <sup>T</sup>	0.30 <sup>D</sup>
IMC, kg/m <sup>2</sup>	26.6 ± 5.9	24.8 ± 6.5	27.5 ± 5.5	0.072 <sup>T</sup>	-0.45 <sup>D</sup>
BBT	19 (16, 20)	21.3 ± 1.7	15.9 ± 3.2	<b>&lt; 0.001<sup>M</sup></b>	0.88 <sup>R</sup>
VEMS, % théo	40 (27, 55)	37 (27, 60.5)	42 (28, 50.5)	0.877 <sup>M</sup>	0.02 <sup>D</sup>
PaO <sub>2</sub> , mmHg	67.5 ± 10.1	71.2 ± 11.2	65.3 ± 8.6	<b>0.019<sup>T</sup></b>	0.62 <sup>D</sup>
PaCO <sub>2</sub> , mmHg	42 (39, 46.8)	42 (39.8, 45.3)	43 (39, 47.8)	0.487 <sup>M</sup>	0.10 <sup>R</sup>
PiMAX, cmH <sub>2</sub> O	70.6 ± 24.2	75.3 ± 24.5	65.6 ± 22.2	0.094 <sup>T</sup>	0.42 <sup>D</sup>
QF, Nm	248 (174, 355)	193 (152, 377)	263 (211, 327)	0.233 <sup>M</sup>	0.18 <sup>R</sup>
QEnd, sec	39.3 (28.6, 47)	36.5 (28.5, 46)	41 (29, 48.5)	0.383 <sup>M</sup>	0.13 <sup>R</sup>
TM6, m	395 ± 109	411 ± 116	380 ± 102	0.253 <sup>T</sup>	0.28 <sup>D</sup>
1STS, reps	20 (17, 25.5)	20.7 ± 5.7	21.2 ± 6.4	0.725 <sup>T</sup>	0.08 <sup>D</sup>

D12	16.6 ± 8.74	14.5 ± 8.4	17.8 ± 8.6	0.125 <sup>T</sup>	-0.39 <sup>D</sup>
MMRC	2 (1, 3)	2 (1, 2.75)	2 (1, 3)	0.400 <sup>M</sup>	0.12 <sup>R</sup>
LCADL	25 (20, 35)	26 (20.3, 33.5)	24 (20, 35)	0.965 <sup>M</sup>	0.007 <sup>R</sup>
MDP A1	4 (3, 5.25)	4 (3, 5)	4 (3, 5.75)	0.298 <sup>M</sup>	0.15 <sup>R</sup>
MDP A2	1.5 (0, 6.75)	1 (0, 6.5)	2 (0, 6)	0.660 <sup>M</sup>	0.07 <sup>R</sup>
MDP QS	9 (4, 17.8)	7 (2.5, 11.8)	11 (5.5, 18)	0.057 <sup>M</sup>	0.31 <sup>R</sup>
SGRQ total	51.4 ± 15.5	45.2 ± 16.6	55.9 ± 12.8	<b>.004</b> <sup>T</sup>	-0.75 <sup>D</sup>
SGRQ-S	53.2 ± 21.5	43.3 ± 22.8	60.7 ± 17.6	<b>&lt;.001</b> <sup>T</sup>	-0.88 <sup>D</sup>
SGRQ-A	70.4 ± 18.5	59.9 (49.5, 79.5)	73.0 (65.8, 86.1)	<b>.020</b> <sup>T</sup>	-0.59 <sup>D</sup>
SGRQ-I	40.9 ± 17.7	30.1 (20.8, 49.8)	42.3 (33.9, 53.2)	<b>.045</b> <sup>T</sup>	-0.51 <sup>D</sup>
CAT	19.0 ± 6.78	17.0 ± 7.4	20.3 ± 5.7	<b>.040</b> <sup>T</sup>	-0.52 <sup>D</sup>
HAD-D	7.12 ± 4.08	6.35 ± 3.77	7.91 ± 4.09	0.118 <sup>T</sup>	-0.39 <sup>D</sup>
HAD-A	8.63 ± 4.09	7 (4, 10)	9 (6.5, 13)	<b>0.015</b> <sup>T</sup>	-0.63 <sup>D</sup>
FES-I	23 (19, 36)	21.5 (18, 32)	26 (20, 36)	0.238 <sup>M</sup>	0.17 <sup>R</sup>
Chutes	0 chute n=53	0 chute n=17	0 chute n=32	0.631 <sup>F</sup>	NA
	1 chute n=13	1 chute n=7	1 chute n=6		
	2 chutes n=2	2 chutes n=1	2 chutes n=1		
	3 chutes n=2	3 chutes n=1	3 chutes n=1		
	4 chutes n=1	4 chutes n=0	4 chutes n=1		

**Abréviations :** BBT : Brief BESTest ; CAT : COPD Assessment test ; D12 : dyspnea-12 ; FES-I : Falls efficacy scale internationale I ; VEMS : Volume expiratoire maximal en une seconde ; HAD : Hospital anxiety and depression scale (A, anxiety score ; D, depression score) ; IMC : Indice de masse corporelle ; LCADL : London chest activity of daily living questionnaire ; MDP : multi-dimensional dyspnea profile ; PiMAX : pression inspiratoire maximale ; MMRC : modified medical research council scale ; NA : non applicable ; PaO<sub>2</sub> : pression artérielle partielle en oxygène ; PaCO<sub>2</sub> : pression artérielle partielle en dioxyde de carbone ; Qend : endurance du quadriceps ; QF : force du quadriceps ; SGRQ : Saint-George Respiratory Questionnaire (A : sous-score activité ; I : sous-score impact ; S : sous-score symptômes ; total, score total) ; 1STS : test de lever de chaise de une minute ; TM6 : test de marche de six minutes ; <sup>D</sup> d de Cohen ; <sup>F</sup> Fisher's exact test ; <sup>M</sup> Mann-Whitney test ; <sup>R</sup> corrélation bisériée des rangs ; <sup>T</sup> Independent Student t-test.

Les données sont présentées en moyenne ± écart-type ou médiane (écart interquartile) ou en nombre d'occurrences (n). Le gras indique des valeurs p < 0.05

43 participants présentaient un contrôle postural altéré selon la définition présentée dans la partie méthode de l'étude. 26 participants étaient considérés comme ayant un contrôle postural non-altéré et quatre participants n'étaient pas classés dans les groupes en l'absence de valeur normative pour leur décade d'âge. La comparaison inter-groupes (contrôle postural altéré versus contrôle postural non-altéré) montrait des différences pour les facteurs cliniques

suyvants : PaO<sub>2</sub> (p = 0.019 ; d = 0.62), SGRQ-total (p = 0.04 ; d = -0.75), SGRQ-Symptômes (p < 0.001 ; d = -0.88), SGRQ-Activités (P = 0.02 ; d = -0.59), SGRQ-Impacts (p = .045 ; d = -0.51), CAT (p = .040 ; d = -0.52) et le score Anxiété de l'échelle Hospital Anxiety and Depression (p = 0.015 ; d = -0.63). La différence n'était pas significative pour l'IMC (p = 0.07; d = -0.45) et la PiMAX (p = 0.09; d = 0.42).

### 3.3.2. Corrélations

Les corrélations significatives entre le contrôle postural (Score du BBT) et les facteurs cliniques sont présentés dans le *tableau 4*. Cette analyse a été réalisée pour tous les participants, indépendamment de leur statut de contrôle postural.

**Tableau 4. Corrélations significatives entre le contrôle postural (BBT) et les facteurs cliniques chez les participants (n = 73).**

Variables	Domaine exploré	Corrélation avec le BBT
FES-I	Peur de chuter	-0.30 **
PiMAX	Force musculaire	0.34 **
MMRC	Dyspnée	-0.26 *
SGRQ-I	QdV (impacts)	-0.26 *
SGRQ-S	QdV (symptômes)	-0.32 **
SGRQ total	QdV	-0.31 **
PaO <sub>2</sub>	Gaz du sang	0.26 *
TM6	Capacité à l'exercice	0.27 *

*Abréviations* : BBT : brief-BESTest ; PiMAX : pression inspiratoire maximale ; MMRC : modified medical research council scale ; PaO<sub>2</sub> : pression artérielle partielle en oxygène ; SGRQ : Saint-George Respiratory Questionnaire (I : sous-score Impact ; S : sous-score symptômes) ; TM6 : test de marche de six minutes.

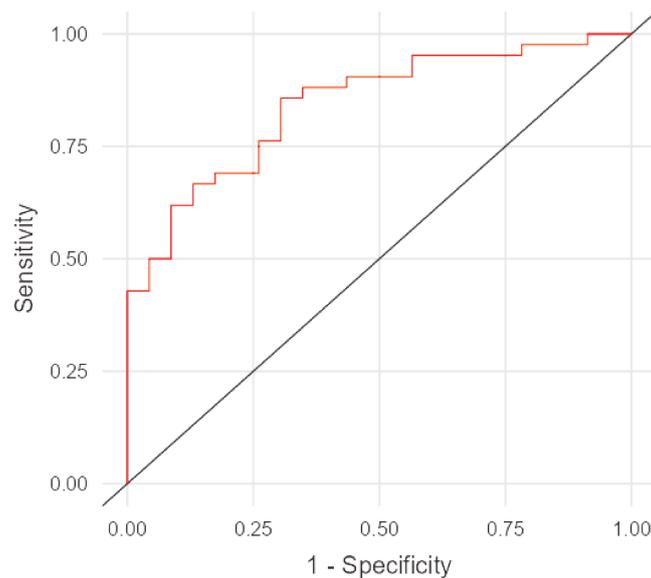
Toutes les corrélations reportées dans ce tableau ont été calculées en utilisant le rho de Spearman.

\* p < .05 ; \*\* p < .01.

### 3.3.3. Régression logistique

La régression logistique était réalisée pour établir les facteurs déterminants pour présenter un contrôle postural réduit. Le meilleur modèle de régression incluait le SGRQ-Symptômes (OR =1.05: 95% IC, 1.02 - 1.08, p = .003), la PaO<sub>2</sub> (OR = .93: 95% IC, .87 - .99, p = .020), la PiMAX (OR = .96: 95% IC, .93 - .99, p = .020) et l'IMC (OR =1.15: 95% IC, 1.01 - 1.31, p = .034).

Ce modèle était le plus performant en suivant les critères établis *a priori* (Critère d'Information d'Akaike = 69.6; Nagelneke R<sup>2</sup> = .44). En établissant le seuil à 0.67, la sensibilité du modèle était de 74% et la spécificité de 74%, l'aire sous la courbe était de 0.84 (figure 22).



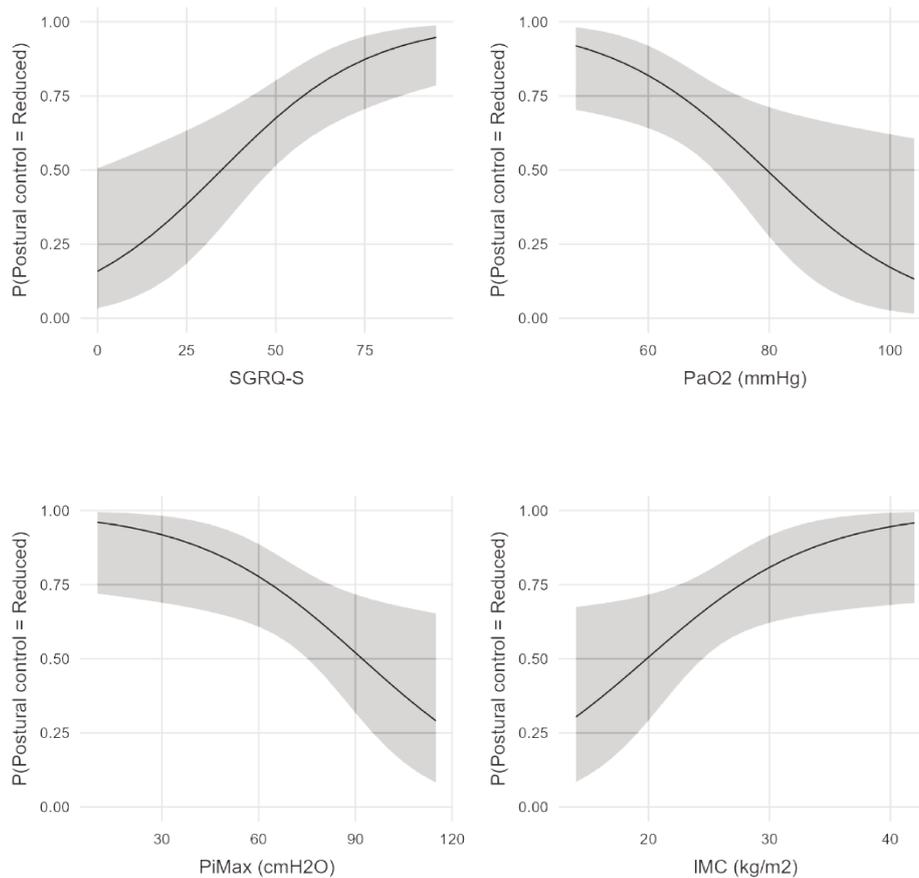
**Figure 22. La courbe Receiver Operating Characteristic (ROC) pour le modèle de régression logistique.**

L'équation finale est la suivante :

$$P (\text{CP altéré}) = 2.4201 + 0.0481 \cdot \text{SGRQ-Symptômes} - 0.0771 \cdot \text{PaO}_2 - 0.0390 \cdot \text{PiMAX} + 0.1418 \cdot \text{IMC}$$

Où P (CP altéré) représente la probabilité de présenter un contrôle postural altéré.

Les moyennes marginales estimées pour chaque variable indépendante sont présentées sur la *figure 23* ci-dessous :



**Figure 23. Les moyennes marginales estimées pour chaque variable indépendante incluses dans le modèle.**

La zone grise représente l'intervalle de confiance à 95 %. Abréviations : IMC, indice de masse corporelle ; PaO<sub>2</sub> : pression artérielle partielle en oxygène ; PiMAX, pression inspiratoire maximale ; SGRQ-S, sous-score symptômes du Saint-George Respiratory Questionnaire.

### 3.4. Discussion

L'objectif principal de cette étude était d'identifier les facteurs cliniques qui caractérisent les pBPCO avec un contrôle postural altéré : ces personnes présentent des scores significativement altérés de QdV, de PaO<sub>2</sub> et un score d'anxiété plus élevé. Ensuite, l'analyse des corrélations entre le contrôle postural et les facteurs cliniques a mis en évidence des associations significatives avec la QdV, la PaO<sub>2</sub>, la force des muscles inspireurs, la dyspnée,

la capacité à l'exercice et la peur de chuter. Enfin, les déterminants d'un contrôle postural altéré identifiés dans un modèle de régression logistique étaient la QdV liée aux symptômes, la PaO<sub>2</sub>, la force des muscles inspireurs et l'IMC.

Des recherches antérieures avaient montré que l'altération du contrôle postural était fréquente chez les pBPCO (197,200). Dans la présente étude, environ six pBPCO sur dix étaient considérés comme ayant un contrôle postural altéré. Cette étude apporte donc des preuves supplémentaires que cette altération est très commune chez les pBPCO, et que c'est un domaine qui doit être exploré par les cliniciens en regard des conséquences potentielles en terme de chute (240) ou de réalisation des tâches du quotidien (197).

De plus, cette étude montre que la QdV est significativement moins bonne chez les pBPCO avec un contrôle postural altéré. Les scores de QdV étaient également corrélés avec le contrôle postural, et le sous-score « symptômes » du SGRQ était identifié comme le déterminant principal de la présence d'un contrôle postural altéré chez ces personnes. La réduction de la QdV chez les pBPCO avec un contrôle postural altéré et la corrélation significative pourrait suggérer que l'altération du contrôle postural a un impact négatif sur les vies quotidiennes des pBPCO. Néanmoins, l'identification du sous-score « symptômes » du SGRQ comme l'un des déterminants d'un contrôle postural altéré pourrait impliquer que cette relation est bilatérale : d'un côté, il semble probable qu'une réduction du contrôle postural induise une altération de la QdV ; mais d'un autre côté, les symptômes (comme la dyspnée) et leurs conséquences perçues ont le potentiel d'interagir négativement avec le contrôle postural, comme cela est suggéré par des recherches antérieures (105).

Si certains auteurs ont émis l'hypothèse que l'hypoxémie pouvait être un mécanisme sous-jacent de l'altération du contrôle postural dans la BPCO (5), peu d'études ont inclus une mesure directe de la pression partielle en oxygène. Ozalevli et al. (159) rapportaient une corrélation significative entre la PaO<sub>2</sub> et le BBS ( $r = .28$ ) chez les pBPCO, ce qui est en cohérence avec la présente étude. Selon nos résultats, la PaO<sub>2</sub> est également un déterminant

de la présence d'un contrôle postural altéré chez les pBPCO : chaque diminution de la PaO<sub>2</sub> augmenterait le risque de présenter une altération du contrôle postural chez ces derniers.

Nos résultats suggèrent également que la force des muscles inspireurs pourrait jouer un rôle dans l'altération du contrôle postural des pBPCO. La présence d'une réduction de la force des muscles inspireurs pourrait augmenter le risque de présenter un contrôle postural altéré chez les pBPCO. Ceci est en accord avec une étude clinique antérieure (143) et est en cohérence avec des études en laboratoire qui ont mis en évidence le rôle des muscles inspireurs dans le contrôle postural humain (241,242). Ce résultat peut avoir une importance pour la prise en soin des pBPCO avec un contrôle postural altéré, car l'entraînement des muscles inspireurs pourrait être une intervention pertinente dans ce cadre. Si les exercices d'équilibre et les exercices fonctionnels sont les interventions avec le plus haut niveau de preuve (243,244), des études antérieures chez les personnes âgées (245) et les pBPCO (246) ont montré que l'entraînement des muscles inspireurs pouvait être une intervention efficace pour améliorer le contrôle postural.

Nos résultats ont montré que l'IMC était un déterminant significatif d'une altération du contrôle postural chez le pBPCO : dans notre analyse, chaque augmentation de l'IMC augmenterait le risque de présenter un contrôle postural altéré. En utilisant un design d'étude similaire au nôtre, Jacome et al. (200) ont également identifié l'IMC comme un déterminant d'un contrôle postural altéré avec des odd ratio comparable (OR = 1.12 dans l'étude de Jacome et al. contre 1.16 ici).

Des études antérieures avaient tenté d'identifier les déterminants d'un contrôle postural altéré chez les pBPCO : Jacome et al. (200) avaient identifié comme déterminants l'IMC, le nombre de médicaments, les altérations dans les activités récréatives et le score de dépression. Liwsrisakun et al. (204) retrouvaient la capacité à l'exercice (par le test de marche de six minutes) comme l'unique déterminant d'un contrôle postural altéré. La définition d'un « contrôle postural altéré » variait dans ces études et les facteurs cliniques évalués également, ce qui pourrait expliquer les différences observées.

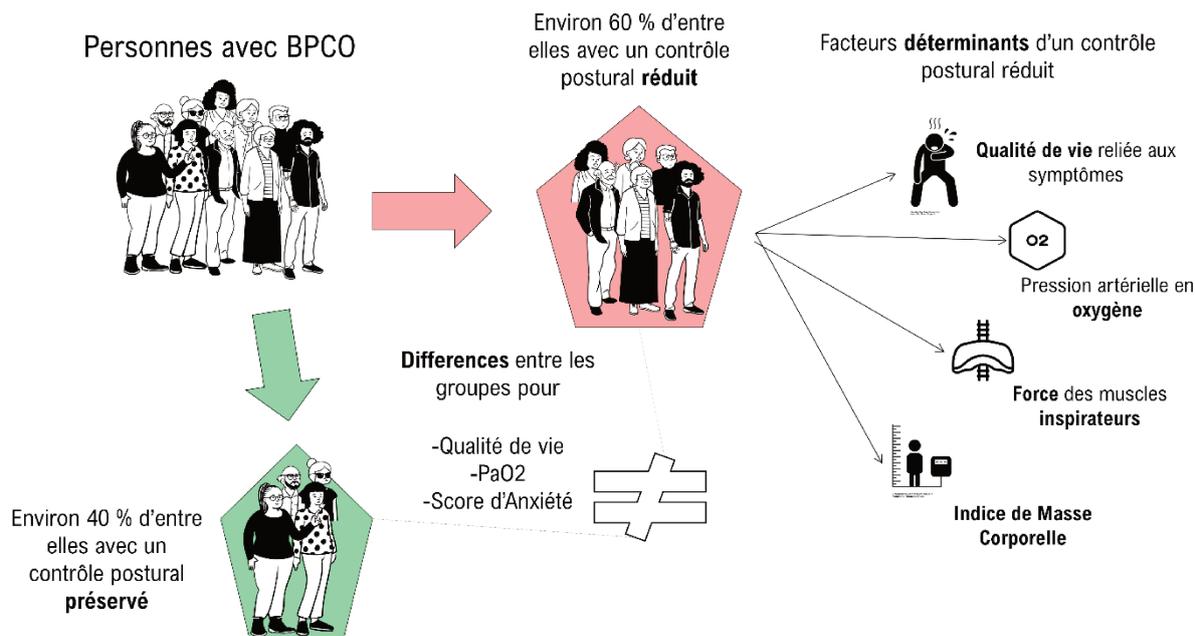
Même si les déterminants identifiés sont les résultats d'une analyse statistique, l'hypothèse que des changements positifs des scores de ces déterminants pourraient engendrer des modifications intéressantes sur le contrôle postural des pBPCO, peut être émise. Des études futures devront investiguer l'impact sur le contrôle postural de changements de la QdV, de la PaO<sub>2</sub>, de la force des muscles inspirateurs et de l'IMC.

### Limites de l'étude

Tout d'abord, ceci est une analyse secondaire d'une étude développée pour un objectif différent. Cela implique que le calcul du nombre de participants nécessaire n'a pas été réalisé spécifiquement pour nos objectifs et que le nombre de participants inclus est relativement faible pour ce type d'analyse. Néanmoins, concernant les analyses de régression logistique, certains auteurs ont suggéré un nombre de 10 participants par déterminant inclus dans le modèle (239), ce qui est le cas ici. Quoiqu'il en soit, l'équation doit être validée avec un échantillon plus important et confirmé prospectivement. La seconde limitation est que les participants étaient des personnes qui s'engageaient volontairement dans un programme de réhabilitation respiratoire. Cela n'est pas représentatif de tous les pBPCO et l'extrapolation à l'entièreté de la population BPCO devra donc être confirmée par de futures recherches avec un panel plus représentatif.

### **3.5. Conclusion**

Dans le contexte d'un programme de réhabilitation respiratoire, cette étude montre que les pBPCO avec un contrôle postural altéré présentent des caractéristiques dans plusieurs facteurs cliniques qui les distinguent des pBPCO avec un contrôle postural non-altéré (*figure 24*). La QdV liée aux symptômes, la PaO<sub>2</sub>, la PiMAX et l'IMC ont été identifiés comme des déterminants d'un contrôle postural altéré chez les pBPCO.



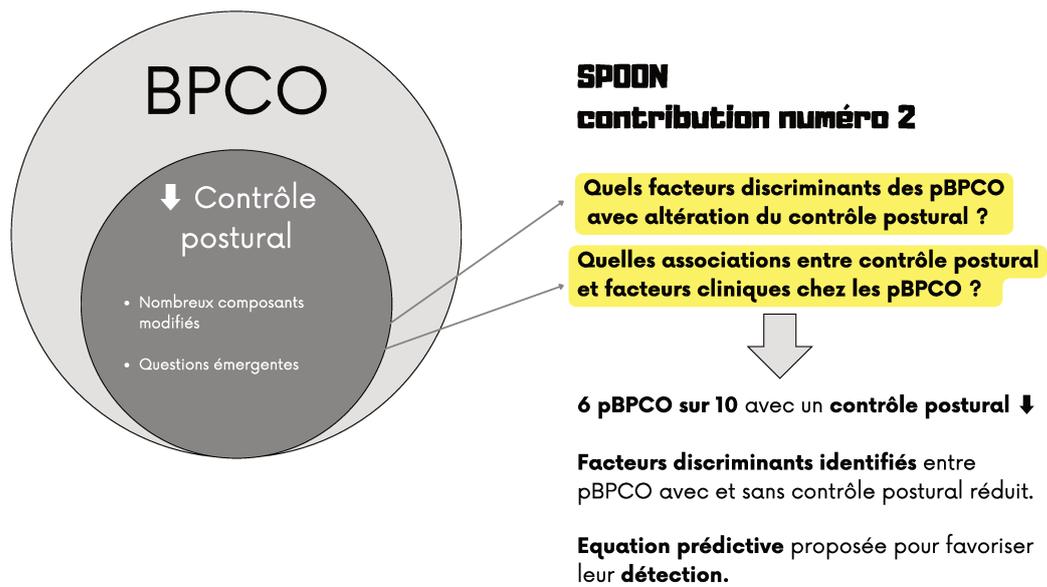
**Figure 24. Résumé graphique des résultats principaux de SPOON.**

L'illustration pour la qualité de vie liée aux symptômes est créée par Gan Khoon Lay pour le Noun Project.

L'illustration pour l'indice de masse corporelle est créée par Amethyst Studio pour le Noun Project.

### 3.6. Point d'étape

L'étude SPOON a donc permis de proposer des réponses à une partie des questions de recherche issues de la *scoping review* (figure 25). La contribution originale suivante (projet ATTRACTION) se concentrera sur le contrôle postural au cours de tâches s'approchant d'AVQ, afin d'investiguer les autres questions de recherche proposées.



**Figure 25. Point d'étape de la thèse à la suite de l'étude SPOON.**

#### 4. Analyse quantitative du contrôle postural des patients atteints de BPCO au cours de tâches de la vie quotidienne (Projet ATTRACTION)

Le projet ATTRACTION a été mis en place au Laboratoire Mouvement, Sport, Santé de l'Université de Rennes 2 en partenariat avec le Centre Hospitalier Universitaire de Pontchaillou, Rennes. ATTRACTION s'attachait à proposer des réponses aux questions 2, 3 et 4 issues de la *scoping review* (figure 26). Trois études différentes (ATT1, ATT2 et ATT3) ont ainsi été réalisées à partir de la méthodologie commune de ce projet.

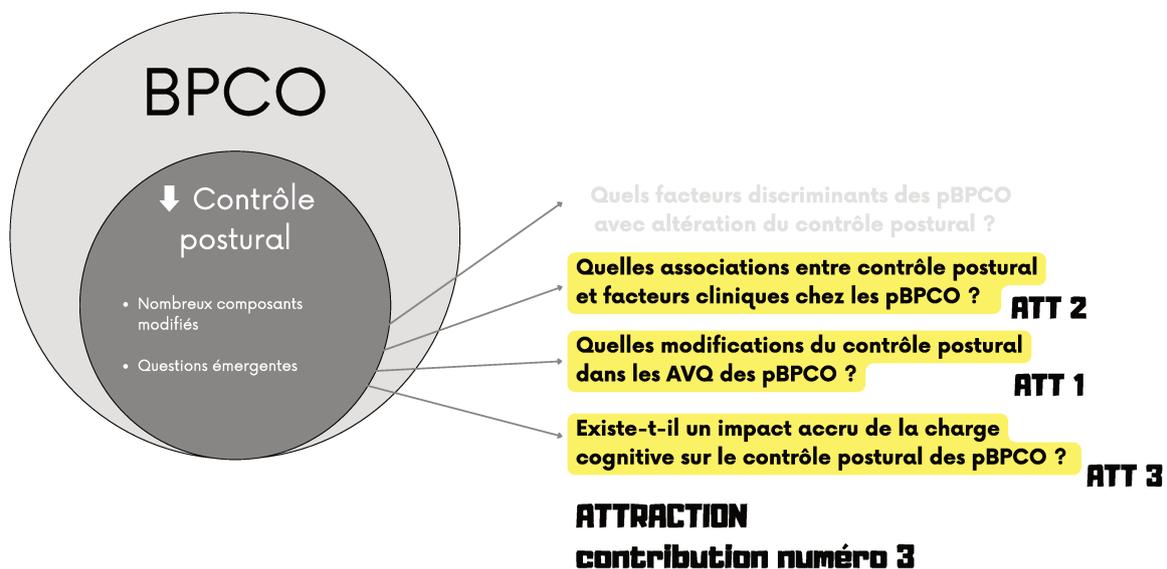


Figure 26. Représentation graphique des questions de recherches traitées dans le projet ATTRACTION.

##### 4.1. Introduction

Il semble important de pouvoir évaluer de façon directe le contrôle postural des pBPCO au cours d'AVQ pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il existe peu de données sur le lien entre la modification du contrôle postural et les AVQ dans cette population (247). Ensuite, les données directes disponibles le sont sur un nombre limité d'AVQ et souvent sur des dimensions de

temps de réalisation seulement (247). Enfin, ce type d'analyse a le potentiel de déterminer si le contrôle postural des pBPCO est réellement modifié dans ces AVQ.

L'analyse biomécanique par capture du mouvement tri-dimensionnelle (3D) est une technologie permettant d'obtenir des paramètres pertinents pour l'analyse du contrôle postural (46). Elle permet notamment de déterminer la position du CDM au cours de la réalisation de tâches motrices. Les paramètres liés au CDM sont considérés comme une évaluation valide du contrôle postural au cours du mouvement et permettent d'étudier différents aspects de son évolution (85,86). Plusieurs paramètres sont particulièrement d'intérêt et employés dans les travaux explorant le contrôle postural : vitesse moyenne de déplacement du CDM (85,86), variabilité de la vitesse du CDM (85), vitesse pic du CDM (85,86) et marges de stabilité (45,85). L'évaluation des AVQ est préconisée dans les recommandations des sociétés savantes internationales pour la prise en soin des pBPCO (248). Si ces recommandations ne se centrent pas sur un outil de mesure particulier, plusieurs tests sont disponibles et ont été validés dans cette population (226). Parmi eux, le Glittre-ADL, offre un intérêt particulier : il propose la réalisation d'une séquence de plusieurs AVQ (249) (précédemment identifiées comme problématiques pour les pBPCO (118)) et présente de robustes qualités métrologiques (en termes de validité et de fiabilité) (226). La détermination des paramètres du CDM au cours d'un test comme le GADL est rendue possible par l'analyse biomécanique en 3D.

Nous proposons donc dans le projet ATTRACTION d'évaluer le contrôle postural des pBPCO au cours d'une séquence d'AVQ se basant sur le GADL en utilisant l'analyse biomécanique en 3D. Les paramètres de contrôle postural étaient comparés avec ceux de personnes *contrôles* sans BPCO. L'analyse de l'influence d'une tâche cognitive sur le contrôle postural était également évaluée au cours du TUG, toujours à l'aide d'une analyse biomécanique en 3D pour extraire les paramètres de CDM reflétant le contrôle postural.

## 4.2. Méthodes

La méthodologie générale du projet ATTRACTION a fait l'objet d'une publication dans l'*European Rehabilitation Journal* (disponible en [Annexe 8](#)) (250) et est présenté dans les paragraphes qui suivent. Les résultats des trois études seront ensuite présentés séparément.

### 4.2.1. Type d'étude

Le projet ATTRACTION est une étude transversale, qui a été réalisée au laboratoire Mouvement, Sport, Santé (M2S) de l'Université Rennes 2, Rennes, France. Le projet ATTRACTION a reçu l'accord éthique du Comité de Protection des Personnes SOOM-1 (numéro : ID-RCB 2021-A00482-39) et est en accord avec les principes de la déclaration d'Helsinki. Ce projet a été enregistré prospectivement sur ClinicalTrials.gov (numéro : NCT05211674).

### 4.2.2. Participants

Deux groupes d'individus ont été inclus dans ATTRACTION : un groupe de pBPCO et un groupe *contrôle*. Pour le groupe BPCO les critères d'inclusions et d'exclusions sont présentés dans le *tableau 5*.

**Tableau 5. Critères d'inclusion et d'exclusion du projet ATTRACTION.**

<b>Critères d'inclusion</b>	BPCO stade 2 ou 3 (A-D) avec un diagnostic confirmé selon les critères GOLD (3)
	Conformément à l'article L1121-8-1 du Code de la santé publique, les participants doivent être affiliés à un régime de sécurité sociale ou bénéficiaires d'un tel régime.
<b>Critères d'exclusion</b>	Présence d'une oxygénothérapie de longue durée ou à l'effort,
	Présence d'une pathologie diagnostiquée médicalement engendrant des troubles manifestes de l'équilibre,
	Impossibilité de marcher sur 150 m sans s'arrêter et de monter ou descendre des escaliers,
	Antécédents de pneumonectomie ou lobectomie dans les six derniers mois
	Existence d'une exacerbation aigue respiratoire dans les deux derniers mois

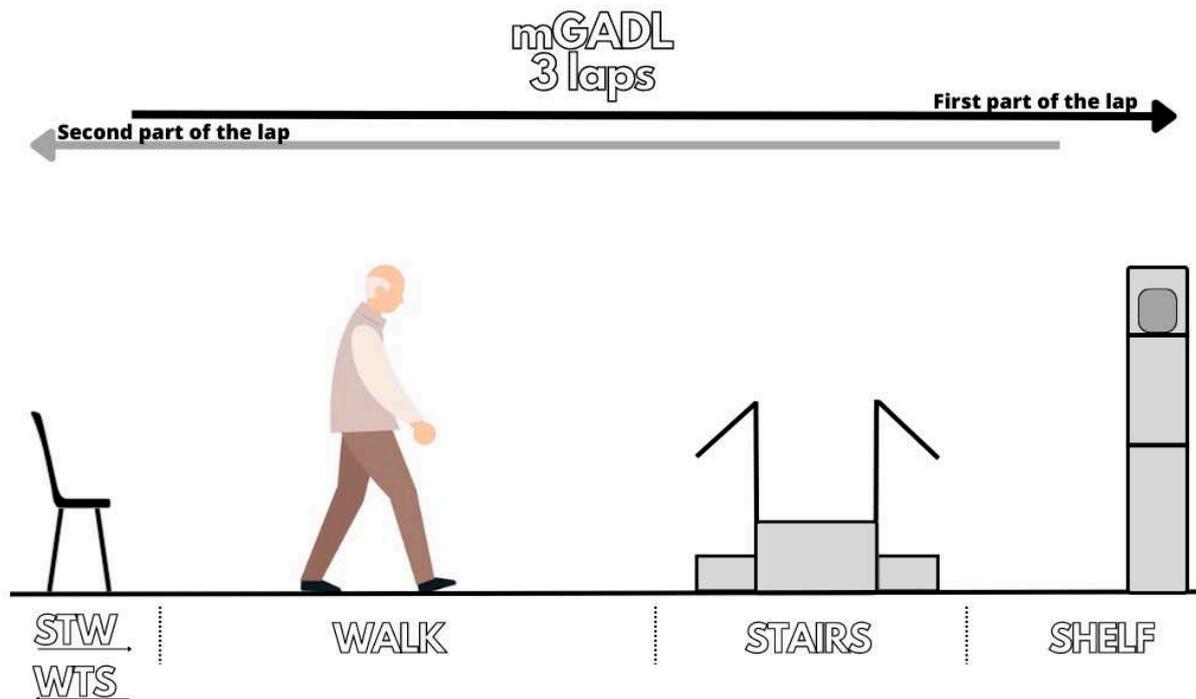
<b>Critères d'exclusion (suite)</b>	Présence de troubles manifestes de la fonction cognitive empêchant la bonne compréhension des consignes
	Indice de masse corporelle inférieur à 21 ou supérieur à 35 kg/m <sup>2</sup> .
	Personne visée aux articles L. 1121-5 à L. 1121-8 et L. 1121-12 du code de la santé publique : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Femme enceinte, parturiente ou allaitante</li> <li>- Personne privée de liberté par décision judiciaire ou administrative</li> <li>- Personne hospitalisée sans consentement et ne faisant pas l'objet d'une mesure de protection légale, et personne admise dans un établissement sanitaire ou social à d'autres fins que celle de la recherche</li> <li>- Mineur</li> <li>- Personne soumise à une période d'exclusion pour une autre recherche</li> <li>- Personne majeure faisant l'objet d'une mesure de protection légale (tutelle, curatelle ou sauvegarde de justice), personne majeure hors d'état d'exprimer leur consentement et ne faisant pas l'objet d'une mesure de protection</li> </ul>
	Personne faisant l'objet de soins psychiatriques

La constitution du groupe contrôle était réalisée selon une procédure de *frequency-matching* avec l'âge et le sexe désigné à la naissance comme paramètres d'intérêts (251). Cette procédure est employée pour un meilleur contrôle des facteurs confondants (252).

#### 4.2.3. Procédure expérimentale

Les participants réalisaient un test fonctionnel d'AVQ, qui correspondait à une version modifiée du Glittre-ADL (mGADL), réalisé sans sac à dos comme initialement décrit par Skumlien et al. (249). Cette adaptation sans sac à dos a été décidée pour des raisons techniques de positionnement des marqueurs utilisés dans le cadre de la capture du mouvement (qui sera détaillée dans le paragraphe ci-dessous [4.2.4](#)). Le mGADL consistait en trois tours des tâches suivantes (*figure 27*) : 1. Transfert Assis-Marche (STW) ; 2. Marche sur 10 mètres (WALK) ; 3. Monter et descendre deux marches d'escaliers (STAIRS) ; 4. Déplacer trois objets d'un kilogramme chacun sur une étagère (SHELF) ; 5. STAIRS ; 6. WALK ; 7. Transfert marche-assis (WTS). La première partie du tour (ALLER) était définie comme la partie allant du début du STW à la fin de SHELF. La seconde partie du tour (RETOUR) allait de la fin de SHELF à

la fin du WTS. La description complète du mGADL et la définition des tâches est détaillée en [Annexe 9](#). Les consignes données aux participants étaient de réaliser le test à “une vitesse confortable pour eux, comme s'ils étaient à leur domicile” et les pauses étaient autorisées. Les données issues du mGADL étaient utilisées dans ATT1 et ATT2.



**Figure 27. Représentation graphique du mGADL.**

Les participants réalisaient également deux TUG (étudiés dans ATT3) : un TUG sans tâche cognitive additionnelle (TUGN) et un TUG avec une tâche cognitive supplémentaire (TUGC). Le TUG est un test d'équilibre fonctionnel qui consiste à se lever d'une chaise, marcher jusqu'à une marque positionnée sur le sol (située à trois mètres du point de départ), faire un demi-tour puis revenir jusqu'à la position initiale (*figure 28*) (253). Dans cette étude, les consignes données aux participants étaient de réaliser le test à “une vitesse confortable pour eux, comme s'ils étaient à leur domicile”. La tâche cognitive additionnelle consistait en un compte à rebours, en partant de 100, et en retirant trois à chaque fois.

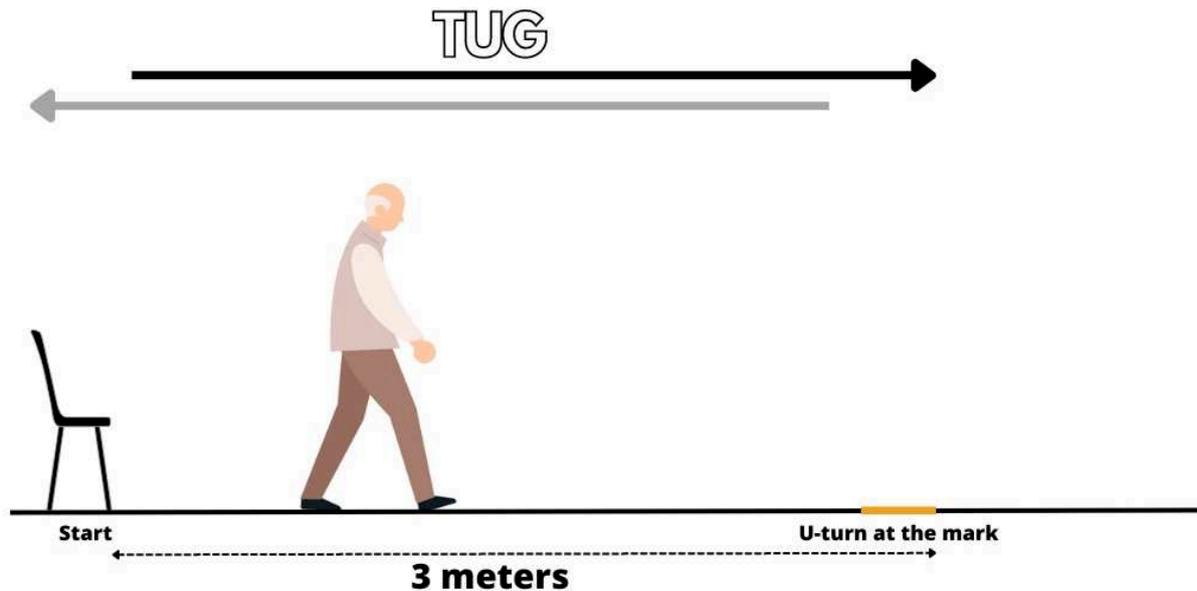


Figure 28. Représentation graphique du TUG.

#### 4.2.4. Acquisition et traitement des données

Une analyse biomécanique du mouvement était réalisée pendant le mGADL et les TUG. Les données cinématiques du corps entier étaient capturées à 100 Hz en utilisant un système de 24 caméras infra-rouges (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden). Quarante-quatre marqueurs réfléchissants étaient disposés sur les participants selon les recommandations de l'International Society of Biomechanics (254,255) (figure 29). Au cours de l'étude, deux marqueurs additionnels ont été ajoutés en regard de la crête iliaque droite et gauche pour assurer une meilleure reconstruction des trajectoires lors de la tâche SHELF. Les trajectoires des marqueurs étaient identifiées par l'intermédiaire de modèles développés spécifiquement et par inspection humaine, sur le logiciel Qualisys Track Manager v.2021.1 (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden). Le remplissage (*gap-filling*) des parties manquantes était réalisé en employant des modèles relationnels. Pour chaque fichier et chaque trajectoire, une détection des pics était réalisée, et en cas de détection, un filtre (de type *moving average*) était appliqué aux parties concernées (256). Les fichiers C3D obtenus via le système de capture étaient

ensuite exportés vers le logiciel MATLAB (Mathworks, Natick, USA) et la librairie CusTom (257) était employée pour déterminer la position du CDM en combinant les données anthropométriques et un modèle incorporant 13 segments corporels.

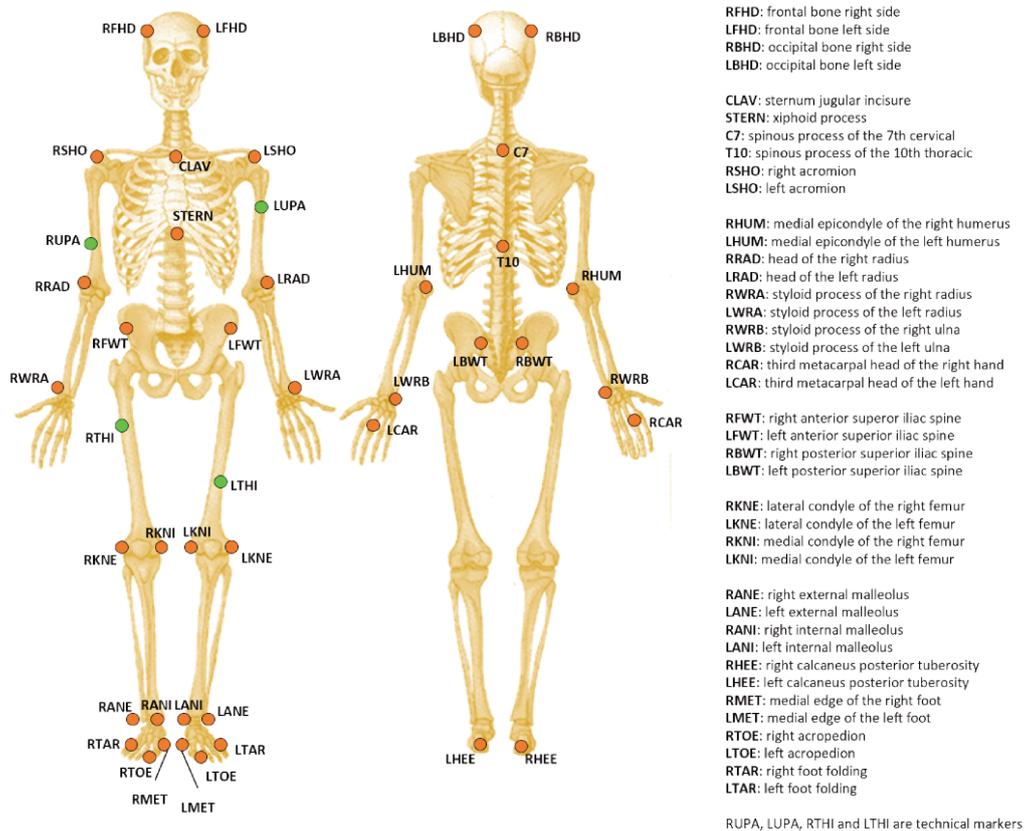


Figure 29. Positionnement des marqueurs dans le projet ATTRACTION.

#### 4.2.5. Critères de jugement

##### Critères de jugements en lien avec le CDM

Le choix a été fait dans le projet ATTRACTION de sélectionner des paramètres relativement simples (46), employés dans des travaux antérieurs dans des tâches similaires (45,85,86) et reflétant le plus directement possible le contrôle postural (43,258). Les paramètres de CDM utilisés dans cette étude étaient les suivants : la vitesse moyenne du CDM ( $V_{moy}$  CDM), l'écart-type de la vitesse du CDM ( $varV$  CDM), la vitesse pic ( $picV$  CDM) et les marges de stabilité (MOS).

Pour les formules qui vont suivre, nous supposons que la trajectoire du CDM contient  $N$  points de données enregistrés au cours d'un temps expérimental  $T$ .

La  $V_{moy\ CDM}$  était déterminée comme la somme des valeurs absolues des déplacements du CDM, divisée par la durée de réalisation de la tâche :

$$dep\ CDM = \sum_n |C_{n+1} - C_n|$$

$$V_{moy\ CDM} = \frac{dep\ CDM}{T}$$

Où  $dep\ CDM$  représente le déplacement total du CDM dans une direction donnée, et  $C_n$  les coordonnées du CDM sur l'axe concerné pour un point  $n$  tel que  $1 \leq n \leq N-1$

La variabilité de la vitesse du CDM ( $varV\ CDM$ ) était calculée comme l'écart-type des vitesses du CDM mesurées pendant les tâches réalisées. Avec  $V$  la vitesse du CDM dans la direction concernée, telle que :

$$V = \frac{|C_{n+1} - C_n|}{\frac{1}{f}}$$

Où  $f$  représente la fréquence d'acquisition des données, soit 100 Hz ici. Et ainsi :

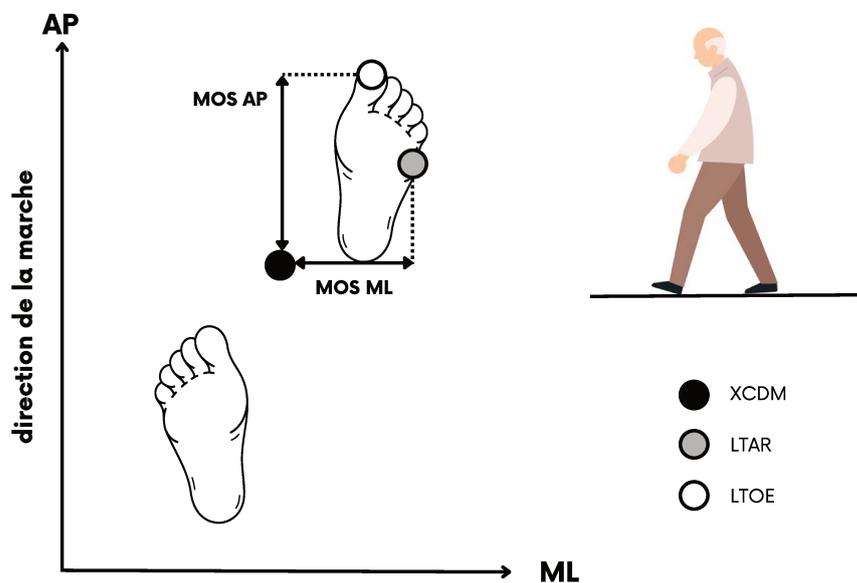
$$varV\ CDM = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_n (V_n - \bar{V})^2}$$

La vitesse pic du CDM était déterminée comme la vitesse maximale mesurée durant les tâches. On obtenait en alors :

$$picV\ CDM = \max_n |V|$$

Tous ces paramètres étaient calculés dans les directions antéro-postérieure (AP), médio-latérale (ML) et verticale (Z), pour l'ensemble du mGADL, pour chaque STW, STAIRS, SHELF et WTS ainsi que pour le TUGN et le TUGC.

Pour la tâche WALK, il a été spécifiquement choisi d'utiliser les MOS comme paramètre d'intérêt en raison de la validité conceptuelle des MOS à la marche (45) et de l'existence d'un travail antérieur chez les pBPCO employant ces paramètres à marche (138). Les MOS dans les directions AP et ML étaient déterminées à chaque attaque du talon du cycle de marche (figure 30). La MOS était définie comme la différence entre l'extrémité de la base de support et le CDM extrapolé (XCDM) (92). L'extrémité de la base de support (BOS) était définie comme : en AP, la position en AP du marqueur du gros orteil (RTOE ou LTOE), et en ML comme la position en ML du marqueur latéral de l'avant-pied (RTAR ou LTAR).



**Figure 30. Représentation des marges de stabilité.**

AP : antéro-postérieur ; LTAR : marqueur latéral de l'avant pied gauche ; LTOE : marqueur du gros orteil du pied gauche ; ML : médio-latéral ; MOS : marge de stabilité ; XCDM : centre de masse extrapolé.

Les marges de stabilité représentés ici le sont pour une attaque talon du pied gauche. Ce schéma est adapté de Watson et al. (45)

Ainsi, la formule de calcul du XCDM était la suivante :

$$XCDM = CDM + \frac{V}{\sqrt{\frac{g}{l}}}$$

Où  $g$  est l'accélération gravitationnelle,  $l$  la hauteur du CDM (soit la coordonnée du CDM en Z) et  $V$  la vitesse du CDM dans la direction concernée.

La formule de la MOS était alors la suivante :

$$MOS = BOS - XCDM$$

Où BOS représente l'extrémité de la base de support.

Un récapitulatif des paramètres de CDM utilisés en fonction des tâches est présenté dans le *tableau 6*.

**Tableau 6. Récapitulatif des paramètres de CDM employés dans l'étude ATTRACTION.**

Tâche	Paramètres de CDM	Directions
<b>mGADL</b>	Vitesse moyenne du CDM	AP, ML, Z
	Variabilité de la vitesse du CDM	
	Vitesse pic du CDM	
<b>STW</b>	Vitesse moyenne du CDM	AP, ML, Z
	Variabilité de la vitesse du CDM	
	Vitesse pic du CDM	
<b>WALK</b>	MOS moyenne	AP et ML
	Variabilité des MOS	
<b>STAIRS</b>	Vitesse moyenne du CDM	AP, ML, Z
	Variabilité de la vitesse du CDM	
	Vitesse pic du CDM	
<b>SHELF</b>	Vitesse moyenne du CDM	AP, ML, Z
	Variabilité de la vitesse du CDM	
	Vitesse pic du CDM	
<b>WTS</b>	Vitesse moyenne du CDM	AP, ML, Z
	Variabilité de la vitesse du CDM	
	Vitesse pic du CDM	
<b>TUGN</b>	Vitesse moyenne du CDM	AP, ML, Z
	Variabilité de la vitesse du CDM	
	Vitesse pic du CDM	
<b>TUGC</b>	Vitesse moyenne du CDM	AP, ML, Z
	Variabilité de la vitesse du CDM	
	Vitesse pic du CDM	

*Abréviations* : AP : antéro-postérieure ; CDM : centre de masse ; mGADL : Glittre-ADL modifié ; ML : médio-latérale ; SHELF : tâche de mobilisation d'objet sur étagère ; STW : transfert assis-marche ; STAIRS : tâche de montée et descente de 2 marches ; TUGC : timed up and go avec tâche cognitive TUGN : timed up and go test normal ; WALK : tâche de marche ; Z : verticale.

Les temps de complétion pour le mGADL complet, pour les différentes sous-tâches ainsi que pour les TUG étaient également calculés.

## Facteurs cliniques

Des facteurs cliniques étaient également étudiés au cours de ce projet ATTRACTION, ils sont présentés dans le *tableau 7*, avec les études du projet où ils sont exploités (ATT1, ATT2 ou ATT3).

**Tableau 7. Résumé des facteurs cliniques évalués au cours d'ATTRACTION.**

Domaines	Paramètres	pBPCO	pCTRL	ATT
<b>Anthropométrie</b>	Âge	✓	✓	1 2 3
	Taille	✓	✓	1 2 3
	Poids	✓	✓	1 2 3
<b>Composition Corporelle</b>	IMC	✓	✓	2
	Pourcentage de masse grasse	✓	✓	2
	Index normalisé de masse maigre	✓	✓	2
<b>Dyspnée</b>	MMRC	✓	✗	2
	LCADL	✓	✗	2
	EN avant/après mGADL	✓	✓	2
	MDP après mGADL	✓	✗	2
<b>Douleur</b>	EVA douleur actuelle	✓	✓	2
	EVA douleur moyenne sept derniers jours	✓	✓	2
	EVA douleur maximale des sept derniers jours	✓	✓	2
<b>Force muscles inspireurs</b>	PiMAX	✓	✓	2
<b>Chutes</b>	Chutes rapportées sur les 12 derniers mois	✓	✓	2
<b>Peur de chuter</b>	FES-I	✓	✓	2
<b>Activité Physique</b>	IPAQ	✓	✓	2
<b>Sédentarité</b>	IPAQ	✓	✓	2
<b>Comorbidités</b>	Charlson index	✓	✓	2
<b>Capacités cognitives</b>	GP-COG	✓	✓	2
<b>Qualité de vie</b>	CAT	✓	✗	2

*Abréviations* : ATT : étude du projet ATTRACTION où la variable est exploitée ; CAT : COPD Assessment Test ; EVA : échelle visuelle analogique ; EN : échelle numérique ; FES-I : Falls efficacy Scale-International ; GP-COG : general practitioner cognitive test ; IMC : indice de masse corporelle ; IPAQ : International Physical Activity Questionnaire ; MDP : multi-dimensionnal dyspnea profile ; MMRC : modified Medical Research Council scale ; PiMAX : pression inspiratoire maximale.

✓ évalué ; ✗ non évalué

### *Données anthropométriques*

L'âge du participant était recueilli. La taille était mesurée sur une toise installée à demeure au laboratoire Mouvement, Sport, Santé. Le poids était mesuré au laboratoire sur une balance Tanita DC-360 (Tanita Corporation, Tokyo, Japan).

### *Composition corporelle*

La composition corporelle était évaluée par impédancemétrie sur une balance Tanita DC-360 (Tanita Corporation, Tokyo, Japan). Les paramètres relevés étaient l'IMC, le pourcentage de masse grasse et le pourcentage de masse maigre. L'index normalisé de masse maigre (nFFMI) (259) était ensuite calculé (via FFMI calculator (260)).

### *Dyspnée*

La dyspnée était évaluée de plusieurs façon : les impacts de la dyspnée dans le quotidien des participants étaient évalués par le MMRC et le LCADL ; les dimensions sensorielles et affectives de la dyspnée étaient évaluées au décours du mGADL par le MDP ; enfin, l'intensité de la dyspnée au cours du mGADL était évalué par une échelle numérique de 0 à 10 points. L'outil MMRC est une échelle de zéro à quatre, évaluant l'impact général de la dyspnée dans le quotidien des pBPCO (229). Le questionnaire LCADL est un outil développé pour évaluer l'impact de la dyspnée dans 15 AVQ différentes (230). Le questionnaire MDP est un outil composite qui évalue les dimensions affectives et sensorielles de la dyspnée en lien avec une activité précise (231). Le MDP est séparé en trois différentes échelles (A1 et A2 concernant la dimension affective de la dyspnée et QS concernant la dimension sensorielle de la dyspnée). Tous ces questionnaires ont été validés pour la population BPCO (229,230,261), sont fiables (261–263), et sont traduits en français (232,233).

L'échelle numérique donne un score de 0 à 10, où 0 représente une absence de dyspnée et 10 la pire dyspnée imaginable (264). L'emploi de l'échelle numérique pour évaluer la dyspnée est valide et fiable chez les pBPCO (264).

### *Douleur*

La localisation des douleurs au moment de la réalisation du protocole était évaluée par dessin (*pain drawing*) : les participants étaient invités à représenter leur douleur sur un modèle de corps humain. L'évaluation de la douleur par dessin est une méthode valide et fiable (265).

L'intensité de la douleur du moment était évaluée sur une échelle visuelle analogique (EVA), tout comme la douleur « moyenne » sur les sept derniers jours et la douleur maximale sur les sept derniers jours. L'EVA donne un score de douleur entre 0 et 10 (un score élevé représente une douleur élevée). L'EVA est outil valide, fiable et largement employé pour évaluer la douleur dans de nombreuses conditions pathologiques (266,267).

### *Force des muscles inspireurs*

La force des muscles inspireurs était évaluée par l'intermédiaire de la PiMAX. La PiMAX était obtenue avec le dispositif AIROFIT (Airofit A/S, Copenhagen, Denmark) (268). La mesure de la PiMAX était réalisée par le participant en position assise, où la valeur maximale de trois essais variant de moins de 10% était retenue, en accord avec les recommandations de l'European Respiratory Society (223).

### *Chutes*

Il était demandé au participant de nous faire part des éventuelles chutes qu'il aurait connu au cours des douze derniers mois. Le contexte de chaque épisode était également relevé.

### *Peur de Chuter*

La peur de chuter était évaluée par le Fall Efficacy Scale-International (FES-I) (237), qui est un auto-questionnaire, précédemment employé dans les recherches sur la peur de chuter des pBPCO (117,238). Il consiste en 16 items, scorés de 1 à 4 par le répondant. Le score total est ainsi entre 16 et 64 points, un score élevé indiquant une peur de chuter importante. Le FES-I

a montré sa validité et sa fiabilité dans plusieurs populations avec des atteintes du contrôle postural (269).

### *Activité physique et sédentarité*

L'activité physique et la sédentarité étaient évaluées par la version française de l'International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) (270,271). L'IPAQ est un questionnaire explorant quatre domaines différents (activités physiques vigoureuses, activités physiques modérées, la marche et le comportement sédentaire). L'IPAQ a des qualités métrologiques raisonnables pour monitorer les niveaux d'activité physique d'adultes (272).

### *Comorbidités*

Le niveau de comorbidités était évalué par l'index de Charlson (273,274). Cet outil considère le niveau de sévérité de 19 comorbidités potentielles, en donnant pour chacune un score pondéré en fonction de l'association de la comorbidité avec la mortalité à un an (273). La version utilisée dans le projet ATTRACTION est également pondérée en fonction de la décade d'âge (274). Un score élevé de l'index de Charlson indique un niveau de comorbidités important et un moins bon pronostic (274).

### *Capacités cognitives*

L'évaluation des capacités cognitives était réalisée par le General Practitioner-Cognitive test (GP-COG) (275). Le GP-COG est un questionnaire simple développé pour détecter une dysfonction cognitive dans la pratique clinique, qui a été traduit et validé en français (276).

### *QdV liée à la BPCO*

La QdV liée à la BPCO était évaluée par le COPD Assessment Test (CAT) (235). Le CAT est un questionnaire évaluant l'impact de la BPCO sur le statut de santé. Le CAT totalise huit items, chacun scoré sur une échelle de 1 à 5 points. Les scores totaux du CAT peuvent donc

aller de 0 à 40 points, où un score élevé dénote un impact sévère de la BPCO dans la vie de la personne. Le CAT a montré sa validité et sa fiabilité chez les pBPCO (277).

#### 4.2.6. Calcul du nombre de participants nécessaires

En raison de la nature exploratoire de l'étude, le calcul du nombre de participants a été réalisé en utilisant deux critères de jugement différents, avec une puissance de 80% et un risque alpha fixé à 5%. Un premier calcul a été effectué avec les MOS dans la direction ML : en se basant sur les données de l'étude de Fallahtafi et al. (138), un nombre de 16 participants par groupe était requis pour détecter une différence entre les groupes. Le second calcul a été réalisé sur la durée de réalisation de la sous-tâche WTS : en se basant sur le travail de Janssens et al. (144), il a été déterminé que deux groupes de neuf participants serait nécessaire. Finalement, un échantillon de 32 participants répartis en deux groupes de 16 a été planifié pour cette étude. Les calculs de participants nécessaires ont été réalisés avec Sample size calculator (ClinCalc LLC, USA).

Le projet ATTRACTION a ensuite suivi trois axes d'analyses :

1. L'analyse discriminative des paramètres de contrôle postural au cours de tâches de la vie quotidienne entre personnes avec et sans BPCO (ATT1).
2. L'analyse des associations entre contrôle postural au cours de tâches quotidiennes et facteurs cliniques chez les participants (ATT2).
3. L'analyse de l'impact d'une tâche cognitive sur le contrôle postural des personnes avec et sans BPCO (ATT3).

Les caractéristiques des participants au projet ATTRACTION sont présentées dans le *tableau 8* ci-dessous, puis les résultats des trois parties (ATT1, ATT2 et ATT3) sont présentés séparément dans la suite du manuscrit.

**Tableau 8. Caractéristiques des participants au projet ATTRACTION en fonction de leur groupe.**

Variables	Groupe BPCO (n=16)	Groupe contrôle (n=16)	Valeur p	Taille de l'effet
Âge (ans)	64.8 (9)	64.5 (8)	0.917 <sup>a</sup>	-0.04 <sup>§</sup>
Sexe (f/h)	7/9	7/9	1.000 <sup>b</sup>	ND
Taille (cm)	170 (9)	167 (9)	0.525 <sup>a</sup>	-0.23 <sup>§</sup>
Poids (kg)	80 (15)	76 (12)	0.363 <sup>a</sup>	-0.33 <sup>§</sup>
IMC	27 [8.25]	27 [3.5]	0.634 <sup>c</sup>	0.10 <sup>μ</sup>
Masse grasse (%)	32.9 (8.7)	29.3 (7.6)	0.229 <sup>a</sup>	-0.44 <sup>§</sup>
nFFMI	19.1 (2.6)	19.6 (1.4)	0.485 <sup>a</sup>	0.25 <sup>§</sup>
VEMS (% théo.)	54 (14)	ND	ND	ND
PiMAX (cmH <sub>2</sub> O)	80 (27)	102 (30)	<b>0.038</b> <sup>a</sup>	0.76 <sup>§</sup>
Charlson Index	4 [3]	2 [1.25]	<b>0.005</b> <sup>b</sup>	0.57
Dyspnée (fin mGADL)	4.7 (2.5)	1.7 (1.5)	<b>&lt; 0.001</b>	-1.40
MMRC	2 [1.25]	ND	ND	ND
MDP A1 / A2 /QS	4.5 [4.25] / 0 [4.25] / 10 [15]	ND	ND	ND
LCADL	18.5 [14]	ND	ND	ND
Douleur actuelle	0.5 [2.25]	1 [2]	0.874 <sup>b</sup>	0.04 <sup>μ</sup>
Douleur moy 7 derniers jours	2 [3]	2.5 [2.25]	0.774 <sup>b</sup>	0.06 <sup>μ</sup>
Douleur max 7 derniers jours	5 [5]	6 [6]	0.456 <sup>b</sup>	0.16 <sup>μ</sup>
GP-COG	8 [1]	9 [1.25]	0.668 <sup>b</sup>	0.09 <sup>μ</sup>
Chutes	0.5 [1.25]	0 [1]	0.150 <sup>b</sup>	0.27 <sup>μ</sup>
FES-I	20 [6]	19 [4.25]	0.909 <sup>b</sup>	0.27 <sup>μ</sup>
IPAQ intense (min/jour)	37.5 [60]	5 [67.5]	0.723 <sup>b</sup>	0.07 <sup>μ</sup>
IPAQ modéré (min/jour)	45 [90]	60 [90]	0.264 <sup>b</sup>	0.23 <sup>μ</sup>
IPAQ marche (min/jour)	15 [52.5]	60 [51]	0.056 <sup>b</sup>	0.40 <sup>μ</sup>
IPAQ séd (heure/jour)	5 [2.5]	5 [1.75]	0.790 <sup>b</sup>	0.06 <sup>μ</sup>
CAT	15.1 (6.5)	ND	ND	ND

*Abréviations* : BPCO : Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive ; CAT : COPD Assessment test ; GP-COG : General Practitioner Cognitive test ; f : femmes ; FES-I : Falls Efficacy Scale-International ; h : hommes ; IMC : indice de masse corporelle ; IPAQ : International physical activity questionnaire ; LCADL : London chest activities of daily living questionnaire ; max : maximale ; MDP : multi-dimensional dyspnea profile ; MMRC : modified Medical Research Council scale moy : moyenne ; nFFMI : normalized Fat-Free Mass Index ; mGADL : modified Glittre-ADL test ; ND : non disponible ; PiMAX : pression inspiratoire maximale ; %théo : pourcentage de la théorie ; VEMS, volume expiratoire maximal en une seconde. Les données sont présentées en moyenne (écart-type) ou médiane [écart interquartile]. Le gras indique des valeurs p significatives.

<sup>a</sup> indique l'emploi d'un test t de Student ; <sup>b</sup> indique l'emploi d'un test de Mann-Whitney ; <sup>c</sup> indique l'emploi d'un test  $\chi^2$ . <sup>§</sup> indique que la taille de l'effet a été calculée avec le *d* de Cohen ; <sup>μ</sup> indique que la taille de l'effet a été calculée avec la corrélation bisériée des rangs.

#### **4.3. Partie 1. Analyse discriminative du contrôle postural au cours de tâches de la vie quotidienne (ATT1)**

Cette partie a fait l'objet d'un article soumis à la revue *Gait and Posture* ([Annexe 10](#)).

##### **4.3.1. Objectif**

L'objectif de cette partie 1 du projet ATTRACTION était de comparer les paramètres de CDM des pBPCO et des participants *contrôles* au cours d'une séquence d'AVQ (par l'intermédiaire du mGADL).

##### **4.3.2. Méthodes spécifiques**

Dans cette partie 1, les analyses portent sur les paramètres de CDM issues de la capture du mouvement en 3D au cours du mGADL réalisé par chacun des 32 participants (voir au [4.2.3](#) pour plus de détails).

##### **Analyse statistique**

Les variables descriptives étaient présentées en moyenne (écart-type), médiane [écart interquartile] ou en nombre d'occurrence, selon les cas. Une analyse visuelle des graphiques et un test de Shapiro-Wilk étaient employés pour évaluer la normalité des données. L'homogénéité des variances était évaluée par le test de Levene et la sphéricité par le test de Mauchly. Les comparaisons inter-groupes étaient réalisées par l'intermédiaire du test de Student, du test de Mann-Whitney ou du test du  $\chi^2$ . Une analyse de variance (ANOVA) pour mesures répétées ou des modèles non-paramétriques de type ANOVA (disponible sur le package *nparLD* du logiciel R ) (278) étaient employées pour déterminer l'effet du groupe (BPCO, *contrôle*), des tours (tour 1, tour 2, tour 3) ou de la partie du tour (ALLER, RETOUR) et des potentielles interactions. Les analyses *post hoc* étaient faites en appliquant la correction de Bonferroni. Le niveau de significativité était fixé pour tous les tests à 0.05. Quand

disponibles, les tailles de l'effet étaient calculées avec le  $d$  de Cohen (279), la corrélation bisériée des rangs ( $r^{bc}$ ) (280), l'eta squared généralisé ( $\eta^{2G}$ ) (281) ou l'Effet Relatif du Traitement (RTE) (278), selon les situations. Les analyses statistiques étaient réalisées avec le logiciel Jamovi (v.2.3; The Jamovi Project) et le logiciel R (v.4.2.2; R Core Team).

#### 4.3.3. Résultats

32 participants (16 personnes avec une BPCO modérée à sévère et 16 *contrôles*) ont complété l'étude. Leurs caractéristiques ont été détaillées dans le *tableau 8* (présenté p.85) et les caractéristiques démographiques (âge et sexe) et morphologiques (taille, poids, composition corporelle) des participants étaient comparables entre les deux groupes.

Les pBPCO mettaient plus de temps pour réaliser le mGADL (temps médian : 219 [64] vs 184 [43] secondes,  $p = 0.047$ ;  $d = 0.41$ ). Concernant les sous-tâches, le temps de complétion était plus important chez les pBPCO pour le WTS ( $F = 4.56$ ;  $p = 0.041$ ;  $\eta^2_G = 0.112$ ), la durée des pauses ( $U = 94.0$ ;  $p = 0.003$ ;  $r^{bc} = 0.58$ ) et une tendance était notée pour STAIRS ( $F = 3.75$ ;  $p = 0.053$ ; RTE = 0.18). Il n'y avait de différence significative pour le temps de complétion des autres sous-tâches.

#### mGADL

Les comparaisons inter-groupes et les tailles de l'effet correspondantes pour les paramètres de CDM durant le mGADL sont détaillées dans le *tableau 9*. Les pBPCO présentaient des valeurs significativement plus basses pour la vitesse moyenne du CDM dans les directions AP, ML et Z, pour la variabilité de la vitesse du CDM dans les directions ML et Z, ainsi que pour la vitesse pic du CDM dans la direction Z.

**Tableau 9. Comparaisons inter-groupes des paramètres de CDM au cours du mGADL.**

Variables	Groupe BPCO	Groupe <i>contrôle</i>	Paramètres statistiques
Vmoy CDM AP (m.s <sup>-1</sup> )	0.367 (0.08)	0.439 (0.11)	<b>p = 0.042</b> ; <i>d</i> = 0.75
Vmoy CDM ML (m.s <sup>-1</sup> )	0.054 (0.01)	0.070 (0.01)	<b>p &lt; 0.001</b> ; <i>d</i> = 1.35
Vmoy CDM Z (m.s <sup>-1</sup> )	0.108 (0.03)	0.132 (0.02)	<b>p = 0.011</b> ; <i>d</i> = 0.96
varV CDM AP (m.s <sup>-1</sup> )	0.451 (0.10)	0.497 (0.07)	p = 0.161; <i>d</i> = 0.51
varV CDM vel ML (m.s <sup>-1</sup> )	0.060 (0.01)	0.070 (0.01)	<b>p = 0.028</b> ; <i>d</i> = 0.82
varV CDM vel Z (m.s <sup>-1</sup> )	0.129 (0.02)	0.151 (0.02)	<b>p = 0.008</b> ; <i>d</i> = 1.00
PicV CDM AP (m.s <sup>-1</sup> )	1.337 [0.18]	1.413 [0.23]	p = 0.128; <i>r</i> = 0.32
PicV CDM ML (m.s <sup>-1</sup> )	0.403 [0.10]	0.463 [0.15]	p = 0.171; <i>r</i> = 0.29
PicV CDM Z (m.s <sup>-1</sup> )	0.684 [0.05]	0.765 [0.08]	<b>p = 0.014</b> ; <i>r</i> = 0.51

*Abréviations* : AP : antéro-postérieur ; BPCO : broncho-pneumopathie obstructive ; CDM : centre de masse ; ML : médio-latéral ; Vmoy : vitesse moyenne ; varV : variabilité de la vitesse ; PicV : vitesse pic ; Z : vertical. Les résultats sont présentés en moyenne (écart-type) ou médiane [écart-interquartile].

Le gras indique une valeur p significative.

*d* indique que la taille de l'effet a été calculée avec la formule du *d* de Cohen.

*r* indique que la taille de l'effet a été calculée avec la formule de la corrélation bisériée des rangs.

### Sous-tâches

Le résumé des analyses de paramètres de CDM pour le STW, WALK, STAIRS, SHELF et WTS est présenté dans le *tableau 10*. Les détails de ces analyses sont disponibles en [Annexe 11](#).

#### STW

Au cours du STW, aucun effet du groupe n'était observé sur les paramètres de CDM. Un effet du tour sur la vitesse moyenne du CDM en ML ( $F = 3.74$ ;  $p = 0.029$ ;  $\eta^2_G = 0.043$ ) était observé mais les tests post hoc ne révélaient pas de différences significatives entre les tours.

#### WALK

Au cours de WALK, aucun effet du groupe n'était observé sur les moyennes ou la variabilité des MOS en AP et ML. Un effet significatif de la partie du tour était retrouvé pour la majorité des paramètres de MOS (excepté pour la vitesse pic du CDM en ML et il existait une tendance

pour la vitesse pic du CDM en Z ( $F = 3.70$ ;  $p = 0.054$ ;  $RTE = 0.15$ ), indiquant des valeurs plus élevées pour la seconde partie de chaque tour. Un effet d'interaction entre le groupe et la partie du tour était retrouvé pour la vitesse moyenne du CDM en ML ( $F = 5.32$ ;  $p = 0.028$ ;  $\eta^2_G = 0.021$ ), néanmoins les tests post hoc révélaient simplement une augmentation de ce paramètre dans la seconde partie du tour, indépendamment du groupe.

**Tableau 10. Résumé graphique des analyses des paramètres de CDM pour les différentes sous-tâches.**

Paramètres du CDM									
Sous-tâches	Paramètres de déplacements <sup>a</sup>			Paramètres de variabilité <sup>b</sup>			Vitesse pic		
	AP	ML	Z	AP	ML	Z	AP	ML	Z
STW	X	X <sub>T</sub>	X	X	X	X	X	X	X
WALK	X	X <sub>G*P</sub>	X	X	X	X	X	X	X
STAIRS	X <sub>T, P</sub> T*P	X <sub>P</sub>	✓ <sub>T</sub>	X <sub>P</sub>	X <sub>P</sub>	X <sub>T</sub>	X <sub>T</sub> G*T	X <sub>P</sub>	X <sub>T</sub> G*T
SHELF	✓	◇ <sub>T</sub>	X <sub>T</sub>	X	◇	✓ <sub>T</sub> G*T	X	X	✓
WTS	X	✓	✓ <sub>T</sub>	X	X	◇ <sub>G*T</sub>	◇	X	X

*Abréviations* : AP, direction antéro-postérieure ; ML, direction médio-latérale ; STW, sit-to-walk ; WTS, walk-to-sit ; Z, direction verticale.

✓ indique un effet significatif du groupe (BPCO vs contrôles), indiquant toujours des valeurs plus faibles pour les pBPCO.

◇ indique une tendance (une valeur p entre 0.05 et 0.09) en faveur d'un effet du groupe (BPCO vs contrôles), indiquant toujours des valeurs plus faibles pour les pBPCO.

X indique l'absence d'effet du groupe (BPCO vs contrôles).

T indique un effet du tour.

P indique un effet de la partie du tour (ALLER vs RETOUR).

G indique le facteur groupe dans le contexte d'un effet d'interaction.

\* indique un effet d'interaction.

<sup>a</sup> pour STW, STAIRS, SHELF et WTS, les paramètres de déplacement correspondent à la vitesse moyenne du CDM ; pour WALK, les paramètres de déplacement correspondent aux marges de stabilité.

<sup>b</sup> pour STW, STAIRS, SHELF and WTS, les paramètres de variabilité correspondent à la variabilité de la vitesse du CDM ; pour WALK, les paramètres de variabilité correspondent à l'écart-type des marges de stabilité.

### *STAIRS*

Durant STAIRS, un effet du groupe était retrouvé pour la vitesse moyenne du CDM en Z ( $F = 5.64$ ;  $p = 0.017$ ;  $RTE = 0.21$ ), indiquant des valeurs plus basses dans le groupe BPCO. Une tendance en faveur de valeurs plus basses dans le groupe BPCO existait pour la vitesse moyenne du CDM en AP ( $F = 3.58$ ;  $p = 0.058$ ;  $RTE = 0.18$ ) et pour la vitesse pic du CDM en Z ( $F = 2.93$ ;  $p = 0.087$ ;  $RTE = 0.15$ ).

### *SHELF*

Au cours de SHELF, un effet du groupe était retrouvé pour la vitesse moyenne du CDM en AP ( $F = 4.31$ ;  $p = 0.047$ ;  $\eta^2_G = 0.106$ ), pour la vitesse pic du CDM en Z ( $F = 7.50$ ;  $p = 0.010$ ;  $\eta^2_G = 0.181$ ) et pour la variabilité de la vitesse du CDM en Z ( $F = 5.28$ ;  $p = 0.029$ ;  $\eta^2_G = 0.141$ ), indiquant à chaque fois des valeurs plus basses chez les pBPCO.

Une tendance en faveur de valeurs plus basses dans le groupe BPCO était observée pour la vitesse moyenne du CDM en ML ( $F = 4.13$ ;  $p = 0.051$ ;  $\eta^2_G = 0.110$ ) et pour la variabilité de la vitesse du CDM en ML ( $F = 3.12$ ;  $p = 0.077$ ;  $RTE = 0.16$ ).

### *WTS*

Un effet du groupe était observé durant le WTS pour la vitesse moyenne du CDM en ML ( $F = 5.62$ ;  $p = 0.024$ ;  $\eta^2_G = 0.069$ ) et en Z ( $F = 4.05$ ;  $p = 0.044$ ;  $RTE = 0.19$ ), indiquant des valeurs significativement plus basses dans le groupe BPCO. Il existait une tendance à des valeurs plus basses dans le groupe BPCO pour la variabilité de la vitesse du CDM en Z ( $F = 3.13$ ;  $p = 0.087$ ;  $\eta^2_G = 0.084$ ) et pour la vitesse pic du CDM en AP ( $F = 3.38$ ;  $p = 0.066$ ;  $RTE = 0.17$ ).

#### *4.3.4. Discussion*

Les pBPCO montraient des changements dans les paramètres de contrôle postural (vitesses moyennes du CDM plus basses, variabilité moins importante de la vitesse du CDM en ML et Z, et une vitesse pic du CDM en Z moins importante) au cours d'une séquence d'AVQ

comparativement aux *contrôles*. Cette étude met également en évidence des modifications du contrôle postural au cours de tâches spécifiques (comme monter et descendre des escaliers, déplacer des objets sur un étagère ou les transferts marche-assis). Ces résultats peuvent contribuer à la compréhension, aux futures recherches, aux évaluations et interventions liées aux modifications du contrôle postural des pBPCO.

### Contrôle postural des pBPCO au cours d'une séquence d'AVQ

Les résultats de cette étude montraient que les vitesses moyennes du CDM étaient réduites chez les pBPCO, ce qui indique une diminution des déplacements du CDM au cours des AVQ réalisées dans cette étude. A notre connaissance, cette étude est la première à explorer le contrôle postural de pBPCO au cours d'une séquence réaliste d'AVQ en employant la capture du mouvement en trois-dimensions. De façon cohérente avec nos résultats, une étude de Fallahtafi et al. (138) rapportaient des MOS plus importantes en ML chez les pBPCO, reflétant une stratégie plus prudente durant la marche. Pris ensemble, ces résultats peuvent refléter une régulation plus conservatrice du contrôle postural chez les pBPCO. La BPCO réduit les capacités et l'efficacité de plusieurs systèmes du corps humain (comme les systèmes cardio-pulmonaire, musculaires ou le système nerveux central) (8), conduisant à une augmentation de la dépense énergétique de repos (282). Ainsi, il est nécessaire pour le système nerveux central d'optimiser et de réguler les actions des systèmes du corps pour assurer la réalisation des actes quotidiens. En conséquence, une stratégie plus conservatrice de contrôle postural pourrait être adoptée par les pBPCO, car ces derniers ont une réserve énergétique opérationnelle plus basse pour réaliser les AVQ.

Dans cette étude, les pBPCO présentaient également des valeurs plus basses pour les paramètres de variabilité du CDM en ML et Z. La littérature scientifique est divisée sur le rôle de la variabilité de tels paramètres sur la bonne performance de contrôle postural (283). Certains auteurs ont suggéré qu'une variabilité élevée pouvait être associée avec une augmentation de l'instabilité (284,285). D'un autre côté, des études ont montré qu'une

variabilité élevée signait un comportement exploratoire nécessaire qui amenait à une meilleure stabilité (283,286). Il peut être émis l'hypothèse qu'un système de contrôle postural hautement performant permet des adaptations précises, fréquentes et rapides en réponses aux perturbations internes et externes (287,288). Dans le cas des pBPCO inclus dans cette étude, la diminution de la variabilité pourrait être cohérente avec la stratégie conservatrice de contrôle postural discutée plus haut. La BPCO pourrait imposer aux personnes de réaliser les tâches quotidiennes avec une stratégie efficiente sur le plan énergétique, en réduisant les déplacements globaux du CDM tout comme les micro-adaptations requises pour anticiper, agir et réagir dans la vraie vie.

Concernant les analyses des sous-tâches, nous avons observé des différences inter-groupes pour SHELF, STAIRS et WTS. Des recherches antérieures ont montré que SHELF et STAIRS étaient parmi les tâches les plus demandeuses physiologiquement au cours du Glittre-ADL (289,290). D'autre part, SHELF, WTS et STAIRS impliquent des contraintes biomécaniques multiples (comme des changements de niveaux, porter des objets, décélérer, tourner, coordonner les membres, en impliquant un nombre important de groupes musculaires) ce qui peut suggérer qu'elles sont les tâches du mGADL les plus complexes d'un point de vue biomécanique (291–294). Ainsi, on peut émettre l'hypothèse que les AVQ les plus complexes induisent des changements plus prononcés en terme de contrôle postural chez les pBPCO.

### Limites de l'étude

Ceci est une étude exploratoire et de nombreux paramètres de contrôle postural y ont été analysés. Même si un calcul de participants nécessaire a été réalisé, il est probable que la puissance est insuffisante pour plusieurs critères de jugement utilisés dans les analyses. Il n'est pas non plus possible d'extrapoler les résultats à l'entière population de BPCO. En effet, seulement des personnes avec BPCO modérées à sévères ont été incluses dans l'étude. Une autre limitation est que la séquence d'AVQ était réalisée dans un laboratoire et que les participants étaient équipés de nombreux marqueurs. Cela est éloigné de la vie réelle et

pourrait induire des changements dans les stratégies de mouvement employées par les participants comparativement à ce qu'ils font dans leurs vies quotidiennes.

#### Perspectives de recherche et implications cliniques

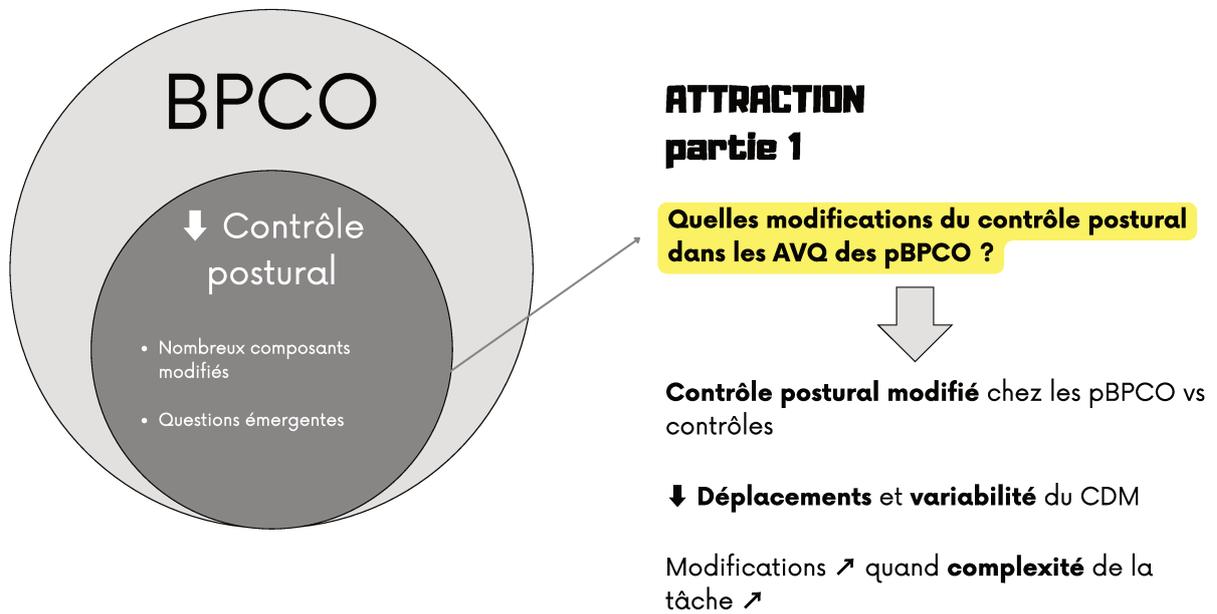
Afin d'établir des conclusions fermes sur le contrôle postural des pBPCO durant les AVQ, la réplication et la confirmation des résultats de la présente étude avec un échantillon plus large incluant des pBPCO de tous stades sont nécessaires. Durant ces AVQ, l'inclusion d'évaluations métaboliques pourrait aider la compréhension des modifications du contrôle postural des pBPCO. De plus, les recherches futures devront inclure des évaluations écologiques dans l'environnement quotidien des personnes afin de combler le fossé entre les analyses de laboratoire et ce qu'il se passe effectivement dans la vie quotidienne. A l'avenir, il serait également pertinent de clarifier l'association entre modifications du contrôle postural dans les AVQ et symptômes (particulièrement la dyspnée). Enfin, cette étude renforce le besoin pour les professionnels de santé impliqués d'inclure cette altération potentielle dans leur raisonnement clinique (dans leurs hypothèses *a priori*, tout comme dans leurs évaluations et interventions).

#### 4.3.5. Conclusion

Les personnes avec des BPCO modérées à sévères semblent présenter des modifications du contrôle postural au cours de tâches proches des AVQ. Cette stratégie alternative pourrait être une adaptation conservatrice liée à la pathologie et pourrait avoir des implications métaboliques et sur la stabilité au cours de la réalisation des tâches quotidiennes. Ces résultats mettent en lumière le besoin d'évaluer le contrôle postural des pBPCO et de spécifier les potentielles interactions entre ces modifications et les symptômes respiratoires expérimentés par ces derniers au cours des AVQ.

#### 4.3.6. Résumé graphique des points clés

Les points clés de la partie 1 de l'étude ATTRACTION sont présentés sur la *figure 31*.



**Figure 31.** Résumé graphique des résultats principaux de la partie 1 d'ATTRACTION.

#### **4.4. Partie 2. Analyse des associations entre contrôle postural au cours de tâches quotidiennes et facteurs cliniques (ATT2)**

##### **4.4.1. Objectif**

L'objectif de cette partie 2 du projet ATTRACTION était de préciser les associations entre les paramètres de contrôle postural au cours d'AVQ et les facteurs cliniques chez les pBPCO et les personnes *contrôles*.

##### **4.4.2. Méthodes spécifiques**

Les paramètres de contrôle postural utilisés dans cette partie 2 sont les paramètres de CDM (vitesse moyenne et variabilité de la vitesse) calculés pour le mGADL total. Les facteurs cliniques utilisés ici, ont été décrits dans la partie commune des méthodes (voir [3.2.3](#)).

##### **Analyse statistique**

Les données descriptives sont présentées en moyenne (écart-type), médiane [écart interquartile] ou en nombre d'occurrences, comme approprié. La normalité de la distribution était évaluée par inspection visuelle des graphiques et par le test de Shapiro-Wilk. Pour évaluer la comparabilité des groupes, une analyse comparative inter-groupes a été réalisée en utilisant le test de Student, le test de Mann-Whitney ou le test de  $\chi^2$ , et les tailles de l'effet pour les différences inter-groupes étaient reportées par l'intermédiaire d'un indicateur adapté pour chaque variable (*d* de Cohen (279) ou corrélation bisériée des rangs ( $r^{bc}$ ) (32)).

Nous avons examiné les associations entre les facteurs cliniques et les paramètres de CDM de deux façons : d'abord en utilisant une analyse de corrélations bivariées, et ensuite en utilisant des modèles linéaires. L'analyse des corrélations bivariées était réalisée avec les coefficients de Pearson ou de Spearman et a été conduite pour chaque paramètre de CDM séparément. Nous avons reporté la force des associations (en utilisant la valeur du *r* (295)) et

la significativité du coefficient (par la valeur du p) pour l'échantillon complet, ainsi que pour les sous-groupes pBPCO et *contrôle*. Des modèles linéaires ont ensuite été déterminés pour chaque paramètre de CDM séparément. Les variables indépendantes (VI) ont été sélectionnées en se basant sur la significativité de l'analyse bivariée (corrélation significative avec au moins 3 paramètres de contrôle postural). Les modèles étaient ajustés pour le groupe et une interaction entre VI et le facteur groupe était introduite pour permettre que les ordonnées à l'origine et les pentes diffèrent entre pBPCO et *contrôles*.

Les associations étaient tout d'abord évaluées dans des modèles séparés (modèles simples) ; les VI étaient ensuite incluses conjointement dans un second ensemble de modèles (modèles combinés) ajustés en fonction de l'âge. La forme de l'association (linéaire, quadratique, cubique) était déterminée par inspection visuelle. Pour chaque modèle, nous avons reporté la variance ( $R^2$ ) et les coefficients  $\beta$  pour le groupe, les VI et leurs interactions.

Les analyses ont été réalisées avec les logiciels Jamovi (v.2.3; The Jamovi Project) et R Statistical Software (v.4.2.2; R Core Team). La significativité était définie pour une valeur p inférieure à 0.05

#### 4.4.3. Résultats

##### Participants

Les caractéristiques des 16 pBPCO et 16 participants *contrôles* ont été précédemment présentées dans le [tableau 8](#). Les deux groupes étaient hautement comparables, excepté pour la dyspnée à la fin du mGADL ( $p < 0.001$  ;  $d = -1.4$ ), les comorbidités (par l'intermédiaire de l'index de Charlson,  $p = 0.005$  ;  $r^{bc} = 0.57$ ) et la force des muscles inspireurs ( $p = 0.038$  ;  $d = 0.76$ ).

### Corrélations avec les paramètres de contrôle postural

Un résumé des corrélations significatives est proposé dans le *tableau 11* : ne sont présentés ici que les facteurs cliniques associés au moins une fois avec au moins un paramètre de contrôle postural. La matrice de corrélation complète peut être consultée en [Annexe 12](#).

**Tableau 11. Corrélations entre les paramètres de contrôle postural et les facteurs cliniques.**

	Groupe	Age	IMC	Charlson Index	Dyspnée	FES-I	GP-COG	IPAQ (mod)	PiMAX
Vmoy CDM AP	Tous	-0.46**	-0.12	-0.46**	-0.65***	-0.34	0.43*	0.30	0.33
	BPCO	-0.64**	-0.03	-0.21	-0.64**	-0.27	0.36	0.30	0.33
	Ctrl	-0.25	-0.19	-0.44	-0.18	-0.37	0.50*	0.24	0.10
Vmoy CDM ML	Tous	-0.20	0.19	-0.38*	-0.63***	-0.06	0.14	0.25	0.21
	BPCO	-0.41	0.26	-0.35	-0.38	0.20	0.00	0.40	-0.04
	Ctrl	-0.03	0.40	-0.34	-0.34	-0.32	0.05	-0.00	0.04
Vmoy CDM Z	Tous	-0.42**	-0.19	-0.54**	-0.71***	-0.26	0.34	0.42*	0.40*
	BPCO	-0.62*	-0.11	-0.09	-0.65**	-0.21	0.50*	0.35	0.38
	Ctrl	-0.22	-0.23	-0.54*	-0.49	-0.25	0.17	0.51*	0.19
varV CDM AP	Tous	-0.54**	-0.26	-0.46**	-0.59***	-0.36*	0.49**	0.35*	0.42*
	BPCO	-0.65**	-0.26	-0.12	-0.55*	-0.30	0.40	0.50*	0.49
	Ctrl	-0.40	-0.22	-0.51*	-0.15	-0.35	0.59*	0.10	0.23
varV CDM ML	Tous	-0.26	0.25	-0.32	-0.20	-0.08	-0.05	-0.01	0.22
	BPCO	-0.41	0.45	-0.44	-0.38	0.20	0.00	0.02	0.04
	Ctrl	-0.27	0.63**	0.01	-0.06	-0.21	0.11	-0.28	0.14
varV CDM Z	Tous	-0.36**	-0.37*	-0.59***	-0.60***	-0.37*	0.34	0.21	0.48*
	BPCO	-0.49	-0.40	-0.03	-0.54*	-0.48	0.57*	-0.09	0.54*
	Ctrl	-0.26	-0.31	-0.53*	-0.28	-0.32	0.10	0.46	0.21

*Abréviations* : AP : antéro-postérieur ; BPCO : participants avec broncho-pneumopathie chronique obstructive ; Ctrl : participants contrôles ; CDM : centre de masse ; FES-I : Falls-Efficacy Scale-International ; GP-COG : General Practitioner cognitive test ; IM : indice de masse corporelle ; IPAQ (mod) : International Physical Activity Questionnaire, score des activités modérées ; ML : médio-latéral ; Tous : tous les participants ; Vmoy : vitesse moyenne ; varV : variabilité de la vitesse ; Z : vertical.

Les étoiles indiquent le niveau de significativité de la corrélation quand applicable : \*p < 0.05; \*\*p < 0.01; \*\*\*p < 0.001

La couleur verte indique le degré de force de la corrélation : le vert clair indique une corrélation faible (0.2 < r < 0.5), un vert ordinaire indique une corrélation modérée (0.5 < r < 0.8), interprétation du coefficient selon Zou et al. (295).

La dyspnée est le facteur clinique le plus fréquemment (cinq paramètres de contrôle postural sur six pour tous les participants et quatre fois sur six pour les pBPCO) et le plus significativement associé avec le contrôle postural. Les autres facteurs cliniques associés trois fois ou plus avec des paramètres de contrôle postural pour l'ensemble des participants étaient l'âge, l'index de Charlson et la PiMAX.

### Modèles linéaires

Les VI sélectionnées étaient la dyspnée, l'index de Charlson, et la PiMAX. Leurs associations avec les paramètres de CDM, étudiés dans des modèles indépendants (modèle 1, modèle 2 et modèle 3 respectivement), sont présentés dans le *tableau 12*.

**Tableau 12. Modèles linéaires généraux**

		Variable dépendante					
		Vmoy CDM			varV CDM		
		AP	ML	Z	AP	ML	Z
Modèle 1	R <sup>2</sup> ajusté	0.34	0.39	0.44	0.18	0.07	0.27
	Groupe	0.06	0.59	0.14	-0.03	0.77	0.37
	Dyspnée	<b>-0.57**</b>	<b>-0.47*</b>	<b>-0.64**</b>	<b>-0.46*</b>	0.01	<b>-0.46*</b>
	Group*Dyspnée	0.31	-0.35	0.15	0.33	-0.19	-0.12
Modèle 2	R <sup>2</sup> ajusté	0.13	0.31	0.23	0.09	0.13	0.29
	Groupe	0.36	<b>1.01**</b>	0.47	0.07	0.54	0.44
	Charlson	-0.38	-0.13	-0.43	-0.46	-0.24	<b>-0.50*</b>
	Group*Charlson	-0.34	0.30	-0.52	-0.50	0.11	-0.70
Modèle 3	R <sup>2</sup> ajusté	0.11	0.26	0.21	0.14	0.07	0.29
	Groupe	0.54	<b>1.13**</b>	0.66	0.21	0.70	0.63
	PiMAX	0.24	-0.01	0.30	<b>0.40*</b>	0.09	<b>0.39*</b>
	Group*PiMAX	-0.33	0.07	-0.31	-0.43	0.10	-0.42

Les associations sont reportées par le coefficient  $\beta$ . *Abréviations* : AP : antéro-postérieur ; CDM : Centre de masse ; PiMAX : pression inspiratoire maximale ; ML: medio-latéral; Vmoy : vitesse moyenne ; varV : variabilité de la vitesse ; Z : vertical. Le gras indique les associations significatives ; \* p < 0.05; \*\* p < 0.01

Pour tous les modèles, une relation linéaire a été retenue. Dans le modèle 1, la dyspnée était significativement associée avec cinq des six paramètres de CDM mais aucune interaction significative n'était retrouvée entre groupe et dyspnée.

Dans le modèle 2, le groupe était identifié comme un facteur associé significativement pour la vitesse moyenne du CDM en ML. L'index de Charlson était associé avec seulement un des paramètres du CDM (la variabilité de la vitesse du CDM en Z) et aucune interaction n'était notée.

Dans le modèle 3, le groupe était identifié comme un facteur associé significativement pour la vitesse moyenne du CDM en ML, et la PiMAX pour la variabilité de la vitesse du CDM dans les directions AP et Z. Aucun effet d'interaction n'était retrouvé.

Un modèle combiné était réalisé avec la dyspnée, l'index de Charlson, la PiMAX et l'âge comme co-variables et le groupe comme facteur (voir dans le *tableau 13* ci-dessous). La dyspnée était significativement associée avec cinq des six paramètres du CDM (les coefficients  $\beta$  étaient compris entre -0.50 et -0.83) et n'était pas significativement associée avec la variabilité de la vitesse du CDM en ML. L'index de Charlson était significativement associé avec un seul des paramètres du CDM (la variabilité de la vitesse en Z,  $\beta = -0.56$ ). La PiMAX n'était significativement associée avec aucun des paramètres du CDM (le coefficient  $\beta$  le plus élevé était retrouvé pour la vitesse moyenne du CDM en ML,  $\beta = -0.32$ ). L'âge était significativement associé avec la vitesse moyenne du CDM en ML ( $\beta = -0.48$ ). Aucune interaction significative n'était retrouvée dans ces modèles.

**Tableau 13. Modèle linéaire général incluant la dyspnée, l'index de Charlson, la PiMAX et l'âge.**

		Variable dépendante					
		Vmoy CDM			varV CDM		
		AP	ML	Z	AP	ML	Z
Modèle	R <sup>2</sup> ajusté	0.53	0.50	0.64	0.43	-0.03	0.46
combiné	Groupe	-0.26	0.58	-0.33	-0.52	0.64	-0.38
	Dyspnée	<b>-0.70**</b>	<b>-0.83**</b>	<b>-0.71**</b>	<b>-0.56*</b>	-0.20	<b>-0.50*</b>
	Charlson	-0.23	0.21	-0.39	-0.30	0.07	<b>-0.56*</b>
	PiMAX	-0.09	-0.32	0.01	0.12	-0.07	0.26
	Âge	-0.38	<b>-0.48*</b>	-0.23	-0.32	-0.34	0.01
	Groupe*Dyspnée	0.11	-0.83	0.10	0.20	-0.44	-0.01
	Groupe*Charlson	-0.03	1.01	-0.26	-0.12	0.58	-0.44
	Groupe*PiMAX	-0.22	-0.13	-0.26	-0.38	-0.02	-0.62
	Groupe* Âge	0.11	-0.51	0.14	-0.01	-0.41	-0.11

Les associations sont reportées par le coefficient  $\beta$ .

*Abréviations* : AP : antéro-postérieur ; CDM : Centre de masse ; PiMAX : pression inspiratoire maximale ; ML : medio-latéral ; Vmoy : vitesse moyenne ; varV : variabilité de la vitesse ; Z : vertical.

Le gras indique les associations significatives ; \* p < 0.05; \*\* p < 0.01

#### 4.4.4. Discussion

Cette étude proposait une analyse des associations entre facteurs cliniques et paramètres de contrôle postural au cours d'une séquence d'AVQ chez les personnes avec et sans BPCO. En se basant sur un nombre faible de participants, cette analyse doit être vue comme exploratoire. De façon générale, des corrélations faibles à modérées étaient retrouvées entre les paramètres de contrôle postural et la dyspnée, l'âge, les comorbidités, la force des muscles inspirateurs, la peur de chuter, l'activité physique, l'IMC et les capacités cognitives. Le résultat principal est que la dyspnée était le facteur le plus fortement associé avec les paramètres de contrôle postural.

Dans cette étude, la dyspnée éprouvée au cours des AVQ était modérément associée avec cinq des six paramètres de contrôle postural étudiés. De plus, cette association était retrouvée dans les analyses bivariées (pour tous les participants, mais prédominante chez les pBPCO), dans les modèles simples et restait importante dans les modèles plus complexes et réalistes, qui incluaient plusieurs co-variables. Comme aucune interaction entre groupe et dyspnée n'a été retrouvée dans les analyses de modèles, il ne peut être établi que l'association entre paramètres de contrôle postural et dyspnée diffère entre personnes avec et sans BPCO. De façon générale, une augmentation de la dyspnée perçue résulte en une diminution dans les paramètres de contrôle postural (vitesse ou variabilité de la vitesse du CDM). Ainsi, la présence de la dyspnée semble contribuer à une stratégie plus conservatrice de contrôle postural. En cohérence avec cette étude, des associations entre dyspnée et contrôle postural ont été rapportées dans des études antérieures chez des pBPCO (158,185,207,209), des personnes avec COVID-19 (296), des personnes avec sclérose en plaques (297) et des adultes sans pathologie (298).

La dyspnée est un symptôme cardinal chez les pBPCO (8), souvent ressenti au cours des AVQ par ces derniers, avec des intensités significatives durant les AVQ problématiques pour eux (23). Ainsi, même si cette association n'est pas spécifique aux pBPCO dans cette étude, ces résultats peuvent revêtir une importance particulière pour les pBPCO et leur fonctionnement quotidien. Il peut être émis l'hypothèse que, durant la réalisation d'AVQ, la survenue de dyspnée pourrait induire des modifications des paramètres de contrôle postural. A minima, ces modifications pourraient avoir des implications sur la facilité de réalisation des AVQ et, dans le pire des cas, ces changements pourraient modifier la stabilité des pBPCO et augmenter leur risque de chute.

Même si moins fortement associés que la dyspnée, d'autres facteurs cliniques semblent liés avec les paramètres de contrôle postural. En particulier, le nombre de comorbidités (évalué par l'index de Charlson) et la force des muscles inspireurs (évaluée par la PiMAX) étaient associés aux paramètres de CDM dans cette étude. Concernant l'index de Charlson, il est

important de mettre en avant que ce score est ajusté sur l'âge (des points supplémentaire sont ajoutés en fonction des décades d'âge) (273). Ainsi, pour le présent groupe *contrôle*, l'index de Charlson reflète majoritairement les catégories d'âge, alors que pour le groupe BPCO, il reflète l'âge, la présence de comorbidités, mais également la présence de la BPCO elle-même (un point est attribué pour les pathologies respiratoires dans l'index de Charlson). Pour ces raisons, les analyses incluant l'index de Charlson doivent être interprétées avec prudence. En raison d'un relatif manque de données sur les associations entre comorbidités et contrôle postural dans la BPCO, la comparaison avec d'autres études est difficile. Néanmoins, des travaux antérieurs ont mis en évidence des liens entre contrôle postural et certaines comorbidités chez les pBPCO (comme l'anxiété et la dépression (134,200) ou le diabète (162)).

La force des muscles inspireurs avait déjà été identifiée comme un facteur associé avec le contrôle postural chez les pBPCO (143,300): dans ces études antérieures, des valeurs faibles de PiMAX étaient associées à un contrôle postural réduit. Nos résultats sont en cohérence avec cela, indiquant une association entre la PiMAX et certains paramètres de CDM durant une séquence d'AVQ. De plus, d'autres études (245,246) ont rapporté qu'améliorer la force des muscles inspireurs induisait une amélioration du contrôle postural. Cela rejoint le lien étroit entre muscles inspireurs et contrôle postural décrit par ailleurs (241,242), mais ouvre également la voie pour une potentielle intervention d'intérêt chez les pBPCO avec une altération du contrôle postural.

Plusieurs autres facteurs cliniques identifiés dans cette étude (comme les capacités cognitives, l'activité physique, l'IMC ou la peur de chuter) pourrait être des contributeurs de la stratégie de contrôle postural au cours des AVQ. En raison de l'hétérogénéité et de la diversité des atteintes et des symptômes présentés par les pBPCO, ces facteurs ainsi que d'autres, non évalués dans cette étude (comme l'anxiété et la dépression, la force des membres inférieurs, la capacité à l'exercice ou la pression partielle en oxygène) restent d'intérêt dans ce champ de recherche et devront être investigués dans de futurs travaux.

Enfin, la douleur n'a pas été identifiée comme associée aux paramètres de contrôle postural dans cette étude. Sur la base de travaux menés avec des personnes âgées (301,302), il a été suggéré que la douleur pouvait être un médiateur potentiel de l'altération du contrôle postural des pBPCO (105) tout comme un potentiel facteur de risque de chute dans cette même population (303). La présente étude ne fournit pas de preuve supplémentaire concernant l'association entre douleur et contrôle postural. Néanmoins, comme écrit plus tôt, nos résultats sont basés sur un échantillon très faible et la douleur ne doit pas être exclue des futurs travaux.

### Limites

La principale limite de cette étude est la faible taille de son échantillon de participants eu égard aux types d'analyses réalisées dans cette partie ATT2. Cette étude doit ainsi être considérée comme une base exploratoire en vue de futures recherches. Toutes les analyses bivariées et de modèles devront être confirmées par des études robustes avec des échantillons appropriés avant que des conclusions définitives puissent être proposées. Une autre limite est que certains facteurs cliniques potentiellement pertinents (nous avons déjà évoqué l'absence d'évaluations de la force des membres inférieurs, de la pression partielle en oxygène ou de l'anxiété et la dépression) n'ont pas été inclus dans la présente étude. Ainsi, certains facteurs associés potentiels sont manquants, ce qui pourrait affecter les analyses de modèles, leurs résultats et leur interprétation. Néanmoins, à la vue des variances expliquées par les modèles présentés (avec des  $R^2$  proches ou supérieurs à 0.5 pour cinq des six modèles combinés), les facteurs sélectionnés semblent pertinents pour ce type d'analyse.

#### *4.4.5. Conclusion*

Plusieurs facteurs cliniques étaient associés avec le contrôle postural de personnes avec et sans BPCO, évalué au cours d'une séquence d'AVQ. Des travaux futurs sur ces facteurs cliniques pourraient amener à une amélioration des connaissances, des évaluations et de la prise en soins de l'altération du contrôle postural chez les pBPCO. Nos résultats suggèrent

par ailleurs que la dyspnée pourrait avoir un impact particulier sur le contrôle postural des pBPCO au cours des tâches du quotidien. Des analyses causales entre dyspnée et contrôle postural sont nécessaires dans de futures recherches.

#### 4.4.6. Résumé graphique des points clés

Les points clés de cette deuxième partie du projet ATTRACTION sont présentés sur *la figure 32*.

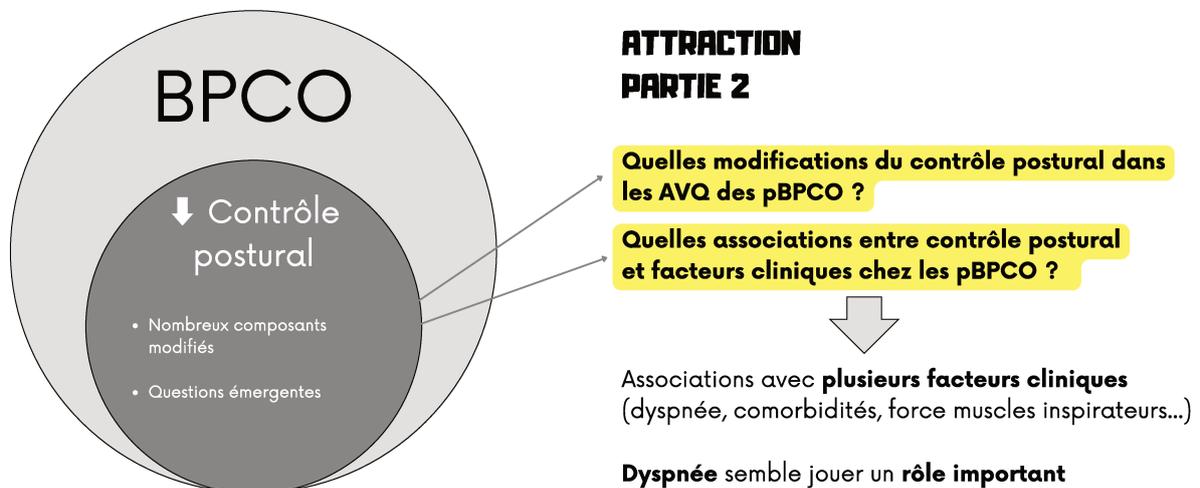


Figure 32. Résumé des résultats principaux de la partie 2 d'ATTRACTION.

#### **4.5. Partie 3. Etude de l'impact d'une tâche cognitive sur le contrôle postural des personnes avec et sans BPCO (ATT3)**

##### **4.5.1. Objectif**

L'objectif de cette troisième partie d'ATTRACTION était de déterminer si une tâche cognitive exerçait une influence supplémentaire chez les pBPCO comparativement à des participants *contrôles* sans BPCO.

##### **4.5.2. Analyse statistique**

Les données descriptives sont présentées en moyenne (écart-type), médiane [écart-interquartile] ou en nombre d'occurrences. Les caractéristiques des groupes étaient comparées en utilisant le test de Student ou le test de Mann-Whitney. Une analyse ANOVA à mesures répétées avec la condition cognitive (normale *versus* charge cognitive) et le groupe (BPCO *versus* contrôle) comme facteurs était réalisée pour évaluer l'effet du groupe, de la condition et de l'interaction entre le groupe et la condition. La normalité des données était évaluée par inspection visuelle des données et le test de Shapiro-Wilk, et la sphéricité était évaluée par le test de Mauchly. En cas de violation d'une condition d'application, une alternative non-paramétrique ANOVA-type était employée (*npard* package for R software)(278). La significativité était définie pour une Valeur p inférieure à 0.05. Les analyses étaient réalisées sur les logiciels Jamovi (v.2.3; The Jamovi Project) and R Statistical Software (v.4.2.2; R Core Team).

##### **4.5.3. Résultats**

Pour rappel, les caractéristiques des 16 pBPCO et 16 participants *contrôles* sont détaillées dans le [tableau 8](#). Les résultats pour le TUGN et le TUGC pour les deux groupes sont

présentés dans le *tableau 14* ci-dessous. Un effet de la condition cognitive était retrouvé pour le temps de complétion du test, la vitesse moyenne du CDM en AP et Z (une tendance à un effet était notée pour la direction ML,  $p = 0.070$ ), et pour la variabilité de la vitesse du CDM dans la direction AP. Aucune interaction entre le groupe et la condition n'était retrouvée pour aucun des critères de jugement.

**Tableau 14. Résultats pour le TUGN et le TUGC**

	Groupe BPCO (n = 16)			Groupe contrôle (n = 16)			Valeurs p pour l'effet de la condition et l'effet d'interaction, et la différence moyenne quand approprié	
	NORM moy (ES)	COG moy (ES)	Valeur p # et différence moy	NORM moy (ES)	COG moy (ES)	Valeur p # et différence moy	COND	Groupe*COND
<b>TUG (sec)</b>	11.7 (0.5)	13.3 (0.9)	<b>p = 0.035</b> <b>1.5 (0.5)</b>	11.7 (0.5)	13.5 (0.9)	<b>p = 0.010</b> <b>1.8 (0.5)</b>	<b>p &lt; 0.001</b> <b>1.7 (0.4)</b>	p = 0.723
<b>Vmoy CDM AP (m.s<sup>-1</sup>)</b>	0.533 (0.02)	0.489 (0.03)	p = 0.059 0.044 (0.016)	0.553 (0.02)	0.491 (0.03)	<b>p = 0.003</b> <b>0.06</b> <b>(0.04)</b>	<b>p &lt; 0.001</b> <b>0.05</b> <b>(0.01)</b>	p = 0.425
<b>Vmoy CDM ML (m.s<sup>-1</sup>)</b>	0.085 (0.005)	0.088 (0.005)	p = 1.000 -0.003 (0.003)	0.091 (0.005)	0.096 (0.005)	p = 0.683 -0.005 (0.003)	p = 0.070 -0.004 (0.002)	p = 0.674
<b>Vmoy CDM Z (m.s<sup>-1</sup>)</b>	0.104 (0.007)	0.098 (0.008)	p = 0.500 0.005 (0.003)	0.105 (0.007)	0.094 (0.008)	<b>p = 0.010</b> <b>0.01</b> <b>(0.003)</b>	<b>p &lt; 0.001</b> <b>0.008</b> <b>(0.002)</b>	p = 0.249
<b>varV CDM AP (m.s<sup>-1</sup>)</b>	0.303 (0.013)	0.256 (0.016)	<b>p &lt; 0.001</b> <b>0.047</b> <b>(0.009)</b>	0.304 (0.013)	0.250 (0.016)	<b>p &lt; 0.001</b> <b>0.055</b> <b>(0.009)</b>	<b>p &lt; 0.001</b> <b>0.05</b> <b>(0.006)</b>	p = 0.783
<b>varV CDM ML (m.s<sup>-1</sup>)</b>	0.065 (0.006)	0.066 (0.005)	p = 1.000 -0.000 (0.003)	0.069 (0.004)	0.073 (0.005)	p = 1.000 -0.005 (0.003)	p = 0.303 -0.002 (0.002)	p = 0.404
<b>varV CDM Z (m.s<sup>-1</sup>)</b>	0.112 (0.006)	0.111 (0.006)	p = 1.000 0.000 (0.003)	0.113 (0.006)	0.110 (0.006)	p = 1.000 0.003 (0.003)	p = 0.341 -0.002 (0.002)	p = 0.630

*Abréviations :*

AP : antéro-postérieur ; CDM : centre de masse ; COG : condition avec tâche cognitive supplémentaire ; COND : condition ; ES : erreur standard ; ML : médio-latéral ; moy : moyenne ; NORM : condition normale ; varV : variabilité de la vitesse ; Vmoy : vitesse moyenne ; Z : vertical

# Valeur p obtenue en utilisant la correction de Bonferroni; le gras indique  $p < 0.05$

#### 4.5.4. Discussion

De façon innovante, les paramètres du CDM ont été explorés dans cette étude pour évaluer l'influence d'une condition cognitive sur le contrôle postural de pBPCO. Les résultats suggèrent que l'impact d'une charge cognitive est similaire chez des pBPCO et chez des personnes sans BPCO appariés sur l'âge et le sexe. Ces résultats étaient obtenus à la fois sur les paramètres de CDM et sur le temps de complétion du test.

Cette étude apporte de nouveaux résultats à un point de débat sur le contrôle postural des pBPCO. Sur les quatre études identifiées qui exploraient les influences cognitives précédemment (155,156,160,182), une d'entre-elle rapportait un effet additionnel significatif de la tâche cognitive chez les pBPCO (155), mais les autres non (156,160) ou de façon inconstante (182). Le fait que notre étude évaluait le contrôle postural par l'intermédiaire d'une analyse biomécanique propose un angle différent pour l'analyse : les études antérieures évaluaient majoritairement le contrôle postural indirectement (en employant le temps de complétion du TUG) ou seulement dans des conditions statiques. Avec cette approche, nous avons essayé de combler l'écart entre une tâche fonctionnelle dynamique pertinente et la précision de paramètres spécifiques du contrôle postural (avec des paramètres liés au CDM). Finalement, nos résultats sont cohérents avec les trois études (156,160,182) qui ne retrouvaient pas de différence évidente et constante entre les groupes BPCO et non-BPCO. Néanmoins, nos résultats sont en opposition avec l'étude de Morlino et al. (155). Cela pourrait être partiellement expliqué par les différences dans les caractéristiques des participants : dans notre étude les pBPCO étaient plus jeunes et la sévérité de la pathologie était moins importante que dans l'étude de Morlino et al. De plus, dans notre étude et de façon surprenante, nous n'avons pas identifié de différence inter-groupes pour le temps de complétion du TUG sans tâche cognitive additionnelle, alors qu'une récente méta-analyse (106) retrouvait une différence inter-groupes (BPCO versus contrôle) moyenne de 2.6 secondes (mais avec une très importante hétérogénéité,  $I^2 = 93\%$ ) pour le temps au TUG. Dans notre étude, si les temps de complétion du TUG classique des pBPCO étaient

relativement proches des valeurs précédemment rapportées (108,304), les valeurs du groupe contrôle étaient plus élevée que les valeurs normatives établies (305). Cela met en lumière des capacités de mobilité et de contrôle postural relativement faibles dans le groupe *contrôle*.

Dans la présente étude, le temps pour réaliser la tâche était impacté de façon similaire par la tâche cognitive dans chaque groupe, mais également les stratégies de contrôle postural employés par les participants. En effet, sous la condition cognitive, les participants de chaque groupe présentaient une réduction de certains paramètres du CDM. Les paramètres du CDM dans la direction AP étaient modifiés, mais sont fortement associés avec la vitesse de déplacement globale (et donc le temps de complétion). Cela dit, il était également retrouvé un effet de la tâche cognitive sur la vitesse moyenne verticale du CDM, traduisant une réduction des déplacements verticaux du CDM des participants quand ils comptaient pendant le TUG. Les conséquences d'une réduction des déplacements verticaux du CDM au cours d'une tâche dynamique ont été largement discutés (306) : néanmoins, la théorie classique de Saunders et collègues (307) (qui proposait que la diminution des déplacements verticaux du CDM réduisait le coût énergétique de la marche humaine) est dorénavant contestée par des recherches plus récentes (306,308,309), qui indiquent l'opposé (la diminution des mouvements verticaux du CDM augmenteraient le coût métabolique). Ainsi, il est possible que les modifications des vitesses verticales du CDM observées dans cette étude résultent en une augmentation du coût énergétique de la tâche. Les pBPCO ayant déjà besoin d'optimiser leurs paramètres de mobilité (comme la vitesse de marche (310) ou des paramètres de contrôle postural (138)) pour réussir leurs activités du quotidien, toute dépense énergétique supplémentaire pourrait être délétère. Ce point devra donc être exploré par une évaluation directe de la dépense énergétique dans les futurs travaux investiguant l'influence de tâche cognitive chez les pBPCO.

### Limites

La limite principale réside dans le fait que le calcul de participants nécessaires n'était pas réalisé précisément pour les critères de jugement de cette étude. En effet, cette étude fait partie d'un projet plus important (311), qui proposait une méthodologie originale pour explorer le contrôle postural des pBPCO. La dimension exploratoire du projet et l'absence de données similaires antérieures explique notre choix concernant le calcul de participants nécessaire. Une autre limite importante est que l'ordre de réalisation entre le TUGN et le TUGC n'était pas randomisée. Cela a pu induire une réduction du temps de réalisation du second test (TUGC ici), bien que ce point n'ait pas été clairement établi chez les pBPCO (110,312). Quoiqu'il en soit, l'absence de randomisation entre les tests pourrait entraîner des conséquences sur les performances individuelles et influencer les résultats globaux. Enfin, nous n'avons pas évalué la performance cognitive des participants au cours du test. Cela ne nous permet pas de réaliser une analyse précise et complète des effets d'interférence entre les systèmes cognitifs et de contrôle postural, comme recommandé par les publications sur l'interprétation des évaluations en double-tâche (313,314).

### Perspectives de recherche et implications cliniques

En ajoutant de nouvelles données au champ de recherche avec la présente étude, il serait pertinent de synthétiser l'entièreté de la littérature scientifique disponible sur le sujet, en tentant d'établir des conclusions sur l'impact de la charge cognitive sur le contrôle postural des pBPCO.

Un autre point concerne la nécessaire validité écologique des recherches futures dans le domaine (315). Dans la présente étude, la tâche cognitive employée (compter à rebours de 3 en 3) est standardisée et a été utilisée dans des recherches antérieures (155,160). Néanmoins, cette tâche est éloignée des tâches cognitives quotidiennes des participants et évaluer l'influence d'une simple conversation ou de dresser une liste de courses par exemple, pourrait être plus pertinent dans une visée de validité écologique (313). D'autre part, cette

étude a été conduite dans un environnement de laboratoire, inconnu des participants, ce qui a pu influencer les paramètres cognitifs et de contrôle postural. De façon similaire, explorer ces paramètres en dehors d'un environnement de laboratoire, au domicile des personnes ou dans des lieux connus, serait plus écologique, éliminerait des facteurs influençant, amènerait la recherche au plus proche de la vie des personnes et rendrait les conclusions des études moins hypothétiques (313).

Ensuite, si nos résultats suggèrent qu'il y a un effet similaire d'une tâche cognitive sur le contrôle postural de personnes avec et sans BPCO, la présence d'une altération au niveau individuel reste possible chez les pBPCO (247). Ainsi, en cas de doutes sur ce point (avec la présence de facteurs associés comme l'âge ou l'altération des fonctions cognitives), il semble nécessaire pour le professionnel de santé impliqué de réaliser une évaluation spécifique de l'influence d'une tâche cognitive sur le contrôle postural.

#### *4.5.5. Conclusion*

L'addition d'une tâche cognitive de calcul pendant le TUG semble impacter de façon similaire le temps de complétion et les paramètres de contrôle postural des personnes avec des BPCO modérées à sévères et des personnes sans BPCO. Des évaluations avec une plus grande validité écologique (concernant à la fois la tâche cognitive comme l'environnement de l'étude) tout comme des mesures métaboliques pourraient être des pistes intéressantes pour les futures études dans le domaine.

#### *4.5.6. Points clés et résumé graphique*

Les points clés issus de la partie 3 du projet ATTRACTION sont présentés sur la *figure 33*.

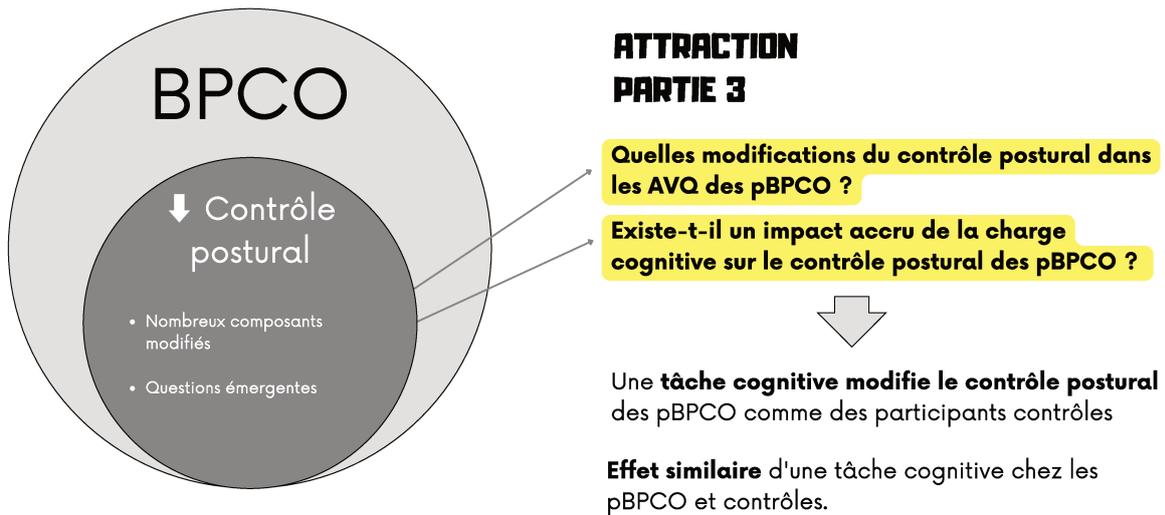


Figure 33. Résumé graphique des résultats principaux de la partie 3 d'ATTRACTION.

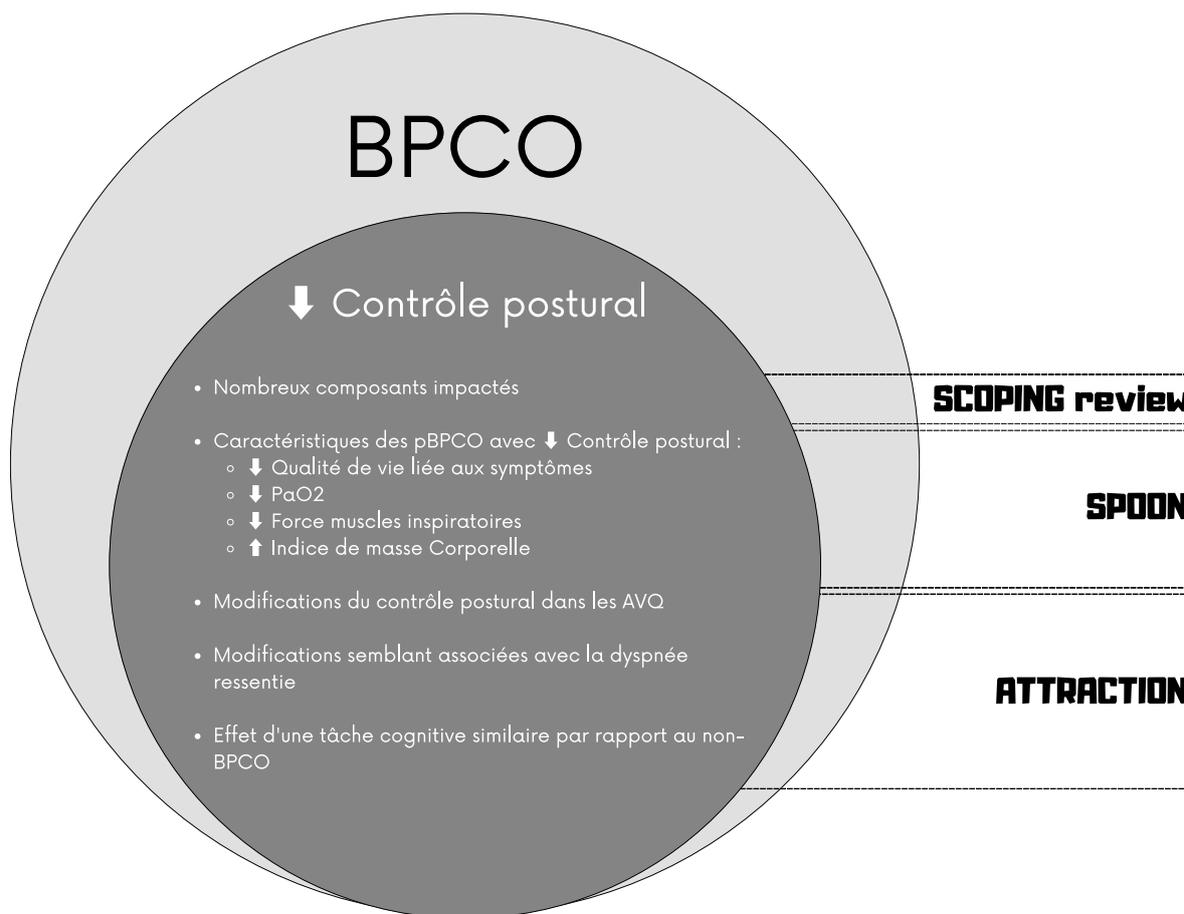
## 5. Discussion Générale

Cette thèse s'intéressait aux modifications du contrôle postural chez les pBPCO et à son évaluation. Un panorama de la littérature, réalisé par l'intermédiaire d'une *scoping review*, a tenté de préciser les caractéristiques de l'atteinte du contrôle postural au travers des modifications de ses différents composants. De plus, cette *scoping review* a permis de dégager des questions de recherches émergentes, traitées dans la suite de cette thèse :

- Quels sont les facteurs discriminants des pBPCO avec un contrôle postural réduit ?
- Quels sont les liens entre facteurs cliniques et paramètres de contrôle postural chez les pBPCO ?
- Quels sont les caractéristiques du contrôle postural des pBPCO au cours d'AVQ comparativement à celui de personnes *contrôles* ?
- Une tâche cognitive a-t-elle un effet accru sur le contrôle postural de pBPCO par rapport à des personnes *contrôles* ?

La mise en place des études SPOON et ATTRACTION ont ensuite permis de proposer des réponses à ces questions. Une synthèse graphique des résultats issus de l'ensemble des contributions originales de cette thèse est proposée ci-dessous sur la *figure 34*.

La discussion générale qui va suivre est structurée en quatre parties. Les modifications générales du contrôle postural dans la BPCO seront tout d'abord abordées. Ensuite, les facteurs discriminants des pBPCO avec un contrôle postural réduit seront discutés en lien avec la détection de cette altération et le processus de raisonnement clinique des professionnels de santé impliqués. Le contrôle postural des pBPCO au cours des AVQ et les interactions symptomatiques seront ensuite développés. Enfin, l'intérêt de l'analyse biomécanique dans le soin des pBPCO sera discuté et des perspectives seront proposées sur ce point.



**Figure 34. Représentation graphique des résultats principaux issus des travaux cette thèse.**

### **5.1. Modifications du contrôle postural dans la BPCO**

De façon générale ce travail complète les travaux préexistants (104–106) et appuie clairement le fait que les capacités de contrôle postural sont altérées chez les pBPCO. En plus de ce constat global, les résultats de notre *scoping review* montrent que la majorité des composants du contrôle postural (sept sur neuf) peuvent être modifiés chez les pBPCO. Le *tableau 15* présente les principales conclusions concernant les modifications de ces composants du contrôle postural.

**Tableau 15. Résumé des atteintes et caractéristiques des composants du contrôle postural des pBPCO par rapport à la population générale.**

Composant	Modification du composant	Caractéristiques et questions en suspens quand approprié
Stabilité statique	Oui	Paramètres de stabilité statique altérés chez les pBPCO (diminution des temps OLS, augmentation des paramètres liés au CDP). Doutes sur l'existence d'une direction prédominante (AP vs ML) et de paramètres de CDP prédominants (vitesse ou aire de déplacement) dans la moins bonne stabilité statique des pBPCO.
Systèmes moteurs	Oui	Baisse de la force, de l'endurance, de la puissance de nombreux groupes musculaires dans la BPCO. Modification des patterns d'activation. Groupes musculaires les plus impliqués à déterminer.
Limites de stabilité	Oui	Limites diminuées chez pBPCO. Doute sur la prédominance d'une direction.
Contrôle postural réactionnel	Oui	Composant réactionnel moins performant chez pBPCO. Augmentation des temps de réponse compensatoire et de la qualité de la réponse.
Contrôle postural anticipatoire	Oui	Augmentation de la durée des APA. APA engendrant moins de stabilité chez pBPCO.
Stabilité dynamique	Oui	Baisse de la performance lors de tests dynamiques (TUG). Modifications des paramètres spatio-temporels de marche, modification des paramètres CDM.
Intégrations sensorielles	Oui	Baisse de la performance du contrôle postural lorsque manipulations des entrées sensorielles. Doute sur la prédominance d'une entrée sensorielle et la nature et le degré d'implication du traitement central.
Perception verticalité	?	Pas de données spécifiques disponibles.
Influences cognitives	Plutôt non	Impact des tâches cognitives semblant similaire aux personnes non-BPCO. Doute sur l'impact accru sur la performance cognitive lors de double tâche.

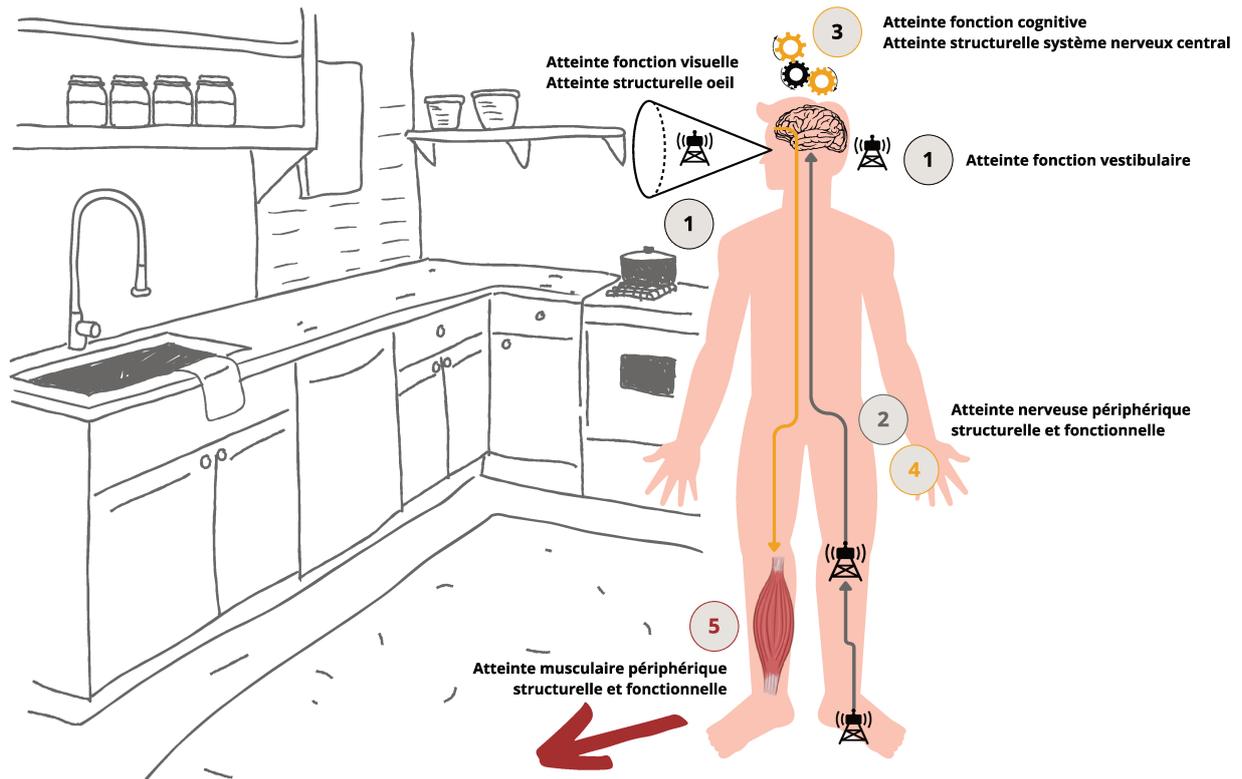
Il subsiste des incertitudes plus importantes pour deux composants, la perception de la verticalité et les influences cognitives. Concernant la perception de la verticalité, il n'existe pas à notre connaissance d'étude évaluant ce composant de façon isolé avec des outils valides et spécifiques chez les pBPCO. Pour autant, des outils d'évaluation pertinents existent, et ont

été employés et validés dans plusieurs types de populations de différentes catégories d'âge et atteintes de différentes pathologies (pathologies neurologiques, vestibulaires, personnes avec douleurs rachidiennes) (316–320). Cette investigation sera à réaliser à l'avenir pour lever les doutes sur l'atteinte de ce composant ou non. Concernant les influences cognitives, la partie 3 du projet ATTRACTION a ajouté des données par rapport à la littérature antérieure disponible. Nos résultats, complétant ceux déjà existants, semblent indiquer que l'effet d'une tâche cognitive sur le contrôle postural de pBPCO est similaire à celui de personnes sans BPCO, mais que cela pourrait être modulé par la nature de la tâche cognitive réalisée (182). Comme suggéré dans la discussion de la partie 3 du projet ATTRACTION (au [4.5.4.](#) de ce manuscrit) et en cohérence avec les recommandations issues des publications sur le sujet (313), des évaluations plus écologiques (en terme de tâche cognitive (par exemple une simple conversation ou dresser une liste de courses) comme de lieu d'expérimentation (au domicile des personnes ou dans un lieu connu d'elles)) seraient intéressantes à mettre en place pour clarifier ce point.

Pour certains composants du contrôle postural (*tableau 15*), il semble se dégager des caractéristiques communes à l'ensemble de la population pBPCO (contrôle postural anticipatoire et réactionnel), pour d'autres (stabilité statique, limites de stabilité ou intégrations sensorielles par exemple) cela ne semble pas être le cas. Au vu de la grande hétérogénéité des symptômes et comorbidités présentés par les pBPCO (3,4), l'existence de caractéristiques communes au niveau de l'ensemble des composants ou à l'intérieur d'un même composant n'est pas certaine. Il est toutefois possible que des phénotypes particuliers se dessinent, avec par exemple l'association entre plusieurs composants dans des sous-groupes de pBPCO ou l'association entre certains composants du contrôle postural et des facteurs cliniques spécifiques dans d'autres sous-groupes. Des recherches antérieures ont établi l'existence de plusieurs phénotypes de pBPCO (321–323), affinant les interventions à apporter à chaque cluster identifié et dégagant des implications pronostiques différentes. A notre

connaissance, les phénotypes antérieurement décrits n'incluaient pas la dimension du contrôle postural. Au vu du niveau de preuve et de la prévalence de cette altération, son inclusion dans de telles analyses pourraient être d'intérêt. Ainsi, des analyses en cluster avec un nombre important de pBPCO auraient le potentiel de déterminer si de tels sous-groupes existent ou pas avec l'inclusion de cette dimension supplémentaire (324).

De façon globale, l'analyse des composants du contrôle postural des pBPCO soutient que cette altération peut se traduire par des présentations cliniques variées, avec une grande variété de composants potentiellement atteints. Ceci est également appuyé par une approche physio-pathologique : en reprenant les différentes structures et fonctions du corps humain impliqués dans le contrôle postural, plusieurs d'entre elles peuvent être altérées par la BPCO. En effet, ceci est montré au niveau des entrées sensorielles (visuelle (325–327), vestibulaire (328–331)), de la transmission nerveuse (par des neuropathies (332–334)), du système nerveux central (au niveau structurel (214,215) comme des fonctions de traitement (335,336) et de cognition (337)) et au niveau des effecteurs (atteinte musculaire (37)). La *figure 35* ci-dessous présente les différentes atteintes des structures et fonctions impliquées dans le contrôle postural chez les pBPCO.



**Figure 35. Atteintes structurelles et fonctionnelles rapportées dans la BPCO pouvant impacter le contrôle postural.**

Le numéro [1] désigne la captation des informations par les différentes entrées sensorielles, le numéro [2] la transmission du signal afférent de l'entrée vers le système nerveux central, le numéro [3] l'intégration et le traitement par le système nerveux central, le numéro [4] la transmission du signal efférent du système nerveux central vers les effecteurs musculaires et le numéro [5], l'action conséquente générée par le système musculaire effecteur.

En l'état actuel des connaissances, on peut donc supposer que l'altération du contrôle postural des pBPCO est la conséquence des multiples atteintes structurelles, systémiques et fonctionnelles spécifiques à chaque individu. Ces atteintes peuvent être variées et la présentation de l'altération du contrôle postural variera en fonction des atteintes de chaque personne. Ceci est cohérent avec la variété des présentations cliniques dans la BPCO, pathologie qui regroupe différents types d'atteintes patho-biologiques en son sein, associée à de nombreuses comorbidités (dysfonctions musculaires, nerveuses, centrales, cognitives...) et responsable de symptômes dans le quotidien (dyspnée, fatigue), eux-mêmes interagissant avec le contrôle postural.

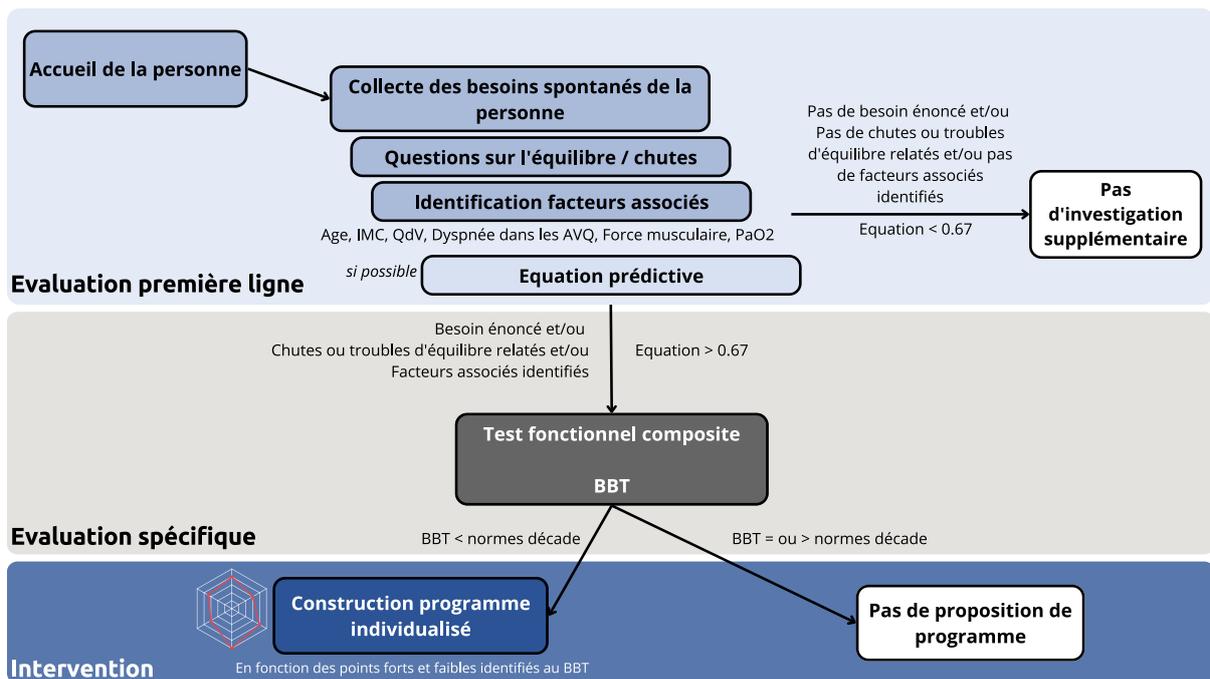
## **5.2. Facteurs discriminants d'un contrôle postural réduit chez les pBPCO**

Cette atteinte du contrôle postural chez les pBPCO est fréquente (60 % dans l'étude SPOON (300), 40 à 44% selon des travaux antérieurs (197,200)) et au vu de ses impacts potentiels (en termes de chutes (114) et de restriction dans les AVQ (197)), elle doit être une préoccupation pour les professionnels impliqués. L'évaluation clinique globale d'un pBPCO est complexe et nécessite une exploration de multiples domaines (fonction pulmonaire, symptômes, qualité de vie, capacité à l'exercice...) (3,248).

Les recommandations communes des sociétés respiratoires Américaines et Européennes pour la réadaptation respiratoire des pBPCO (248) préconisent d'évaluer le contrôle postural lors de la construction d'un programme. Ainsi, la potentialité de cette altération doit être présente dans le raisonnement clinique des professionnels. L'étude SPOON (voir au **3** de ce manuscrit) cherchait à faciliter cette détection, en mettant en évidence des facteurs caractéristiques des pBPCO avec un risque important de présenter un contrôle postural réduit. Ainsi la combinaison d'un QdV fortement altérée, d'une PaO<sub>2</sub> basse, d'une PiMAX basse et d'un IMC élevé, semble être fréquente chez les pBPCO avec un contrôle postural altéré. L'évaluation de la QdV ainsi que de l'IMC font partie des bilans recommandés en première ligne (3), alors que les gaz du sang sont présentés comme investigation additionnelle en fonction de la présentation clinique du pBPCO. La PiMAX n'apparaît pas en évaluation de première ligne mais peut être réalisée lors des épreuves fonctionnelles respiratoires (sous réserve de disposer du matériel nécessaire), et peut être évaluée lors des bilans initiaux de réhabilitation respiratoire (338,339). Ainsi les variables identifiées apparaissent comme relativement faciles d'accès et peu coûteuses.

Notre proposition d'équation (rappelée **ci-dessous**), sous réserve de sa validation à plus grande échelle, se veut être une aide pour les professionnels de première ligne. De plus, nous proposons un support au raisonnement clinique, présenté sur la *figure 36*, basé sur les travaux

de cette thèse et sur les recherches antérieures présentées dans ce manuscrit : c'est une proposition d'arbre décisionnel lors de la réception d'une pBPCO destinée aux pneumologues, médecins généralistes, kinésithérapeutes ou professionnels des activités physiques adaptées. Il pourrait guider la décision d'investiguer ou non de façon spécifique le contrôle postural de la personne et la construction d'une programme interventionnel adapté.



**Figure 36. Proposition de support au raisonnement clinique pour la détection, caractérisation et prise en soin de l'altération du contrôle postural chez une pBPCO.**

Abréviations : AVQ : Activités de la vie quotidienne ; BBT : Brief BESTest ; IMC : indice de masse corporelle ; QdV : qualité de vie ; PaO<sub>2</sub> : Pression artérielle partielle en oxygène.

$$\text{Équation : } P(\text{CP altéré}) = 2.4201 + 0.0481 * \text{SGRQ-Symptômes} - 0.0771 * \text{PaO}_2 - 0.0390 * \text{PiMAX} + 0.1418 * \text{IMC}$$

L'évaluation de première ligne devrait, selon cette proposition d'arbre décisionnel, recueillir les informations nécessaires à affiner l'hypothèse de la présence ou non de cette altération chez la personne reçue. La connaissance des facteurs associés permet dans ce cas d'étayer de façon plus précise l'hypothèse et d'évaluer plus précisément la probabilité de la présence de l'altération dans le cadre du raisonnement clinique (340). L'emploi de l'équation proposée dans ce manuscrit pourrait également jouer un rôle intéressant, mais est suspendu au fait de

disposer des facteurs cliniques inclus dans l'équation (QdV liée aux symptômes par le SGRQ, PaO<sub>2</sub>, PiMAX, IMC).

En lien avec les résultats de la *scoping review* (247), il apparaît nécessaire que l'évaluation du contrôle postural dans la BPCO renseigne sur un nombre important de composants (58,59). Aussi, notre recommandation pour le test spécifique se pose sur le Brief-BEStest (BBT), et ce choix du BBT repose sur quatre arguments principaux :

- Sa validité de construit (341) : le BBT explore sept des neuf composants du contrôle postural selon le cadre conceptuel de Horak modifié par Sibley (à l'exclusion de la perception de la verticalité et des influences cognitives) (58).

- Ses autres qualités métrologiques : le BBT a été validé chez les pBPCO (112), est fiable (112,203), se présente comme l'outil le plus performant pour identifier le risque de chute dans cette population (112,207), est réactif à une intervention et possède une différence minimale cliniquement importante établie (342).

- Son temps de passation : le BBT s'effectue en 10 minutes environ (*données personnelles* et (343)) contre 20 à 30 minutes pour le BEStest ou le BBS (*données personnelles* et (344,345)). Ainsi le rapport entre le temps passé et la qualité et la variété des informations récoltés semble intéressant pour le BBT.

- Sa structure par composant : l'exploration par composant du contrôle postural permet pour l'évaluateur une analyse des forces et faiblesses relative concernant chaque composant évalué. Cela facilite ensuite la construction du programme d'intervention, qui peut être précisément individualisé en fonction des résultats du BBT (58).

Dans une visée d'adoption dans les pratiques, cette proposition d'arbre décisionnel devra être discutée, critiquée et amendée si besoin (par une technique de consensus d'experts comme une méthodologie Delphi par exemple (346)) avant un emploi en pratique clinique.

### **5.3. Contrôle postural des pBPCO lors des AVQ**

A notre connaissance, il existait peu de données directes sur le contrôle postural lors d'AVQ chez les pBPCO avant cette thèse. L'utilisation de la capture de mouvement nous a permis de confirmer que le contrôle postural des pBPCO était modifié lors d'AVQ. La stratégie observée dans ATTRACTION (voir [4.3.3](#)) chez les pBPCO semble être une stratégie conservatrice, limitant les mouvements du CDM ainsi que sa variabilité (et donc potentiellement le caractère exploratoire du contrôle postural) (286). S'il est impossible de lier cette stratégie avec une augmentation de l'instabilité (des valeurs plus basses de déplacement du CDM sont classiquement liés à une meilleure stabilité (85)), une telle stratégie dénote un fonctionnement différent de celui observé chez les personnes non-BPCO. La réduction des déplacements du CDM a déjà pu être observé dans d'autres situations pathologiques (chez des personnes avec une maladie de Parkinson notamment (347,348)) ou dans des situations de émotionnelles particulières, comme en cas de menace perçue (349).

Cette stratégie conservatrice des pBPCO pourrait être la conséquence de capacités restreintes des systèmes impliqués dans le contrôle postural mais également de modulations émotionnelles et expérientielles :

Ainsi, comme vu plus haut dans cette discussion (voir [Figure 35](#)), on retrouve des preuves d'altérations de plusieurs des systèmes impliqués dans le contrôle postural chez les pBPCO (aussi bien en termes de capteurs, intégrateurs, processeurs ou effecteurs). On peut donc émettre l'hypothèse que les modifications du contrôle postural des pBPCO sont une adaptation induite par les capacités réduites des systèmes impliqués. D'autre part, les émotions et les expériences antérieures ont un effet documenté sur le contrôle postural (349) : l'anxiété et la menace perçue produisent des modifications des stratégies de contrôle postural, limitant les déplacements du CDM et résultant en des comportements plus conservateurs (ou « rigides ») (350). Chez les pBPCO, on retrouve des prévalences importantes de troubles anxieux (351) et de peur de chuter (157), et ces atteintes pourrait également jouer un rôle important dans les changements observés du contrôle postural chez ces derniers.

La modification du contrôle postural limite potentiellement la performance dans la réalisation des AVQ des pBPCO et pourrait contribuer à un risque de chute plus important dans ces tâches. D'autant qu'il semble que plus la tâche réalisée est complexe, plus la modification est grande. La réalisation des AVQ est une préoccupation centrale pour beaucoup de pBPCO (118), qui éprouvent de grandes difficultés pour réaliser certaines AVQ, et sont parfois contraints d'en abandonner ou d'être suppléés ou aidés quand cela est possible (129,352). Il semble important pour les pBPCO que les difficultés dans les AVQ soient évaluées (248) et que des interventions en lien puissent être mises en place (par exemple des ateliers éducatifs spécifiques d'AVQ identifiés comme délicates). Au vu de nos résultats, l'inclusion du travail du contrôle postural en parallèle et dans les interventions spécifiques semble être une option pertinente, qui sera à évaluer dans de futurs travaux.

L'association retrouvée avec la dyspnée dans la partie 2 d'ATTRACTION (voir [4.4.3](#)) apparaît être un point important. D'abord parce que la dyspnée est le symptôme central de la BPCO (31–33) et qu'elle limite ou empêche la bonne réalisation de nombreuses tâches du quotidien (352). Nous avons donc retrouvé une association importante entre dyspnée (éprouvée à la fin de la tâche, le mGADL) et paramètres de contrôle postural (vitesse et variabilité du CDM au cours de la même tâche). Si cette association était retrouvée avec un faible nombre de participants, elle était significative avec quasiment tous les paramètres de contrôle postural inclus et toujours présente dans des modèles incluant plusieurs autres variables d'intérêt, expliquant des variances relativement importantes. Il semble ainsi que plus les pBPCO sont essouffés dans une tâche, plus ils vont présenter une réduction des paramètres de déplacement et de variabilité du CDM et ainsi accentuer la stratégie conservatrice observée dans ATTRACTION. Cela supporte l'idée que plus la tâche va être complexe (et donc générer de la dyspnée) plus la modification du contrôle postural va être importante.

Ce point est également important car plusieurs interventions ont le potentiel de diminuer la dyspnée (353) : médicamenteuses (bronchodilatateurs, opiacés, oxygène supplémentaire),

interventions physiques (ré-entraînement, entraînement des muscles inspirateurs), interventions psychologiques ou interventions instrumentales/de support (menthol, ventilateur à main, aides techniques). Ainsi, l'emploi de ces interventions, qui sont depuis longtemps des priorités dans le soin des pBPCO, pourrait également avoir un intérêt concernant leur contrôle postural. Il n'en reste pas moins que des interventions spécifiques (programmes d'entraînement à l'équilibre) ont le meilleur effet sur l'amélioration du contrôle postural des pBPCO (244). Des investigations futures sur les modalités optimales d'interventions pour améliorer le contrôle postural des pBPCO concernés seraient donc intéressantes.

#### **5.4. Intérêt de l'analyse biomécanique dans le soin des pBPCO**

Le projet ATTRACTION a montré la faisabilité de l'utilisation de la capture de mouvement pour évaluer le contrôle postural chez les pBPCO. Néanmoins, nous devons évoquer les limitations qui ont été rencontrées en rapport avec cette analyse biomécanique au cours d'une séquence d'AVQ. Tout d'abord, il a parfois été difficile de capter parfaitement certains marqueurs dans des positions spécifiques du corps (essentiellement lors des tâches demandant une flexion importante du tronc, avec une difficulté à avoir les marqueurs antérieurs de hanche). Si l'utilisation de marqueurs additionnels et de techniques relationnelles dans le traitement post-capture semble pallier ce problème de façon satisfaisante, certains résultats (ceux de la tâche SHELF, c'est-à-dire à l'étagère) doivent être interprétés prudemment. D'autre part, la labellisation des marqueurs (c'est-à-dire l'indentification de chaque trajectoire capturée) a parfois été extrêmement chronophage. Ceci peut s'expliquer par le fait que les outils ou modèles développés pour supporter cette tâche sont performants pour des tâches simples et/ou récurrentes (comme des conditions statiques ou bien pour la marche), mais qu'ils le sont bien moins lorsque les tâches sont plus complexes d'un point de vue biomécanique et moins redondantes. Sur ce point, les avancées en termes d'apprentissage automatique (*machine learning*) devraient permettre d'obtenir de meilleurs résultats à l'avenir.

Toutefois, l'identification de paramètres de CDM discriminants a montré que l'analyse biomécanique avait un intérêt pour étudier le contrôle postural des pBPCO lors d'AVQ. Cela ouvre la porte à la poursuite des investigations dans ce domaine avec cet outil et ces méthodes pour affiner la compréhension des différences observées. Ainsi, le recours à des analyses non-linéaires de complexité (analyse d'entropie (354) ou fractale (355)), de stabilité (exposant de Lyapunov (356)) ou de comparaison de trajectoires (Statistical Parametric Mapping (357)) des paramètres de CDM des pBPCO pourraient être des options intéressantes à l'avenir, tout comme l'approfondissement de certains paramètres proposés dans le présent travail (notamment à travers les marges de stabilité) dans le cas du recrutement d'une large cohorte. En complément du contrôle postural, l'analyse biomécanique pourrait également avoir sa place pour évaluer les mécanismes musculaire et/ou ventilatoires des pBPCO (358). En effet, des outils comme l'électromyographie de surface (pour l'évaluation de l'activation des muscles périphériques ou respiratoires (131,359)) ou la pléthysmographie opto-électronique (pour objectiver la mécanique ventilatoire (360)) ont déjà été employés avec succès chez des pBPCO. La combinaison de la capture de mouvement avec ce type d'outil pourrait permettre de mieux comprendre les interactions entre symptômes, effort et contrôle postural chez les pBPCO.

Autant en recherche qu'en pratique clinique, il nous semble important de continuer l'effort pour se rapprocher de la *vie réelle* et proposer des évaluations avec une meilleure validité écologique. Dans cet objectif, des évaluations futures au domicile des personnes pourraient être réalisées. L'évolution des moyens technologiques permettant l'analyse de paramètres de contrôle postural est donc d'intérêt dans ce cadre : les centrales inertielle ou les accéléromètres des smartphones ainsi que la capture de mouvement sans marqueur (dit *markerless*) ont le potentiel, dans les années à venir, de fournir des paramètres pertinents. On peut imaginer tendre vers des analyses permettant de proposer des solutions finement adaptées à la situation de chaque individu évalué.

Au final, cette évaluation en *vie réelle* présenterait plusieurs intérêts :

- Cela participerait à diminuer les facteurs influençant la performance lors des évaluations en laboratoire ou en milieu médical (émotions induites par le contexte, particularités de l'environnement).

- Cela pourrait améliorer la confiance dans les résultats des recherches : la question de la transférabilité de résultats des recherches en laboratoire ou structure de soin peut se poser. L'évaluation plus écologique propose une réponse au moins partielle sur ce point.

- Cela pourrait permettre, à terme, d'améliorer la validité écologique des évaluations des cliniciens, avec une meilleure prise en compte de l'environnement de leurs patients dans leurs évaluations, ce qui résulterait potentiellement en une amélioration de la précision et de la pertinence des interventions proposées.

## 6. Conclusion

L'altération du contrôle postural est fréquente chez les pBPCO, car elle serait présente chez 40 à 60% d'entre eux (197,300). De nombreux composants du contrôle postural peuvent être atteints (247), ce qui peut donner des présentations cliniques variées, rendant plus complexes l'évaluation et la prise en soin. Afin de faciliter la détection de cette altération par les professionnels impliqués, certains points sont d'intérêt. Tout d'abord, l'existence de l'altération du contrôle postural dans cette population et sa prévalence importante doivent être connues des pBPCO comme des professionnels. A cette fin, des actions de diffusion et de vulgarisation des résultats des recherches auprès des pBPCO et des professionnels de santé concernés pourront être mis en place. Ensuite, la connaissance des différents facteurs associés, mis en évidence dans les travaux antérieurs (105) comme dans ceux de cette thèse, a le potentiel de renforcer le raisonnement clinique des praticiens en enrichissant la vraisemblance des hypothèses *a priori* (avant tests). En cas de présence possible de modification du contrôle postural, il est alors suggéré d'employer un test composite comme le BBT, renseignant sur un nombre important de composants du contrôle postural et supportant un plan d'intervention précis et individualisé. Ces points pourront être transmis aux professionnels de terrain, autant par l'intermédiaire de la formation initiale que de la formation continue.

Par ailleurs, il semble que cette altération du contrôle postural des pBPCO se matérialise lors de la réalisation d'AVQ. Notre projet ATTRACTION montre des modifications de paramètres du contrôle postural lors d'une séquence d'actes du quotidien. Il semble ainsi se dessiner une stratégie conservatrice de contrôle postural, se traduisant par une réduction des déplacements du CDM et de la variabilité de sa vitesse de déplacement. Il apparait que cette stratégie conservatrice semble s'accroître quand la complexité biomécanique et/ou physiologique de la tâche réalisée augmente et serait également associée à la dyspnée éprouvée lors de la tâche. Cette stratégie alternative de contrôle postural peut entraîner des conséquences potentielles sur la facilité et la durée de réalisation de tâches nécessaires au fonctionnement quotidien. Cette modification du contrôle postural et ses potentielles conséquences sont à

considérer dans un contexte déjà difficile de réalisation des AVQ par les pBPCO. Aussi, la compréhension de cette modification comme la détermination d'interventions visant à l'optimiser seront d'intérêt dans le futur.

Enfin, le lien entre cette stratégie conservatrice de contrôle postural et le risque de chute devra être précisé à l'avenir : en effet, les pBPCO connaissent des prévalences de chutes plus importantes et cette stratégie observée dans des tâches quotidiennes pourraient y participer.

## Bibliographie

1. World Health Organization. [www.who.int](http://www.who.int). 2020 [cited 2020 Dec 10]. Global health estimates: Leading causes of death. Available from: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>
2. Adeloye D, Song P, Zhu Y, Campbell H, Sheikh A, Rudan I, et al. Global, regional, and national prevalence of, and risk factors for, chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in 2019: a systematic review and modelling analysis. *Lancet Respir Med*. 2022 May;10(5):447–58.
3. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the diagnosis, Management, and prevention of COPD, 2023 report [Internet]. 2023. Available from: <https://goldcopd.org/2022-gold-reports-2/#>
4. dos Santos NC, Miravittles M, Camelier AA, de Almeida VDC, Maciel RRBT, Camelier FWR. Prevalence and Impact of Comorbidities in Individuals with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review. *Tuberc Respir Dis (Seoul)*. 2022 Jul;85(3):205–20.
5. Beauchamp MK, Brooks D, Goldstein RS. Deficits in postural control in individuals with COPD - emerging evidence for an important secondary impairment. *Multidiscip Respir Med*. 2010 Dec 20;5(6):417–21.
6. Pollock AS, Durward BR, Rowe PJ, Paul JP. What is balance? *Clin Rehabil*. 2000 Aug;14(4):402–6.
7. Nardone A, Turcato AM. An Overview of the Physiology and Pathophysiology of Postural Control. In: Sandrini G, Homberg V, Saltuari L, Smania N, Pedrocchi A, editors. *Advanced Technologies for the Rehabilitation of Gait and Balance Disorders* [Internet]. Cham: Springer International Publishing; 2018 [cited 2023 Jul 27]. p. 3–28. (Biosystems & Biorobotics). Available from: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-72736-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-72736-3_1)
8. Rabe KF, Watz H. Chronic obstructive pulmonary disease. *The Lancet*. 2017 May 13;389(10082):1931–40.
9. Hu G, Zhou Y, Tian J, Yao W, Li J, Li B, et al. Risk of COPD from exposure to biomass smoke: a metaanalysis. *Chest*. 2010 Jul;138(1):20–31.
10. Sin DD, Doiron D, Agustí A, Anzueto A, Barnes PJ, Celli BR, et al. Air pollution and COPD: GOLD 2023 committee report. *Eur Respir J*. 2023 May;61(5):2202469.
11. Burgel PR, Laurendeau C, Raherison C, Fuhrman C, Roche N. An attempt at modeling COPD epidemiological trends in France. *Respiratory Research*. 2018 Jun 27;19(1):130.
12. Soriano JB, Kendrick PJ, Paulson KR, Gupta V, Abrams EM, Adedoyin RA, et al. Prevalence and attributable health burden of chronic respiratory diseases, 1990–2017: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2017. *The Lancet Respiratory Medicine*. 2020 Jun 1;8(6):585–96.

13. Hurst JR, Siddiqui MK, Singh B, Varghese P, Holmgren U, de Nigris E. A Systematic Literature Review of the Humanistic Burden of COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2021;16:1303–14.
14. MacLeod M, Papi A, Contoli M, Beghé B, Celli BR, Wedzicha JA, et al. Chronic obstructive pulmonary disease exacerbation fundamentals: Diagnosis, treatment, prevention and disease impact. *Respirology*. 2021 Jun;26(6):532–51.
15. Donaldson GC, Seemungal T a. R, Patel IS, Lloyd-Owen SJ, Wilkinson TMA, Wedzicha JA. Longitudinal changes in the nature, severity and frequency of COPD exacerbations. *Eur Respir J*. 2003 Dec;22(6):931–6.
16. Dang-Tan T, Ismaila A, Zhang S, Zarotsky V, Bernauer M. Clinical, humanistic, and economic burden of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in Canada: a systematic review. *BMC Res Notes*. 2015 Sep 21;8:464.
17. Iheanacho I, Zhang S, King D, Rizzo M, Ismaila AS. Economic Burden of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD): A Systematic Literature Review. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2020;15:439–60.
18. Laurendeau C, Chouaid C, Roche N, Terrioux P, Gourmelen J, Detournay B. [Management and costs of chronic pulmonary obstructive disease in France in 2011]. *Rev Mal Respir*. 2015 Sep;32(7):682–91.
19. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the diagnosis, Management, and prevention of COPD, 2022 report [Internet]. 2022. Available from: [https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/12/GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19\\_WMV.pdf](https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/12/GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19_WMV.pdf)
20. Postma DS, Bush A, van den Berge M. Risk factors and early origins of chronic obstructive pulmonary disease. *Lancet*. 2015 Mar 7;385(9971):899–909.
21. Raheison C, Lher P, Charpin D. Exposition à la biomasse et impact respiratoire dans les pays en voie de développement : un risque émergent méconnu ? *Revue des Maladies Respiratoires*. 2012 Mar;29(3):371–3.
22. Murgia N, Gambelunghe A. Occupational COPD-The most under-recognized occupational lung disease? *Respirology*. 2022 Jun;27(6):399–410.
23. Silverman EK. Genetics of COPD. *Annu Rev Physiol*. 2020 Feb 10;82:413–31.
24. Sheikh K, Coxson HO, Parraga G. This is what COPD looks like. *Respirology*. 2016 Feb;21(2):224–36.
25. Barnes PJ. Inflammatory mechanisms in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Allergy Clin Immunol*. 2016 Jul;138(1):16–27.
26. Gan WQ, Man SFP, Senthilselvan A, Sin DD. Association between chronic obstructive pulmonary disease and systemic inflammation: a systematic review and a meta-analysis. *Thorax*. 2004 Jul 1;59(7):574–80.
27. Sinden NJ, Stockley RA. Systemic inflammation and comorbidity in COPD: a result of 'overspill' of inflammatory mediators from the lungs? Review of the evidence. *Thorax*. 2010 Oct 1;65(10):930–6.

28. Brandsma CA, Vries M de, Costa R, Woldhuis RR, Königshoff M, Timens W. Lung ageing and COPD: is there a role for ageing in abnormal tissue repair? *European Respiratory Review* [Internet]. 2017 Dec 31 [cited 2023 Aug 1];26(146). Available from: <https://err.ersjournals.com/content/26/146/170073>
29. Barnes PJ, Burney PGJ, Silverman EK, Celli BR, Vestbo J, Wedzicha JA, et al. Chronic obstructive pulmonary disease. *Nat Rev Dis Primers*. 2015 Dec 3;1(1):1–21.
30. Parshall MB, Schwartzstein RM, Adams L, Banzett RB, Manning HL, Bourbeau J, et al. An Official American Thoracic Society Statement: Update on the Mechanisms, Assessment, and Management of Dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2012 Feb 15;185(4):435–52.
31. Kessler R, Partridge MR, Miravittles M, Cazzola M, Vogelmeier C, Leynaud D, et al. Symptom variability in patients with severe COPD: a pan-European cross-sectional study. *European Respiratory Journal*. 2011 Feb 1;37(2):264–72.
32. Kuyucu T, Güçlü SZ, Saylan B, Demir C, Senol T, Güner S, et al. A cross-sectional observational study to investigate daily symptom variability, effects of symptom on morning activities and therapeutic expectations of patients and physicians in COPD-SUNRISE study. *Tuberk Toraks*. 2011;59(4):328–39.
33. Ding B, DiBonaventura M, Karlsson N, Bergström G, Holmgren U. A cross-sectional assessment of the burden of COPD symptoms in the US and Europe using the National Health and Wellness Survey. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2017;12:529–39.
34. Smith MC, Wrobel JP. Epidemiology and clinical impact of major comorbidities in patients with COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2014;9:871–88.
35. Vanfleteren LEGW, Spruit MA, Groenen M, Gaffron S, van Empel VPM, Bruijnzeel PLB, et al. Clusters of comorbidities based on validated objective measurements and systemic inflammation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013 Apr 1;187(7):728–35.
36. Putcha N, Drummond MB, Wise RA, Hansel NN. Comorbidities and Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Prevalence, Influence on Outcomes, and Management. *Semin Respir Crit Care Med*. 2015 Aug;36(4):575–91.
37. Barreiro E, Gea J. Respiratory and Limb Muscle Dysfunction in COPD. *COPD*. 2015 Aug;12(4):413–26.
38. Bui KL, Nyberg A, Rabinovich R, Saey D, Maltais F. The Relevance of Limb Muscle Dysfunction in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Review For Clinicians. *Clinics in Chest Medicine*. 2019 Jun 1;40(2):367–83.
39. Butcher SJ, Meshke JM, Sheppard MS. Reductions in functional balance, coordination, and mobility measures among patients with stable chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil*. 2004 Aug;24(4):274–80.
40. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006 Sep;35 Suppl 2:ii7–11.
41. Horak F, Macpherson JM. Postural orientation and equilibrium. In: *Handbook of Physiology. Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems*. MD: Am Physiol Soc. 1996 Jan 1;255–92.

42. Winter D. Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*. 1995 Dec 1;3(4):193–214.
43. Richmond SB, Fling BW, Lee H, Peterson DS. The assessment of center of mass and center of pressure during quiet stance: Current applications and future directions. *Journal of Biomechanics*. 2021 Jun 23;123:110485.
44. Tesio L, Rota V. The Motion of Body Center of Mass During Walking: A Review Oriented to Clinical Applications. *Front Neurol* [Internet]. 2019 [cited 2021 Jan 25];10. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fneur.2019.00999/full>
45. Watson F, Fino PC, Thornton M, Heracleous C, Loureiro R, Leong JJH. Use of the margin of stability to quantify stability in pathologic gait – a qualitative systematic review. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2021 Jun 28;22(1):597.
46. Paillard T, Noé F. Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Research International*. 2015;2015:1–15.
47. Chen B, Liu P, Xiao F, Liu Z, Wang Y. Review of the Upright Balance Assessment Based on the Force Plate. *Int J Environ Res Public Health*. 2021 Mar 8;18(5):2696.
48. Bardy BG, Warren WH, Kay BA. The role of central and peripheral vision in postural control during walking. *Perception & Psychophysics*. 1999 Jan 1;61(7):1356–68.
49. Quijoux F, Nicolaï A, Aflalo J, Bertin-Hugault F, Ricard D. Apport de la posturographie dans l'évaluation de l'équilibre de la personne âgée. *Pratique Neurologique - FMC*. 2021 Dec 1;12(4):290–302.
50. Shaffer SW, Harrison AL. Aging of the somatosensory system: a translational perspective. *Phys Ther*. 2007 Feb;87(2):193–207.
51. Jabareen Y. Building a Conceptual Framework: Philosophy, Definitions, and Procedure. *International Journal of Qualitative Methods*. 2009 Dec 1;8(4):49–62.
52. Abraham S. Fall Prevention Conceptual Framework. *Health Care Manag (Frederick)*. 2020;39(4):144–9.
53. Levin MF, Piscitelli D. Motor Control: A Conceptual Framework for Rehabilitation. *Motor Control*. 2022 Oct 1;26(4):497–517.
54. Chimenti RL, Frey-Law LA, Sluka KA. A Mechanism-Based Approach to Physical Therapist Management of Pain. *Phys Ther*. 2018 May 1;98(5):302–14.
55. Brady SS, Brubaker L, Fok CS, Gahagan S, Lewis CE, Lewis J, et al. Development of Conceptual Models to Guide Public Health Research, Practice, and Policy: Synthesizing Traditional and Contemporary Paradigms. *Health Promot Pract*. 2020 Jul;21(4):510–24.
56. Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor control: translating research into clinical practice*. Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
57. Ivanenko Y, Gurfinkel VS. Human Postural Control. *Frontiers in Neuroscience*. 2018;12:171.
58. Sibley KM, Beauchamp MK, Van Ooteghem K, Straus SE, Jaglal SB. Using the systems framework for postural control to analyze the components of balance evaluated in

- standardized balance measures: a scoping review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2015 Jan;96(1):122-132.e29.
59. Horak F, Wrisley D, Frank J. The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to Differentiate Balance Deficits. *Physical therapy.* 2009 Apr 1;89:484–98.
  60. Franchignoni F, Horak F, Godi M, Nardone A, Giordano A. Using psychometric techniques to improve the Balance Evaluation Systems Test: the mini-BESTest. *J Rehabil Med.* 2010 Apr;42(4):323–31.
  61. Padgett PK, Jacobs JV, Kasser SL. Is the BESTest at its best? A suggested brief version based on interrater reliability, validity, internal consistency, and theoretical construct. *Phys Ther.* 2012 Sep;92(9):1197–207.
  62. Beauchamp MK, Brooks D, Ellerton C, Lee A, Alison J, Camp PG, et al. Pulmonary Rehabilitation With Balance Training for Fall Reduction in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Protocol for a Randomized Controlled Trial. *JMIR Research Protocols.* 2017 Nov 20;6(11):e8178.
  63. Sparrow D, DeAngelis TR, Hendron K, Thomas CA, Saint-Hilaire M, Ellis T. Highly Challenging Balance Program Reduces Fall Rate in Parkinson Disease. *J Neurol Phys Ther.* 2016 Jan;40(1):24–30.
  64. Campbell KR, Scanlan KT, Wilhelm JL, Brumbach BH, Pettigrew NC, Neilson A, et al. Assessment of balance in people with mild traumatic brain injury using a balance systems model approach. *Gait Posture.* 2023 Feb;100:107–13.
  65. Dos Santos RB, Fiedler A, Badwal A, Legasto-Mulvale JM, Sibley KM, Olaleye OA, et al. Standardized tools for assessing balance and mobility in stroke clinical practice guidelines worldwide: A scoping review. *Front Rehabil Sci.* 2023;4:1084085.
  66. Ambrose AF, Paul G, Hausdorff JM. Risk factors for falls among older adults: a review of the literature. *Maturitas.* 2013 May;75(1):51–61.
  67. Li Y, Hou L, Zhao H, Xie R, Yi Y, Ding X. Risk factors for falls among community-dwelling older adults: A systematic review and meta-analysis. *Front Med (Lausanne).* 2023 Jan 6;9:1019094.
  68. Xu T, Clemson L, O’Loughlin K, Lannin NA, Dean C, Koh G. Risk Factors for Falls in Community Stroke Survivors: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2018 Mar;99(3):563-573.e5.
  69. Gunn HJ, Newell P, Haas B, Marsden JF, Freeman JA. Identification of risk factors for falls in multiple sclerosis: a systematic review and meta-analysis. *Phys Ther.* 2013 Apr;93(4):504–13.
  70. Canning CG, Paul SS, Nieuwboer A. Prevention of falls in Parkinson’s disease: a review of fall risk factors and the role of physical interventions. *Neurodegener Dis Manag.* 2014;4(3):203–21.
  71. Peel NM. Epidemiology of falls in older age. *Can J Aging.* 2011 Mar;30(1):7–19.
  72. Schmid AA, Van Puymbroeck M, Altenburger PA, Miller KK, Combs SA, Page SJ. Balance is associated with quality of life in chronic stroke. *Top Stroke Rehabil.* 2013;20(4):340–6.

73. Morishita S, Hirabayashi R, Tsubaki A, Aoki O, Fu JB, Onishi H, et al. Relationship between balance function and QOL in cancer survivors and healthy subjects. *Medicine (Baltimore)*. 2021 Nov 19;100(46):e27822.
74. Sabashi K, Ishida T, Matsumoto H, Mikami K, Chiba T, Yamanaka M, et al. Dynamic postural control correlates with activities of daily living and quality of life in patients with knee osteoarthritis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021 Dec;22(1):287.
75. de Sousa KCA, Gardel DG, Lopes AJ. Postural balance and its association with functionality and quality of life in non-hospitalized patients with post-acute COVID-19 syndrome. *Physiotherapy Research International*. 2022;27(4):e1967.
76. Edemekong PF, Bomgaars DL, Sukumaran S, Levy SB. *Activities of Daily Living*. 2021 [cited 2022 Jun 17]; Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470404>
77. Kim JH, Park EY. Balance self-efficacy in relation to balance and activities of daily living in community residents with stroke. *Disability and Rehabilitation*. 2014 Feb 1;36(4):295–9.
78. Lee NG, Kang TW, Park HJ. Relationship Between Balance, Gait, and Activities of Daily Living in Older Adults With Dementia. *Geriatr Orthop Surg Rehabil*. 2020 May 27;11:2151459320929578.
79. Lin HW, Bhattacharyya N. Balance disorders in the elderly: Epidemiology and functional impact. *The Laryngoscope*. 2012;122(8):1858–61.
80. cnrtl.fr [Internet]. [cited 2023 Sep 15]. CLINIQUE : Définition de CLINIQUE. Available from: <https://www.cnrtl.fr/definition/clinique>
81. Johnston W, O'Reilly M, Argent R, Caulfield B. Reliability, Validity and Utility of Inertial Sensor Systems for Postural Control Assessment in Sport Science and Medicine Applications: A Systematic Review. *Sports Med*. 2019 May 1;49(5):783–818.
82. García-Soidán JL, Leirós-Rodríguez R, Romo-Pérez V, García-Liñeira J. Accelerometric Assessment of Postural Balance in Children: A Systematic Review. *Diagnostics (Basel)*. 2020 Dec 22;11(1):8.
83. Abou L, Wong E, Peters J, Dossou MS, Sosnoff JJ, Rice LA. Smartphone applications to assess gait and postural control in people with multiple sclerosis: A systematic review. *Mult Scler Relat Disord*. 2021 Jun;51:102943.
84. Muro-de-la-Herran A, Garcia-Zapirain B, Mendez-Zorrilla A. Gait Analysis Methods: An Overview of Wearable and Non-Wearable Systems, Highlighting Clinical Applications. *Sensors (Basel)*. 2014 Feb 19;14(2):3362–94.
85. Devetak GF, Bohrer RCD, Rodacki ALF, Manffra EF. Center of mass in analysis of dynamic stability during gait following stroke: A systematic review. *Gait Posture*. 2019;72:154–66.
86. Patejak S, Forrest J, Harting E, Sisk M, Schussler E. A Systematic Review of Center of Mass as a Measure of Dynamic Postural Control Following Concussion. *IJSPT*. 2021 Oct 1;16(5):1222–34.

87. Lee-Confer JS, Finley JM, Kulig K, Powers CM. Reactive responses of the arms increase the Margins of Stability and decrease center of mass dynamics during a slip perturbation. *Journal of Biomechanics*. 2023 Aug 1;157:111737.
88. Liang H, Beerse M, Ke X, Wu J. Effect of whole-body vibration on center-of-mass movement during standing in children and young adults. *Gait Posture*. 2017 May;54:148–53.
89. Foster RJ, Maganaris CN, Reeves ND, Buckley JG. Centre of mass control is reduced in older people when descending stairs at an increased riser height. *Gait & Posture*. 2019 Sep 1;73:305–14.
90. van den Bogaart M, Bruijn SM, Spildooren J, van Dieën JH, Meyns P. Effects of age and surface instability on the control of the center of mass. *Hum Mov Sci*. 2022 Apr;82:102930.
91. Yamada H, Shinya M. Variability in the Center of Mass State During Initiation of Accurate Forward Step Aimed at Targets of Different Sizes. *Frontiers in Sports and Active Living* [Internet]. 2021 [cited 2023 May 23];3. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspor.2021.691307>
92. Hof AL, Gazendam MGJ, Sinke WE. The condition for dynamic stability. *Journal of Biomechanics*. 2005 Jan;38(1):1–8.
93. Hof AL. The ‘extrapolated center of mass’ concept suggests a simple control of balance in walking. *Human Movement Science*. 2008 Feb 1;27(1):112–25.
94. Quijoux F, Nicolaï A, Chairi I, Bargiotas I, Ricard D, Yelnik A, 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 Nov;9(22):e15067.
95. Christopher A, Kraft E, Olenick H, Kiesling R, Doty A. 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. *Disabil Rehabil*. 2021 Jun;43(13):1799–813.
96. Birmingham TB. Test-retest reliability of lower extremity functional instability measures. *Clin J Sport Med*. 2000 Oct;10(4):264–8.
97. Beck Jepsen D, Robinson K, Ogliari G, Montero-Odasso M, Kamkar N, Ryg J, et al. Predicting falls in older adults: an umbrella review of instruments assessing gait, balance, and functional mobility. *BMC Geriatr*. 2022 Jul 25;22:615.
98. Sibley KM, Straus SE, Inness EL, Salbach NM, Jaglal SB. Balance assessment practices and use of standardized balance measures among Ontario physical therapists. *Phys Ther*. 2011 Nov;91(11):1583–91.
99. Meseguer-Henarejos AB, Rubio-Aparicio M, López-Pina JA, Carles-Hernández R, Gómez-Conesa A. Characteristics that affect score reliability in the Berg Balance Scale: a meta-analytic reliability generalization study. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2019 Oct;55(5):570–84.
100. Viveiro LAP, Gomes GCV, Bacha JMR, Carvas Junior N, Kallas ME, Reis M, et al. Reliability, Validity, and Ability to Identify Fall Status of the Berg Balance Scale, Balance Evaluation Systems Test (BESTest), Mini-BESTest, and Brief-BESTest in Older Adults Who Live in Nursing Homes. *J Geriatr Phys Ther*. 2019;42(4):E45–54.

101. Di Carlo S, Bravini E, Vercelli S, Massazza G, Ferriero G. The Mini-BESTest: a review of psychometric properties. *Int J Rehabil Res.* 2016 Jun;39(2):97–105.
102. Lo CWT, Lin CY, Tsang WWN, Yan CH, Wong AYL. Psychometric Properties of Brief-Balance Evaluation Systems Test Among Multiple Populations: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2022 Jan;103(1):155-175.e2.
103. Porto E, Castro A, Schmidt V, Rabelo H, Kümpel C, Nascimento O, et al. Postural control in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2015 Jun 29;10:1233–9.
104. Chuatrakoon B, Ngai SPC, Sungkarat S, Uthaikhup S. Balance Impairment and Effectiveness of Exercise Intervention in Chronic Obstructive Pulmonary Disease-A Systematic Review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101(9):1590–602.
105. Loughran KJ, Atkinson G, Beauchamp MK, Dixon J, Martin D, Rahim S, et al. Balance impairment in individuals with COPD: a systematic review with meta-analysis. *Thorax.* 2020;75(7):539–46.
106. Núñez-Cortés R, Padilla-Acevedo P, Vergara-Peña F, Mollà-Casanova S, Espinoza-Bravo C, Torres-Castro R, et al. Clinical assessment of balance and functional impairments in people with stable chronic obstructive pulmonary disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *ERJ Open Research.* 2022 Oct 6;00164–2022.
107. Huedo-Medina TB, Sánchez-Meca J, Marín-Martínez F, Botella J. Assessing heterogeneity in meta-analysis: Q statistic or I<sup>2</sup> index? *Psychological Methods.* 2006;11(2):193–206.
108. Mesquita R, Wilke S, Smid DE, Janssen DJ, Franssen FM, Probst VS, et al. Measurement properties of the Timed Up & Go test in patients with COPD. *Chron Respir Dis.* 2016 Nov;13(4):344–52.
109. Mkacher W, Tabka Z, Trabelsi Y. Minimal detectable change for balance measurements in patients with COPD. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention.* 2017;37(3):223–8.
110. Marques A, Cruz J, Quina S, Regêncio M, Jácome C. Reliability, Agreement and Minimal Detectable Change of the Timed Up & Go and the 10-Meter Walk Tests in Older Patients with COPD. *COPD.* 2016 Jun;13(3):279–87.
111. Beauchamp MK, Harrison SL, Goldstein RS, Brooks D. Interpretability of change scores in measures of balance in people with COPD. *Chest.* 2016;149(3):696–703.
112. Jácome C, Cruz J, Oliveira A, Marques A. Validity, Reliability, and Ability to Identify Fall Status of the Berg Balance Scale, BESTest, Mini-BESTest, and Brief-BESTest in Patients With COPD. *Phys Ther.* 2016 Nov;96(11):1807–15.
113. Goldberg A, Casby A, Wasielewski M. Minimum detectable change for single-leg-stance-time in older adults. *Gait & Posture.* 2011 Apr 1;33(4):737–9.
114. Oliveira CC, Annoni R, Lee AL, McGinley J, Irving LB, Denehy L. Falls prevalence and risk factors in people with chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review. *Respir Med.* 2021 Jan;176:106284.

115. Romme EAPM, Geusens P, Lems WF, Rutten EPA, Smeenk FWJM, van den Bergh JPW, et al. Fracture prevention in COPD patients; a clinical 5-step approach. *Respir Res.* 2015 Mar 7;16(1):32.
116. Gupta A, Jayes LR, Holmes S, Sahota O, Canavan M, Elkin SL, et al. Management of Fracture Risk in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD): Building a UK Consensus Through Healthcare Professional and Patient Engagement. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2020;15:1377–90.
117. Oliveira CC, McGinley J, Lee AL, Irving LB, Denehy L. Fear of falling in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Respiratory Medicine.* 2015 Apr 1;109(4):483–9.
118. Annegarn J, Meijer K, Passos VL, Stute K, Wiechert J, Savelberg HHCM, et al. Problematic activities of daily life are weakly associated with clinical characteristics in COPD. *J Am Med Dir Assoc.* 2012 Mar;13(3):284–90.
119. Peters M, Godfrey C, McInerney P, Munn Z, Trico A, Khalil H. Chapter 11: Scoping Reviews. In: Aromataris E, Munn Z, editors. *JB I Manual for Evidence Synthesis* [Internet]. JBI; 2020 [cited 2020 Nov 20]. Available from: <https://wiki.jbi.global/display/MANUAL/Chapter+11%3A+Scoping+reviews>
120. Pichon R, Hove OV. Postural control and its sub-components in patients with COPD : a scoping review protocol. 2021 Mar 2 [cited 2021 Jul 23]; Available from: <https://osf.io/spqe6>
121. Paez A. Gray literature: An important resource in systematic reviews. *Journal of Evidence-Based Medicine.* 2017;10(3):233–40.
122. Scherer RW, Saldanha IJ. How should systematic reviewers handle conference abstracts? A view from the trenches. *Systematic Reviews.* 2019 Nov 7;8(1):264.
123. Haddaway NR, Collins AM, Coughlin D, Kirk S. The Role of Google Scholar in Evidence Reviews and Its Applicability to Grey Literature Searching. *PLOS ONE.* 2015 Sep 17;10(9):e0138237.
124. Ouzzani M, Hammady H, Fedorowicz Z, Elmagarmid A. Rayyan—a web and mobile app for systematic reviews. *Systematic Reviews.* 2016 Dec 5;5(1):210.
125. Tricco AC, Lillie E, Zarin W, O'Brien KK, Colquhoun H, Levac D, et al. PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Ann Intern Med.* 2018 Sep 4;169(7):467–73.
126. Al Haddad MA, John M, Hussain S, Bolton CE. Role of the Timed Up and Go Test in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2016 Feb;36(1):49–55.
127. Albarrati AM, Gale NS, Enright S, Munnery MM, Cockcroft JR, Shale DJ. A simple and rapid test of physical performance in chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2016;11:1785–91.
128. Almeida CNS, Costa RA da, Manso KP, Ferreira JF, Callegari B, Oliveira CC, et al. Static balance in older adults with chronic obstructive pulmonary disease undergoing pulmonary rehabilitation. *Geriatrics, Gerontology and Aging.* 2020;14(2):98–107.

129. Annegarn J, Spruit MA, Savelberg HHCM, Willems PJB, van de Bool C, Schols AMWJ, et al. Differences in walking pattern during 6-min walk test between patients with COPD and healthy subjects. *PLoS One*. 2012;7(5):e37329.
130. Castro LA de, Ribeiro LR, Mesquita R, Carvalho DR de, Felcar JM, Merli MF, et al. Static and Functional Balance in Individuals With COPD: Comparison With Healthy Controls and Differences According to Sex and Disease Severity. *Respiratory Care*. 2016 Nov 1;61(11):1488–96.
131. Araújo de Castro L, Morita AA, Sepúlveda-Loyola W, da Silva RA, Pitta F, Krueger E, et al. Are there differences in muscular activation to maintain balance between individuals with chronic obstructive pulmonary disease and controls? *Respir Med*. 2020 Nov;173:106016.
132. Beauchamp MK, Sibley KM, Lakhani B, Romano J, Mathur S, Goldstein RS, et al. Impairments in Systems Underlying Control of Balance in COPD. *Chest*. 2012 Jun 1;141(6):1496–503.
133. Boffino CC, Pereira ACAC, Coelho DB, Xavier RF, Berto CC, Da Silva M, et al. Age and Disease have a Distinct Influence on Postural Balance of Patients with COPD. *COPD*. 2019 Aug;16(3–4):246–53.
134. Crişan AF, Oancea C, Timar B, Fira-Mladinescu O, Tudorache V. Balance impairment in patients with COPD. *PLoS one*. 2015;10(3):e0120573.
135. De Buyser SL, Petrovic M, Taes YE, Toye KRC, Kaufman JM, Goemaere S. Physical function measurements predict mortality in ambulatory older men. *Eur J Clin Invest*. 2013 Apr;43(4):379–86.
136. Eisner MD, Blanc PD, Yelin EH, Sidney S, Katz PP, Ackerson L, et al. COPD as a systemic disease: impact on physical functional limitations. *Am J Med*. 2008 Sep;121(9):789–96.
137. Eymir M, Yakut H, Özalevli S, Alpaydın AÖ. Static and dynamic balance impairment and relationship with disease-related factors in patients with chronic obstructive pulmonary disease : A cross-sectional study. *Wien Klin Wochenschr*. 2021 Nov;133(21–22):1186–94.
138. Fallahtafti F, Curtze C, Samson K, Yentes JM. Chronic obstructive pulmonary disease patients increase medio-lateral stability and limit changes in antero-posterior stability to curb energy expenditure. *Gait Posture*. 2020;75:142–8.
139. Gore S, Blackwood J, Ziccardi T. Associations Between Cognitive Function, Balance, and Gait Speed in Community-Dwelling Older Adults with COPD. *J Geriatr Phys Ther*. 2021 Jul 29;
140. Hetal M, Sejal G. Assessment of Components of Functional Balance in Individuals Suffering From Chronic Obstructive Pulmonary Disease and to Compare It with Age and Gender Matched Individuals. *International Journal of Health Sciences and Research*. 2018;8(3):149–60.
141. Iwakura M, Okura K, Shibata K, Kawagoshi A, Sugawara K, Takahashi H, et al. Relationship between balance and physical activity measured by an activity monitor in elderly COPD patients. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016;11:1505–14.

142. Iwakura M, Okura K, Shibata K, Kawagoshi A, Sugawara K, Takahashi H, et al. Gait characteristics and their associations with clinical outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture*. 2019;74:60–5.
143. Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, Claeys K, Pijnenburg M, Burtin C, et al. Proprioceptive Changes Impair Balance Control in Individuals with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. Hug F, editor. *PLoS ONE*. 2013 Mar 1;8(3):e57949.
144. Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, Claeys K, Pijnenburg M, Goossens N, et al. Impaired postural control reduces sit-to-stand-to-sit performance in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS One*. 2014;9(2):e88247.
145. Jirange P, Vaishali K, Sinha MK, Bairapareddy KC, Alaparathi GK. A Cross-Sectional Study on Balance Deficits and Gait Deviations in COPD Patients. *Can Respir J*. 2021;2021:6675088.
146. Kamble PM, Parulekar P. Assessment of Balance in Individuals Suffering from Chronic Obstructive Pulmonary Diseases. *Indian Journal of Physiotherapy & Occupational Therapy*. 2020 Oct 15;14(4):120–6.
147. Kaygusuz MH, Oral Tapan O, Tapan U, Genc S. Balance impairment and cognitive dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease under 65 years. *The Clinical Respiratory Journal*. 2022;16(3):200–7.
148. Lahousse L, Verlinden VJA, van der Geest JN, Joos GF, Hofman A, Stricker BHC, et al. Gait patterns in COPD: the Rotterdam Study. *Eur Respir J*. 2015 Jul;46(1):88–95.
149. Lee AL, Goldstein RS, Chan C, Rhim M, Zabjek K, Brooks D. Postural deviations in individuals with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Canadian Journal of Respiratory, Critical Care, and Sleep Medicine*. 2018 Apr 3;2(2):61–8.
150. Liu WY, Spruit MA, Delbressine JM, Willems PJ, Franssen FME, Wouters EFM, et al. Spatiotemporal gait characteristics in patients with COPD during the Gait Real-time Analysis Interactive Lab-based 6-minute walk test. *PLoS One*. 2017;12(12):e0190099.
151. Liu WY, Schmid KK, Meijer K, Spruit MA, Yentes JM. Subjects With COPD Walk With Less Consistent Organization of Movement Patterns of the Lower Extremity. *Respir Care*. 2020 Feb;65(2):158–68.
152. McCamley JD, Pisciotta EJ, Yentes JM, Wurdeman SR, Rennard SI, Pipinos II, et al. Gait deficiencies associated with peripheral artery disease are different than chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture*. 2017 Sep;57:258–64.
153. McCrum C, Vaes AW, Delbressine JM, Koopman M, Liu WY, Willems P, et al. A pilot study on the feasibility and effectiveness of treadmill-based perturbations for assessing and improving walking stability in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2022 Jan;91:105538.
154. Mkacher W, Tabka Z, Makki M, Trabelsi Y. Changes in balance after rehabilitation program in patients with COPD and in healthy subjects. *Int J Phys Med Rehabil [Internet]*. 2014; Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.678.7964&rep=rep1&type=pdf>

155. Morlino P, Balbi B, Guglielmetti S, Giardini M, Grasso M, Giordano C, et al. Gait abnormalities of COPD are not directly related to respiratory function. *Gait Posture*. 2017;58:352–7.
156. Molouki A, Roostayi MM, Abedi M, Fakharian A, Akbarzadeh Baghban A. Postural Balance Evaluation in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Tanaffos*. 2020 Dec;19(4):392–400.
157. Oliveira CC, McGinley J, Lee AL, Irving LB, Denehy L. Fear of falling in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med*. 2015 Apr;109(4):483–9.
158. Oliveira CC, Lee AL, McGinley J, Anderson GP, Clark RA, Thompson M, et al. Balance and Falls in Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Prospective Study. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*. 2017 Sep 3;14(5):518–25.
159. Ozalevli S, Ilgin D, Narin S, Akkoçlu A. Association between disease-related factors and balance and falls among the elderly with COPD: a cross-sectional study. *Aging Clin Exp Res*. 2011 Dec;23(5–6):372–7.
160. Ozsoy I, Ozsoy G, Kararti C, Buyukturan B, Yilmaz F, Buyukturan O, et al. Cognitive and motor performances in dual task in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a comparative study. *Ir J Med Sci*. 2020 Sep 3;
161. Ozsoy I, Kahraman BO, Ozsoy G, Ilcin N, Tekin N, Savci S. Effects of an Integrated Exercise Program Including “Functional” Inspiratory Muscle Training in Geriatric Individuals with and without Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Ann Geriatr Med Res*. 2021 Mar;25(1):45–54.
162. Park JK, Deutz NEP, Cruthirds CL, Kirschner SK, Park H, Madigan ML, et al. Risk Factors for Postural and Functional Balance Impairment in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *J Clin Med [Internet]*. 2020 Feb 24 [cited 2020 Nov 13];9(2). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7074538/>
163. Pedrozo MD, Silveira AF da. Balance assessment in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Fisioterapia em Movimento*. 2015;28(1):149–56.
164. Porto EF, Pradella CO, Rocco CM, Chueiro Jr M, Maia RQ, Ganança FF, et al. Comparative postural control in COPD patients and healthy individuals during dynamic and static activities. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention*. 2017;37(2):139–45.
165. Qurashi MUM, Rupak S, Shambhovi M. FACTORS AFFECTING BALANCE IN CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE. *International Journal of Physiotherapy*. 2019 Oct 9;160–8.
166. Riaz T, UI Ain Q, Amjad M, Fiaz A, Sajjad Y, Waris. Comparison of Balance Impairment among Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) and Healthy Population. *Pakistan Journal of Medical & Health Sciences*. 2022;16(1):659–62.
167. Rocco JCF Carolina Chiusoli de Miranda, Sampaio, Luciana Maria Malosá, Stirbulov, Roberto, Corrêa. Neurophysiological aspects and their relationship to clinical and functional impairment in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Clinics*. 2011;66:125–9.

168. Roig M, Eng JJ, MacIntyre DL, Road JD, Reid WD. Associations of the Stair Climb Power Test with muscle strength and functional performance in people with chronic obstructive pulmonary disease: a cross-sectional study. *Phys Ther.* 2010;90(12):1774–82.
169. Roig M, Eng JJ, Macintyre DL, Road JD, Reid WD. Postural Control Is Impaired in People with COPD: An Observational Study. *Physiother Can.* 2011;63(4):423–31.
170. Rutkowski S, Rutkowska A, Luniewski J, Szczegieliński J. Gait analysis of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Fizjoterapia Polska.* 2014 Jan 1;14:24–33.
171. Saraiva N, Ferreira A, Papathanasiou J, Guimaraes F, Lopes A. KINEMATIC EVALUATION OF PATIENTS WITH CHRONIC OBSTRUCTIVE PULMONARY DISEASE DURING THE 6-MIN WALK TEST. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* 2021 Jan 21;
172. Satani K, Mehta R. Assessment of Strength, Coordination and Balance in Patients with Moderate to Severe Copd. *Annals of the Romanian Society for Cell Biology.* 2021 May 1;12882–7.
173. Sayed S, Naqvi W, Phansopkar P. Submaximal Exercise Task Post Clinical Balance in COPD Patients and its Correlation with Quadriceps Girth, Body Mass Index and Disease Severity. *Indian Journal of ...* [Internet]. 2021; Available from: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&profile=ehost&scope=site&authType=crawler&jrnl=09739122&AN=148371938&h=URYm%2BCALsrPBYluORpbW4IAMpfWh1UAx2Z5eldk0s9RC1M56s9xcFGRyhP3HebMcSIVpeH2qJCKxHnJ62kSX%2FQ%3D%3D&crl=c>
174. Schons P, da Silva ES, Coertjens M, Oliveira HB, Fischer G, Costa RR, et al. The relationship between height of vertical jumps, functionality and fall episodes in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A case-control study. *Exp Gerontol.* 2021 Sep;152:111457.
175. Shalaby AA, Fatouh FN, Ezzelregal HG, Askar WM. Vestibular Assessment in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients. *Zagazig University Medical Journal.* 2019 Jul 1;25(4):601–7.
176. Singh SS, Bhat A, Mohapatra AK, Manu MK, Vaishali K. Comparison of reaction time and functional balance in chronic obstructive pulmonary disease and healthy participants. *Heart Lung.* 2019 Dec;48(6):570–3.
177. Smith MD, Chang AT, Seale HE, Walsh JR, Hodges PW. Balance is impaired in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture.* 2010 Apr;31(4):456–60.
178. Smith MD, Chang AT, Hodges PW. Balance recovery is compromised and trunk muscle activity is increased in chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture.* 2016 Jan;43:101–7.
179. Strandkvist V, Röijezon U, Lindberg A, Stridsman C, Larsson A. Hand grip strength and postural control among individuals with and without Chronic Obstructive Pulmonary Disease : Epidemiological and motion laboratory studies. Doctoral thesis / Luleå University of Technology 1 jan 1997 → ... [Internet]. 2019; Available from: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ltu:diva-75508>

180. Terui Y, Iwakura M, Suto E, Kawagoshi A, Sugawara K, Takahashi H, et al. New evaluation of trunk movement and balance during walking in COPD patients by a triaxial accelerometer. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2018;13:3957–62.
181. Tudorache E, Oancea C, Avram C, Fira-Mladinescu O, Petrescu L, Timar B. Balance impairment and systemic inflammation in chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2015;10:1847–52.
182. Van Hove O, Cebolla AM, Andrianopoulos V, Leduc D, Guidat PA, Feipel V, et al. The influence of cognitive load on static balance in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Clin Respir J.* 2020 Nov 20;
183. Vardar-Yagli N, Saglam M, Calik-Kutukcu E, Inal-Ince D, Arikan H, Coplu L. Increased pain sensitivity, postural abnormalities, and functional balance impairment in obstructive lung disease compared to healthy subjects. *Heart & Lung: The Journal of Cardiopulmonary and Acute Care.* 2019 Jul 1;48(4):351–5.
184. Voica AS, Oancea C, Tudorache E, Crisan AF, Fira-Mladinescu O, Tudorache V, et al. Chronic obstructive pulmonary disease phenotypes and balance impairment. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2016;11:919–25.
185. Yazici O, Ceylan E, Demir Yazici S, Tas Gulen S. Evaluation of balance in patients with chronic obstructive pulmonary disease with practical tests. *Int J Clin Pract.* 2021 Apr;75(4):e13901.
186. Yentes JM, Schmid KK, Blanke D, Romberger DJ, Rennard SI, Stergiou N. Gait mechanics in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Res [Internet].* 2015 [cited 2020 Nov 13];16(1). Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4351940/>
187. Yentes JM, Rennard SI, Schmid KK, Blanke D, Stergiou N. Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease Walk with Altered Step Time and Step Width Variability as Compared with Healthy Control Subjects. *Ann Am Thorac Soc.* 2017 Jun;14(6):858–66.
188. Yumrutepe T, Aytemur ZA, Baysal O, Taskapan H, Taskapan CM, Hacievliyagil SS. Relationship between vitamin D and lung function, physical performance and balance on patients with stage I-III chronic obstructive pulmonary disease. *Rev Assoc Med Bras (1992).* 2015 Apr;61(2):132–8.
189. Alsubheen SA, Beauchamp M, Ellerton C, Goldstein R, Alison J, Dechman G, et al. Age and Sex Differences in Balance Outcomes among Individuals with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) at Risk of Falls. *COPD.* 2022;19(1):166–73.
190. Benton MJ, Wagner CL, Alexander JL. Relationship between body mass index, nutrition, strength, and function in elderly individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2010 Aug;30(4):260–3.
191. Bernabeu-Mora R, Giménez-Giménez LM, Montilla-Herrador J, García-Guillamón G, García-Vidal JA, Medina-Mirapeix F. Determinants of each domain of the Short Physical Performance Battery in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2017;12:2539–44.
192. Birinci T, Kısa EP, Akıncı B, Kuran Aslan G, Kıyan E. The Investigation of Falls and Balance from the Perspective of Activities of Daily Living in Patients with COPD. *COPD.* 2021 Apr;18(2):147–56.

193. Butcher SJ, Pikaluk BJ, Chura RL, Walkner MJ, Farthing JP, Marciniuk DD. Associations between isokinetic muscle strength, high-level functional performance, and physiological parameters in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2012;7:537–42.
194. Carter D. Changes in gait variability and balance control during exertional walking in adults with chronic obstructive pulmonary disease. 2020; Available from: <https://eprints.utas.edu.au/34822/>
195. Champion T, Sanford K, Byrd R. Retrospective balance study for individuals with chronic obstructive pulmonary disease: Evaluating the effect of a 1-month physical therapy program. ... *Physical Therapy Journal* [Internet]. 2019; Available from: [https://journals.lww.com/cptj/Fulltext/2019/10000/Retrospective\\_Balance\\_Study\\_for\\_Individuals\\_With.7.aspx](https://journals.lww.com/cptj/Fulltext/2019/10000/Retrospective_Balance_Study_for_Individuals_With.7.aspx)
196. Chang AT, Seale H, Walsh J, Brauer SG. Static balance is affected following an exercise task in chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2008 Apr;28(2):142–5.
197. Cruz J, Marques A, Jácome C, Gabriel R, Figueiredo D. Global Functioning of COPD Patients With and Without Functional Balance Impairment: An Exploratory Analysis Based on the ICF Framework. *COPD*. 2015 Apr;12(2):207–16.
198. Eisner MD, Blanc PD, Sidney S, Yelin EH, Lathon PV, Katz PP, et al. Body composition and functional limitation in COPD. *Respir Res*. 2007 Jan 29;8:7.
199. Eisner MD, Iribarren C, Yelin EH, Sidney S, Katz PP, Ackerson L, et al. Pulmonary function and the risk of functional limitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Epidemiol*. 2008 May 1;167(9):1090–101.
200. Jácome C, Cruz J, Gabriel R, Figueiredo D, Marques A. Functional balance in older adults with chronic obstructive pulmonary disease. *J Aging Phys Act*. 2014 Jul;22(3):357–63.
201. Kovelis D, Gomes ARS, Mazzarin C, de Miranda A, Valderramas S. Association Between the Results of the Timed Up-and-Go Test Adjusted for Disease Severity and Sarcopenia in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: a Pilot Study. *Clinics (Sao Paulo)*. 2019;74:e930.
202. Lage VKS, Silva GP, Lacerda ACR, Paula FA, Lima LP, Santos JNV, et al. Functional tests associated with sarcopenia in moderate chronic obstructive pulmonary disease. *Expert Rev Respir Med*. 2020;1–8.
203. Leung RWM, Alison JA, McKeough ZJ. Inter-rater and intra-rater reliability of the Brief-BESTest in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Rehabil*. 2019 Jan;33(1):104–12.
204. Liwsrisakun C, Pothirat C, Chaiwong W, Bumroongkit C, Deesomchok A, Theerakittikul T, et al. Exercise Performance as a Predictor for Balance Impairment in COPD Patients. *Medicina (Kaunas)*. 2019 May 20;55(5):E171.
205. Liwsrisakun C, Pothirat C, Chaiwong W, Techatawepisarn T, Limsukon A, Bumroongkit C, et al. Diagnostic ability of the Timed Up & Go test for balance impairment prediction in chronic obstructive pulmonary disease. *J Thorac Dis*. 2020 May;12(5):2406–14.

206. Matkovic Z, Tudoric N, Cvetko D, Esquinas C, Rahelic D, Zarak M, et al. Easy to Perform Physical Performance Tests to Identify COPD Patients with Low Physical Activity in Clinical Practice. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2020;15:921–9.
207. McLay R, Kirkwood RN, Kuspinar A, Richardson J, Wald J, Raghavan N, et al. Validity of balance and mobility screening tests for assessing fall risk in COPD. *Chron Respir Dis*. 2020 Dec;17:1479973120922538.
208. Medina-Mirapeix F, Bernabeu-Mora R, Sánchez-Martínez MP, Montilla-Herrador J, Bernabeu-Mora M, Escolar-Reina P. Mobility limitations related to reduced pulmonary function among aging people with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS One*. 2018;13(5):e0196152.
209. Mkacher W, Tabka Z, Trabelsi Y. Relationship between postural balance, lung function, nutritional status and functional capacity in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Science & Sports*. 2016;31(2):88–94.
210. Mohan D, Benson VS, Allinder M, Galwey N, Bolton CE, Cockcroft JR, et al. Short Physical Performance Battery: What Does Each Sub-Test Measure in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease? *Chronic Obstr Pulm Dis*. 2020;7(1):13–25.
211. Nantsupawat N, Lane P, Siangprapunt O, Gadwala S, Nugent K. Gait Characteristics in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *J Prim Care Community Health*. 2015 Oct;6(4):222–6.
212. Patel MS, Mohan D, Andersson YM, Baz M, Samantha Kon SC, Canavan JL, et al. Phenotypic characteristics associated with reduced short physical performance battery score in COPD. *Chest*. 2014;145(5):1016–24.
213. Yentes JM, Blanke D, Rennard SI, Stergiou N. The Effect of a Short Duration, High Intensity Exercise Intervention on Gait Biomechanics in Patients With COPD: Findings From a Pilot Study. *Chronic Obstr Pulm Dis*. 2014;1(1):133–47.
214. Yin M, Wang H, Hu X, Li X, Fei G, Yu Y. Patterns of brain structural alteration in COPD with different levels of pulmonary function impairment and its association with cognitive deficits. *BMC Pulm Med*. 2019 Nov 7;19(1):203.
215. Esser RW, Stoeckel MC, Kirsten A, Watz H, Taube K, Lehmann K, et al. Structural Brain Changes in Patients With COPD. *Chest*. 2016 Feb;149(2):426–34.
216. Dieterich M, Brandt T. Perception of Verticality and Vestibular Disorders of Balance and Falls. *Frontiers in Neurology*. 2019;10:172.
217. Dodd JW, Chung AW, van den Broek MD, Barrick TR, Charlton RA, Jones PW. Brain structure and function in chronic obstructive pulmonary disease: a multimodal cranial magnetic resonance imaging study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2012 Aug 1;186(3):240–5.
218. Torres-Sánchez I, Rodríguez-Alzuetta E, Cabrera-Martos I, López-Torres I, Moreno-Ramírez MP, Valenza MC. Cognitive impairment in COPD: a systematic review. *J Bras Pneumol*. 2015;41(2):182–90.

219. Berriet AC, Beaumont M, Peran L, Le Ber C, Couturaud F. Effects of pulmonary rehabilitation on fear of falling in Chronic Obstructive Pulmonary Disease(COPD) patients: an observational study. *Respiratory Medicine and Research*. 2022 Jun 12;100932.
220. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the diagnosis, Management, and prevention of COPD, 2020 report [Internet]. 2020. Available from: [https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/12/GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19\\_WMV.pdf](https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/12/GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19_WMV.pdf)
221. O'Hoski S, Winship B, Herridge L, Agha T, Brooks D, Beauchamp MK, et al. Increasing the Clinical Utility of the BESTest, Mini-BESTest, and Brief-BESTest: Normative Values in Canadian Adults Who Are Healthy and Aged 50 Years or Older. *Physical Therapy*. 2014 Mar 1;94(3):334–42.
222. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, Barjaktarevic IZ, Cooper BG, Hall GL, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An Official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019 Oct 15;200(8):e70–88.
223. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, Babb T, Barreiro E, Dres M, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *European Respiratory Journal* [Internet]. 2019 Jun 1 [cited 2022 Jan 19];53(6). Available from: <https://erj.ersjournals.com/content/53/6/1801214>
224. Bachasson D, Villiot-Danger E, Verges S, Hayot M, Perez T, Chambellan A, et al. [Maximal isometric voluntary quadriceps strength assessment in COPD]. *Rev Mal Respir*. 2014 Oct;31(8):765–70.
225. Beaumont M, Kerautret G, Peran L, Pichon R, Le Ber C, Cabillic M. [Reproducibility of strength and endurance measurements of the quadriceps in patients with COPD]. *Rev Mal Respir*. 2017 Nov;34(9):1000–6.
226. Bui KL, Nyberg A, Maltais F, Saey D. Functional Tests in Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Part 2: Measurement Properties. *Annals ATS*. 2017 Feb 28;14(5):785–94.
227. Vaidya T, Chambellan A, de Bisschop C. Sit-to-stand tests for COPD: A literature review. *Respir Med*. 2017 Jul;128:70–7.
228. Yorke J, Moosavi SH, Shuldham C, Jones PW. Quantification of dyspnoea using descriptors: development and initial testing of the Dyspnoea-12. *Thorax*. 2010 Jan;65(1):21–6.
229. Mahler DA, Wells CK. Evaluation of clinical methods for rating dyspnea. *Chest*. 1988 Mar;93(3):580–6.
230. Garrod R, Bestall JC, Paul EA, Wedzicha JA, Jones PW. Development and validation of a standardized measure of activity of daily living in patients with severe COPD: the London Chest Activity of Daily Living scale (LCADL). *Respir Med*. 2000 Jun;94(6):589–96.
231. Banzett RB, O'Donnell CR, Guilfoyle TE, Parshall MB, Schwartzstein RM, Meek PM, et al. Multidimensional Dyspnea Profile: an instrument for clinical and laboratory research. *European Respiratory Journal* [Internet]. 2015 Mar 18 [cited 2021 Sep 20]; Available from: <https://erj.ersjournals.com/content/early/2015/03/18/09031936.00038914>

232. Beaumont M, Couturaud F, Jégo F, Pichon R, Le Ber C, Péran L, et al. Validation of the French version of the London Chest Activity of Daily Living scale and the Dyspnea-12 questionnaire. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2018;13:1399–405.
233. Gilet H, Pignier C, Aguilaniu B, Devillier P, Didier A, Perez T, et al. Psychometric Validation of the Multidimensional Dyspnea Profile (Mdp) Questionnaire. *Value in Health*. 2015 Nov 1;18(7):A712.
234. Jones PW, Quirk FH, Baveystock CM. The St George's Respiratory Questionnaire. *Respir Med*. 1991 Sep;85 Suppl B:25–31; discussion 33-37.
235. Jones PW, Harding G, Berry P, Wiklund I, Chen WH, Kline Leidy N. Development and first validation of the COPD Assessment Test. *Eur Respir J*. 2009 Sep;34(3):648–54.
236. Zigmond AS, Snaith RP. The hospital anxiety and depression scale. *Acta Psychiatr Scand*. 1983 Jun;67(6):361–70.
237. Yardley L, Beyer N, Hauer K, Kempen G, Piot-Ziegler C, Todd C. Development and initial validation of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I). *Age and Ageing*. 2005 Nov 1;34(6):614–9.
238. Hellström K, Vahlberg B, Urell C, Emtner M. Fear of falling, fall-related self-efficacy, anxiety and depression in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Rehabil*. 2009 Dec;23(12):1136–44.
239. Morgan BL, Voorhis CRWV. Understanding Power and Rules of Thumb for Determining Sample Sizes. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology*. 2007 Sep 1;3(2):43–50.
240. Pereira ACA, Xavier RF, Lopes AC, da Silva CC, Oliveira CC, Fernandes FL, et al. The mini-balance evaluation system test can predict falls in clinically stable outpatients with COPD: a 12-Mo prospective cohort study. *Journal of cardiopulmonary rehabilitation and prevention*. 2019;39(6):391–6.
241. Hodges PW, Gandevia SC. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *J Physiol*. 2000 Jan 1;522 Pt 1:165–75.
242. Hodges PW, Heijnen I, Gandevia SC. Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *J Physiol*. 2001 Dec 15;537(Pt 3):999–1008.
243. Sherrington C, Fairhall NJ, Wallbank GK, Tiedemann A, Michaleff ZA, Howard K, et al. Exercise for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Bone, Joint and Muscle Trauma Group, editor. Cochrane Database of Systematic Reviews [Internet]*. 2019 Jan 31 [cited 2022 Aug 29];2019(1). Available from: <https://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD012424.pub2>
244. Delbressine JM, Vaes AW, Goërtz YM, Sillen MJ, Kawagoshi A, Meijer K, et al. Effects of Exercise-Based Interventions on Fall Risk and Balance in Patients With Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A SYSTEMATIC REVIEW. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2020;40(3):152–63.
245. Ferraro FV, Gavin JP, Wainwright TW, McConnell AK. Comparison of balance changes after inspiratory muscle or Otago exercise training. *PLoS One*. 2020;15(1):e0227379.

246. Tounsi B, Acheche A, Lelard T, Tabka Z, Trabelsi Y, Ahmaidi S. Effects of specific inspiratory muscle training combined with whole-body endurance training program on balance in COPD patients: Randomized controlled trial. *PLoS One*. 2021;16(9):e0257595.
247. Pichon R, Van Hove O, Ménard M, Haering D, Crétual A. Impairment and characteristics of postural control sub-components in people with COPD: a scoping review. *Disability and Rehabilitation*. 2022 Aug 24;0(0):1–16.
248. Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, ZuWallack R, Nici L, Rochester C, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013 Oct 15;188(8):e13-64.
249. Skumlien S, Hagelund T, Bjørtuft O, Ryg MS. A field test of functional status as performance of activities of daily living in COPD patients. *Respir Med*. 2006 Feb;100(2):316–23.
250. Pichon R. Quantitative analysis of postural control of COPD patients during activities of daily living (ATTRACTION): a study protocol | *European Rehabilitation Journal*. [cited 2023 Jul 21]; Available from: <https://rehab-journal.com/index.php/home/article/view/19>
251. Gail MH. Frequency Matching. In: *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online* [Internet]. John Wiley & Sons, Ltd; 2014 [cited 2022 Mar 18]. Available from: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/9781118445112.stat05163>
252. de Graaf MA, Jager KJ, Zoccali C, Dekker FW. Matching, an Appealing Method to Avoid Confounding? *Nephron Clin Pract*. 2011;118(4):c315–8.
253. Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc*. 1991 Feb;39(2):142–8.
254. Wu G, Siegler S, Allard P, Kirtley C, Leardini A, Rosenbaum D, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion--part I: ankle, hip, and spine. *International Society of Biomechanics. J Biomech*. 2002 Apr;35(4):543–8.
255. Wu G, van der Helm FCT, Veeger HEJD, Makhsous M, Van Roy P, Anglin C, et al. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion--Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *J Biomech*. 2005 May;38(5):981–92.
256. Crenna F, Rossi GB, Berardengo M. Filtering Biomechanical Signals in Movement Analysis. *Sensors (Basel)*. 2021 Jul 4;21(13):4580.
257. Muller A, Pontonnier C, Puchaud P, Dumont G. CusToM: a Matlab toolbox for musculoskeletal simulation. *Journal of Open Source Software*. 2019 Jan 21;4(33):927.
258. Jeka J, Kiemel T, Creath R, Horak F, Peterka R. Controlling Human Upright Posture: Velocity Information Is More Accurate Than Position or Acceleration. *Journal of Neurophysiology*. 2004 Oct;92(4):2368–79.
259. VanItallie TB, Yang MU, Heymsfield SB, Funk RC, Boileau RA. Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators of nutritional status. *Am J Clin Nutr*. 1990 Dec;52(6):953–9.

260. Derma F, Zaborowska Ł. FFMI Calculator (Fat-Free Mass Index) [Internet]. Available from: <https://www.omnicalculator.com/health/ffmi>.
261. Meek PM, Banzett R, Parshall MB, Gracely RH, Schwartzstein RM, Lansing R. Reliability and Validity of the Multidimensional Dyspnea Profile. *Chest*. 2012 Jun;141(6):1546–53.
262. Mahler DA, Ward J, Waterman LA, McCusker C, ZuWallack R, Baird JC. Patient-Reported Dyspnea in COPD Reliability and Association With Stage of Disease. *Chest*. 2009 Dec;136(6):1473–9.
263. Garrod R, Paul EA, Wedzicha JA. An evaluation of the reliability and sensitivity of the London Chest Activity of Daily Living Scale (LCADL). *Respir Med*. 2002 Sep;96(9):725–30.
264. Janssens T, Geidl W, Carl J, Pfeiffer K, Lehbert N, Wittmann M, et al. Reliability and validity of dyspnea numeric rating scales as a patient-reported outcome in pulmonary rehabilitation of COPD. *European Respiratory Journal* [Internet]. 2019 Sep 28 [cited 2022 Mar 11];54(suppl 63). Available from: [https://erj.ersjournals.com/content/54/suppl\\_63/OA3810](https://erj.ersjournals.com/content/54/suppl_63/OA3810)
265. Barbero M, Navarro-Santana MJ, Palacios-Ceña M, Ortega-Santiago R, Cescon C, Falla D, et al. Clinical Significance and Diagnostic Value of Pain Extent Extracted from Pain Drawings: A Scoping Review. *Diagnostics*. 2020 Aug;10(8):604.
266. Hjermstad MJ, Fayers PM, Haugen DF, Caraceni A, Hanks GW, Loge JH, et al. Studies Comparing Numerical Rating Scales, Verbal Rating Scales, and Visual Analogue Scales for Assessment of Pain Intensity in Adults: A Systematic Literature Review. *Journal of Pain and Symptom Management*. 2011 Jun 1;41(6):1073–93.
267. Chiarotto A, Maxwell LJ, Ostelo RW, Boers M, Tugwell P, Terwee CB. Measurement Properties of Visual Analogue Scale, Numeric Rating Scale, and Pain Severity Subscale of the Brief Pain Inventory in Patients With Low Back Pain: A Systematic Review. *J Pain*. 2019 Mar;20(3):245–63.
268. Stavrou VT, Tourlakopoulos KN, Daniil Z, Gourgoulidis KI. Respiratory Muscle Strength: New Technology for Easy Assessment. *Cureus*. 2021 May 2;13(5):e14803.
269. Morgan MT, Friscia LA, Whitney SL, Furman JM, Sparto PJ. Reliability and Validity of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I) in Individuals with Dizziness and Imbalance. *Otol Neurotol*. 2013 Aug;34(6):1104–8.
270. Cleland C, Ferguson S, Ellis G, Hunter RF. Validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) for assessing moderate-to-vigorous physical activity and sedentary behaviour of older adults in the United Kingdom. *BMC Med Res Methodol*. 2018 Dec 22;18(1):176.
271. Crinière L, Lhommet C, Caille A, Giraudeau B, Lecomte P, Couet C, et al. Reproducibility and Validity of the French Version of the Long International Physical Activity Questionnaire in Patients With Type 2 Diabetes. *Journal of Physical Activity and Health*. 2011 Aug 1;8(6):858–65.

272. Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc.* 2003 Aug;35(8):1381–95.
273. Charlson ME, Pompei P, Ales KL, MacKenzie CR. A new method of classifying prognostic comorbidity in longitudinal studies: development and validation. *J Chronic Dis.* 1987;40(5):373–83.
274. Charlson M, Szatrowski TP, Peterson J, Gold J. Validation of a combined comorbidity index. *J Clin Epidemiol.* 1994 Nov;47(11):1245–51.
275. Brodaty H, Kemp NM, Low LF. Characteristics of the GPCOG, a screening tool for cognitive impairment. *Int J Geriatr Psychiatry.* 2004 Sep;19(9):870–4.
276. Thomas P, hazif-thomas C, Viéban F, Faugeron P, Peix R, Clément J. [The GPcog for detecting a population with a high risk of dementia]. *Psychologie & neuropsychiatrie du vieillissement.* 2006 Apr 1;4:69–77.
277. Gupta N, Pinto LM, Morogan A, Bourbeau J. The COPD assessment test: a systematic review. *Eur Respir J.* 2014 Oct;44(4):873–84.
278. Noguchi K, Gel YR, Brunner E, Konietzschke F. nparLD: An R Software Package for the Nonparametric Analysis of Longitudinal Data in Factorial Experiments. *Journal of Statistical Software.* 2012 Sep 18;50:1–23.
279. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 2013 [cited 2022 Sep 2];4. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2013.00863>
280. Rubia JM de la. Note on Rank-Biserial Correlation when There Are Ties. *Open Journal of Statistics.* 2022 Oct 9;12(5):597–622.
281. Olejnik S, Algina J. Generalized Eta and Omega Squared Statistics: Measures of Effect Size for Some Common Research Designs. *Psychological Methods.* 2003;8:434–47.
282. Ramires BR, de Oliveira EP, Pimentel GD, McLellan KCP, Nakato DM, Faganello MM, et al. Resting energy expenditure and carbohydrate oxidation are higher in elderly patients with COPD: a case control study. *Nutrition Journal.* 2012 Jun 6;11(1):37.
283. Carpenter MG, Murnaghan CD, Inglis JT. Shifting the balance: evidence of an exploratory role for postural sway. *Neuroscience.* 2010 Nov 24;171(1):196–204.
284. Le Clair K, Riach C. Postural stability measures: what to measure and for how long. *Clinical Biomechanics.* 1996 Apr 1;11(3):176–8.
285. Maki BE. Gait Changes in Older Adults: Predictors of Falls or Indicators of Fear? *Journal of the American Geriatrics Society.* 1997;45(3):313–20.
286. Rajachandrakumar R, Mann J, Schinkel-Ivy A, Mansfield A. Exploring the relationship between stability and variability of the centre of mass and centre of pressure. *Gait Posture.* 2018 Jun;63:254–9.
287. Bartlett R, Wheat J, Robins M. Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomech.* 2007 May;6(2):224–43.

288. Mukherjee M, Yentes JM. Movement variability: A perspective on success in sports, health, and life. *Scand J Med Sci Sports*. 2018 Mar;28(3):758–9.
289. Cavalheri V, Donária L, Ferreira T, Finatti M, Camillo CA, Cipulo Ramos EM, et al. Energy expenditure during daily activities as measured by two motion sensors in patients with COPD. *Respir Med*. 2011 Jun;105(6):922–9.
290. Gulart AA, Munari AB, Dos Santos K, Tressoldi C, Karloh M, Mayer AF. Physiological Responses and Dynamic Hyperinflation Induced by Unsupported Arm Activities Involved in Multiple-Task Activities of Daily Living Test in Patients With COPD. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2018 Nov;38(6):E12–5.
291. Stambolian D, Eltoukhy M, Asfour S. Development and validation of a three dimensional dynamic biomechanical lifting model for lower back evaluation for careful box placement. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2016 Jul 1;54:10–8.
292. Andriacchi TP, Andersson GB, Fermier RW, Stern D, Galante JO. A study of lower-limb mechanics during stair-climbing. *J Bone Joint Surg Am*. 1980 Jul;62(5):749–57.
293. Jevsevar DS, Riley PO, Hodge WA, Krebs DE. Knee Kinematics and Kinetics During Locomotor Activities of Daily Living in Subjects with Knee Arthroplasty and in Healthy Control Subjects. *Physical Therapy*. 1993 Apr 1;73(4):229–39.
294. Thigpen MT, Light KE, Creel GL, Flynn SM. Turning Difficulty Characteristics of Adults Aged 65 Years or Older. *Physical Therapy*. 2000 Dec 1;80(12):1174–87.
295. Zou KH, Tuncali K, Silverman SG. Correlation and simple linear regression. *Radiology*. 2003 Jun;227(3):617–22.
296. Żychowska M, Jaworecka K, Mazur E, Słomka K, Marszałek W, Rzepko M, et al. COVID-19 and Postural Control—A Stabliographic Study Using Rambling-Trembling Decomposition Method. *Medicina*. 2022 Feb;58(2):305.
297. YAKUT H, ÖZALEVLİ S, BİRLİK AM. Postural balance and fall risk in patients with systemic sclerosis: A cross-sectional study. *Arch Rheumatol*. 2021 Jan 14;36(2):167–75.
298. Hove OV, Andrianopoulos V, Cebolla AM, Leduc D, Feipel V, Deboeck G, et al. The impact of dyspnea on postural control in healthy subjects. *European Respiratory Journal [Internet]*. 2020 Sep 7 [cited 2022 May 10];56(suppl 64). Available from: [https://erj.ersjournals.com/content/56/suppl\\_64/3216](https://erj.ersjournals.com/content/56/suppl_64/3216)
299. Lahajje A, van Helvoort H, Dekhuijzen P, Heijdra Y. Physiologic limitations during daily life activities in COPD patients. *Respiratory Medicine*. 2010 Aug 1;104(8):1152–9.
300. Pichon R, Ménard M, Haering D, Crétual A, Beaumont M. Characteristics and Predictors of Postural Control Impairment in Patients With COPD Participating in a Pulmonary Rehabilitation Program. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2023 May 1;43(3):198–204.
301. Stubbs B, Schofield P, Binnekade T, Patchay S, Sepehry A, Eggermont L. Pain is associated with recurrent falls in community-dwelling older adults: evidence from a systematic review and meta-analysis. *Pain Med*. 2014 Jul;15(7):1115–28.

302. Hirase T, Okubo Y, Sturnieks DL, Lord SR. Pain Is Associated With Poor Balance in Community-Dwelling Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Am Med Dir Assoc*. 2020 May;21(5):597-603.e8.
303. Loughran K, Tough D, Ryan C, Wellburn S, Martin D, Dixon J, et al. The Association of Pain with Incident Falls in People with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Evidence from the English Longitudinal Study of Ageing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2023 Jun 27;20:6236.
304. Reynaud V, Muti D, Pereira B, Greil A, Caillaud D, Richard R, et al. A TUG Value Longer Than 11 s Predicts Fall Risk at 6-Month in Individuals with COPD. *J Clin Med*. 2019 Oct 22;8(10):1752.
305. Bohannon RW. Reference values for the timed up and go test: a descriptive meta-analysis. *J Geriatr Phys Ther*. 2006;29(2):64–8.
306. Wurdeman SR, Raffalt PC, Stergiou N. Reduced vertical displacement of the center of mass is not accompanied by reduced oxygen uptake during walking. *Sci Rep*. 2017 Dec 7;7(1):17182.
307. Saunders JB dec M, Inman VT, Eberhart HD. THE MAJOR DETERMINANTS IN NORMAL AND PATHOLOGICAL GAIT. *JBS*. 1953 Jul;35(3):543.
308. Ortega JD, Farley CT. Minimizing center of mass vertical movement increases metabolic cost in walking. *J Appl Physiol* (1985). 2005 Dec;99(6):2099–107.
309. Gordon KE, Ferris DP, Kuo AD. Metabolic and Mechanical Energy Costs of Reducing Vertical Center of Mass Movement During Gait. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2009 Jan 1;90(1):136–44.
310. Sanseverino MA, Pecchiari M, Bona RL, Berton DC, de Queiroz FB, Gruet M, et al. Limiting Factors in Walking Performance of Subjects With COPD. *Respir Care*. 2018 Mar;63(3):301–10.
311. Pichon R, Ménard M, Hearing D, Brinchault G, Crétual A. Quantitative analysis of postural control of COPD patients during activities of daily living (ATTRACTION): a study protocol. *European Rehabilitation Journal* [Internet]. 2022 Jun 28 [cited 2022 Oct 11];2(1). Available from: <https://rehab-journal.com/index.php/home/article/view/19>
312. Mesquita R, Janssen D, Wouters E, ... Within-day test-retest reliability of the Timed Up & Go test in patients with advanced chronic organ failure. *Archives of physical ...* [Internet]. 2013; Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003999313002852>
313. Bayot M, Dujardin K, Tard C, Defebvre L, Bonnet CT, Allart E, et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiol Clin*. 2018 Dec;48(6):361–75.
314. Plummer P, Eskes G, Wallace S, Giuffrida C, Fraas M, Campbell G, et al. Cognitive-Motor Interference during Functional Mobility after Stroke: State of the Science and Implications for Future Research. *Arch Phys Med Rehabil*. 2013 Dec;94(12):10.1016/j.apmr.2013.08.002.

315. Naumann S, Byrne ML, de la Fuente A, Harrewijn A, Nugiel T, Rosen M, et al. Assessing the Degree of Ecological Validity of Your Study: Introducing the Multidimensional Assessment of Research in Context (MARC) Tool. *Mind, Brain, and Education*. 2022;16(3):228–38.
316. Piscicelli C, Pérennou D. Visual verticality perception after stroke: A systematic review of methodological approaches and suggestions for standardization. *Ann Phys Rehabil Med*. 2017 Jun;60(3):208–16.
317. Ferreira LR, Ferreira FJPDA, Campos FA, Luvizutto GJ, Souza LAPSD. Evaluation of subjective vertical perception among stroke patients: a systematic review. *Arq Neuropsiquiatr*. 2021 Nov;79(11):1026–34.
318. Obrero-Gaitán E, Molina F, Del-Pino-Casado R, Ibáñez-Vera AJ, Rodríguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Visual Verticality Perception in Spinal Diseases: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med*. 2020 Jun 3;9(6):E1725.
319. Obrero-Gaitán E, Molina F, Montilla-Ibañez M de A, Del-Pino-Casado R, Rodríguez-Almagro D, Lomas-Vega R. Misperception of Visual Vertical in Peripheral Vestibular Disorders. A Systematic Review With Meta-Analysis. *Laryngoscope*. 2021 May;131(5):1110–21.
320. Conceição LB, Baggio JAO, Mazin SC, Edwards DJ, Santos TEG. Normative data for human postural vertical: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*. 2018;13(9):e0204122.
321. Mirza S, Benzo R. COPD Phenotypes - implications for care. *Mayo Clin Proc*. 2017 Jul;92(7):1104–12.
322. Raskin J, Marks T, Miller A. Phenotypes and Characterization of COPD: A PULMONARY REHABILITATION PERSPECTIVE. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2018 Jan;38(1):43–8.
323. Yousuf A, McAuley H, Elneima O, Brightling CE. The different phenotypes of COPD. *Br Med Bull*. 2021 Mar 25;137(1):82–97.
324. Korchi K, Noé F, Bru N, Monce M, Cabisianca-Martin O, Paillard T. Influence of plantar cutaneous sensitivity on daily fluctuations of postural control and gait in institutionalized older adults: a hierarchical cluster analysis. *Chronobiol Int*. 2019 Jun;36(6):870–82.
325. Ugurlu E, Pekel G, Altinisik G, Bozkurt K, Can I, Evyapan F. New aspect for systemic effects of COPD: eye findings. *Clin Respir J*. 2018 Jan;12(1):247–52.
326. Alkan AA, Duzgun E, Karapapak M, Ozkarafakili MA, Zeydanli EO, Arslan GD, et al. Retinal Vascular Changes in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: An Optical Coherence Tomography Angiography Study. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul*. 2021 Jul 4;55(2):210–6.
327. Vaes AW, Spruit MA, Theunis J, Goswami N, Vanfleteren LE, Franssen FME, et al. Looking into the eye of patients with chronic obstructive pulmonary disease: an opportunity for better microvascular profiling of these complex patients. *Acta Ophthalmologica*. 2018;96(6):539–49.

328. Strandkvist V, Lindberg A, Larsson A, Pauelsen M, Stridsman C, Nyberg L, et al. Postural control among individuals with and without chronic obstructive pulmonary disease: A cross-sectional study of motor and sensory systems. *PLoS One*. 2023;18(4):e0284800.
329. Shalaby A, Fatouh F, Ezzelregal H, ... Vestibular Assessment in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients. Zagazig University ... [Internet]. 2019; Available from: [https://journals.ekb.eg/article\\_37949.html](https://journals.ekb.eg/article_37949.html)
330. el-Kady MA, Durrant JD, Tawfik S, Abdel-Ghany S, Moussa AM. Study of auditory function in patients with chronic obstructive pulmonary diseases. *Hear Res*. 2006 Feb;212(1–2):109–16.
331. Krishnamurthy S, Sivagnaname Y, Gumallapu GC. Identification of subclinical cognitive impairment in chronic obstructive pulmonary disease using auditory P300 event related potential. *Monaldi Arch Chest Dis*. 2019 May 24;89(2).
332. Gupta PP, Sood S, Atreja A, Agarwal D. Assessment of visual evoked potentials in stable COPD patients with no visual impairment. *Ann Thorac Med*. 2010 Oct;5(4):222–7.
333. Aras YG, Aydemir Y, Güngen BD, Güngen AC. Evaluation of central and peripheral neuropathy in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2018;13:1857–62.
334. Odajiu I, Covantsev S, Sivapalan P, Mathioudakis AG, Jensen JUS, Davidescu EI, et al. Peripheral neuropathy: A neglected cause of disability in COPD - A narrative review. *Respir Med*. 2022 Sep;201:106952.
335. Kayacan O, Beder S, Deda G, Karnak D. Neurophysiological changes in COPD patients with chronic respiratory insufficiency. *Acta Neurol Belg*. 2001 Sep;101(3):160–5.
336. Ali HAEM, Al-Adl AS. Electrophysiological biomarkers of central nervous system affection in cases of chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *The Egyptian Journal of Neurology, Psychiatry and Neurosurgery*. 2021 Jun 14;57(1):74.
337. Torres-Sánchez I, Rodríguez-Alzueta E, Cabrera-Martos I, López-Torres I, Moreno-Ramírez MP, Valenza MC. Cognitive impairment in COPD: a systematic review. *J Bras Pneumol*. 2015;41(2):182–90.
338. Spruit MA, Pitta F, Garvey C, ZuWallack RL, Roberts CM, Collins EG, et al. Differences in content and organisational aspects of pulmonary rehabilitation programmes. *European Respiratory Journal*. 2014 May 1;43(5):1326–37.
339. Johnston CL, Maxwell LJ, Alison JA. Pulmonary rehabilitation in Australia: a national survey. *Physiotherapy*. 2011 Dec 1;97(4):284–90.
340. Tiemens B, Wagenvoorde R, Witteman C. Why Every Clinician Should Know Bayes' Rule. *Health Professions Education*. 2020 Sep 1;6(3):320–4.
341. Mokkink LB, Terwee CB, Patrick DL, Alonso J, Stratford PW, Knol DL, et al. The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2010 Jul;63(7):737–45.

342. Paixão C, Rebelo P, Oliveira A, Jácome C, Cruz J, Martins V, et al. Responsiveness and Minimal Clinically Important Difference of the Brief-BESTest in People With COPD After Pulmonary Rehabilitation. *Phys Ther*. 2021 Nov 1;101(11):pzab209.
343. Shirley Ryan AbilityLab [Internet]. 2013 [cited 2023 Aug 3]. Brief Balance Evaluation Systems Test. Available from: <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/brief-balance-evaluation-systems-test>
344. Shirley Ryan AbilityLab [Internet]. 2018 [cited 2023 Aug 3]. Balance Evaluation Systems Test. Available from: <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/balance-evaluation-systems-test>
345. Shirley Ryan AbilityLab [Internet]. 2020 [cited 2023 Aug 3]. Berg Balance Scale. Available from: <https://www.sralab.org/rehabilitation-measures/berg-balance-scale>
346. McMillan SS, King M, Tully MP. How to use the nominal group and Delphi techniques. *Int J Clin Pharm*. 2016 Jun;38(3):655–62.
347. Termoz N, Halliday SE, Winter DA, Frank JS, Patla AE, Prince F. The control of upright stance in young, elderly and persons with Parkinson's disease. *Gait Posture*. 2008 Apr;27(3):463–70.
348. Horak FB, Nutt JG, Nashner LM. Postural inflexibility in parkinsonian subjects. *Journal of the Neurological Sciences*. 1992 Aug 1;111(1):46–58.
349. Adkin AL, Carpenter MG. New Insights on Emotional Contributions to Human Postural Control. *Front Neurol*. 2018 Sep 21;9:789.
350. Young WR, Mark Williams A. How fear of falling can increase fall-risk in older adults: Applying psychological theory to practical observations. *Gait & Posture*. 2015 Jan 1;41(1):7–12.
351. Yohannes AM, Alexopoulos GS. Depression and anxiety in patients with COPD. *Eur Respir Rev*. 2014 Sep;23(133):345–9.
352. Braidó F, Baiardini I, Scichilone N, Sorino C, Di Marco F, Corsico A, et al. Disability in moderate chronic obstructive pulmonary disease: prevalence, burden and assessment - results from a real-life study. *Respiration*. 2015;89(2):100–6.
353. O'Donnell DE, Milne KM, James MD, de Torres JP, Neder JA. Dyspnea in COPD: New Mechanistic Insights and Management Implications. *Adv Ther*. 2020 Jan;37(1):41–60.
354. Kędziorek J, Błażkiewicz M. Nonlinear Measures to Evaluate Upright Postural Stability: A Systematic Review. *Entropy*. 2020 Dec;22(12):1357.
355. Phinyomark A, Larracy R, Scheme E. Fractal Analysis of Human Gait Variability via Stride Interval Time Series. *Frontiers in Physiology* [Internet]. 2020 [cited 2023 Aug 22];11. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2020.00333>
356. Mehdizadeh S. The largest Lyapunov exponent of gait in young and elderly individuals: A systematic review. *Gait & Posture*. 2018 Feb 1;60:241–50.
357. Luciano F, Ruggiero L, Minetti A, Pavei G. Comparison of three-dimensional body centre of mass trajectories during locomotion through zero- and one-dimensional statistics. *Sci Rep*. 2022 Oct 22;12(1):17777.

358. Yentes JM, Liu WY, Zhang K, Markvicka E, Rennard SI. Updated Perspectives on the Role of Biomechanics in COPD: Considerations for the Clinician. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2022;17:2653–75.
359. Wu W, Guan L, Li X, Lin L, Guo B, Yang Y, et al. Correlation and compatibility between surface respiratory electromyography and transesophageal diaphragmatic electromyography measurements during treadmill exercise in stable patients with COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2017;12:3273–80.
360. Parreira VF, Vieira DSR, Myrrha MAC, Pessoa IMBS, Lage SM, Britto RR. Optoelectronic plethysmography: a review of the literature. *Rev Bras Fisioter.* 2012;16(6):439–53.

## Annexe 1. Article Scoping Review (Disability and Rehabilitation)

DISABILITY AND REHABILITATION  
<https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2107083>



ORIGINAL ARTICLE



## Impairment and characteristics of postural control sub-components in people with COPD: a scoping review

Romain Pichon<sup>a,b</sup>, Olivier Van Hove<sup>c</sup>, Mathieu Ménard<sup>b,d</sup>, Diane Hearing<sup>b</sup> and Armel Crétual<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Institut de Formation en Pédiatrie-Podologie, Ergothérapie et Kinésithérapie (IFPEK), Rennes, France; <sup>b</sup>M2S Laboratory – EA 7470, University Rennes 2, Rennes, France; <sup>c</sup>Department of Pulmonology, Erasme Hospital, Brussels, Belgium; <sup>d</sup>Institut d'Ostéopathie de Rennes – Bretagne (IO-RB), Bruz, France

### ABSTRACT

**Purpose:** Impairment of postural control is common in people with COPD. However, the precise characteristics of this alteration are not clearly known. The “Systems Framework for Postural Control” which define postural control sub-components, represents an interesting tool to explore this field. The main aim of this review was to identify which postural control sub-components are impaired in people with COPD and to summarise characteristics for each sub-component. A secondary aim was to precise the relation between postural control and activities of daily living (ADL).

**Materials and methods:** A scoping review was conducted, according to the JBI methodology. Medline, Cochrane Library, Scielo, Google Scholar, OpenGrey, and HAL were searched from inception to May 2022. The search was performed in English and French.

**Results:** Eighty-nine articles were included. There was evidence of a potential impairment for most of the postural control sub-components. Characteristics of every sub-component alteration were heterogeneous. Reduced postural control could be associated with difficulties in ADL.

**Conclusions:** People with COPD may have impairment in a wide range of postural control sub-components. Further research is needed to clarify if a common pattern of modification exists for this alteration and to precise the link with ADL.

### ARTICLE HISTORY

Received 19 January 2022  
 Revised 18 July 2022  
 Accepted 23 July 2022

### KEYWORDS

Activities of daily living; balance; COPD; postural control; rehabilitation; scoping review

### ► IMPLICATIONS FOR REHABILITATION

- Impairment of postural control is a common extra-respiratory manifestation in people with COPD and so clinicians must include it in their clinical reasoning.
- Numerous postural control sub-components could be altered in people with COPD, suggesting that postural control assessment must be holistic.
- This scoping review shows that characteristics of postural control impairment are varied and that there may be no common pattern at the COPD population level.
- The relationship between impaired postural control and activities of daily living remains unclear, but clinicians should be alert to potential negative interactions between these two areas.

### Introduction

According to the World Health Organization [1], Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is the third worldwide leading cause of mortality in 2019. COPD induces important socio-economic problems and is considered as an international major concern [2,3]. The Global initiative for chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) defines COPD as a common, preventable and treatable pathology that is characterised by persistent respiratory symptoms and airflow limitation [4]. The main respiratory symptoms are dyspnoea, cough, and sputum hypersecretion [4]. The primary cause is exposure to tobacco smoke and other risk factors include exposure to various inhaled toxics [3,4]. Hence, it is well established that COPD has an important impact on people's activities and quality of life [5].

Beyond respiratory symptoms, comorbidities are extremely frequent during the evolution of the disease [6]: previous research

found that 98% of people with COPD present at least one comorbidity and that around half of them present four comorbidities or more [7]. The most prevalent comorbidities are cardiovascular diseases, osteoporosis, muscle dysfunction, or obesity [6,7]. The presence of comorbidities increases the difficulties in activities of daily living (ADL) (which represent fundamental skills required to independently care for oneself, such as eating, bathing, and mobility [8]) and the impact on the quality of life of people with COPD [9]. Among these comorbidities, the impairment of postural control is one important extra-respiratory manifestation for these patients that could impact their daily lives [10].

The postural control is a complex system, which allows to manage the body's position in the space for the dual purposes of stability and orientation [11]. Three systematic reviews highlighted the impairment of postural control in people with COPD compared to people without COPD [10,12,13]. However, the characteristics and the mechanisms of the postural control alteration are

CONTACT Romain Pichon [r.pichon@ifpek.org](mailto:r.pichon@ifpek.org) Institut de Formation en Pédiatrie-Podologie, Ergothérapie et Kinésithérapie (IFPEK), 12 rue Jean Louis Bertrand, Rennes 35000, France

Supplemental data for this article can be accessed online at <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2107083>.

© 2022 Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group

Table 1. Postural control sub-components definitions.

Domains in Systems Framework for Postural Control [15]	Adaptation by Sibley et al. [18]	Operational definition by Sibley et al. [18]
1. Biomechanical constraints	1. Static stability 2. Underlying motor systems 3. Functional stability limits	Ability to maintain position of the centre of mass in unsupported stance when the base of support does not change E.g., Strength and coordination Ability to move the centre of mass as far as possible in the anteroposterior or mediolateral directions within the base of support
2. Orientation in space	4. Verticality	Ability to orient appropriately with respect to gravity (e.g., evaluation of lean)
3. Movement strategies	5. Reactive postural control 6. Anticipatory postural control	Ability to recover stability after an external perturbation to bring the centre of mass within the base of support through corrective movements (e.g., ankle, hip, and stepping strategies) Ability to shift the centre of mass before a discrete voluntary movement (e.g., stepping-lifting leg, arm raise, and head turn)
4. Control of dynamics	7. Dynamic stability	Ability to exert ongoing control of centre of mass when the base of support is changing (e.g., during gait and postural transitions)
5. Sensory strategies	8. Sensory integration	Ability to reweight sensory information (vision, vestibular, and somatosensory) when input is altered
6. Cognitive processing	9. Cognitive influences	Ability to maintain stability while responding to commands during the task or attend to additional tasks (e.g., dual-tasking)

still unknown and the impact on daily living activities is poorly known.

Contemporary theories consider the postural control as a global organisation that integrate various inputs and tend to adapt the body as a mechanical system in interaction with the nervous system in a continuously changing environment [11]. This is supported by numerous studies, showing that impairments of these systems can alter the postural control [14]. To evaluate the postural control and better understand the whole implicated system, Horak [15] proposed the *Systems Framework for Postural Control* and identifies different interconnected sub-components involved, that are presented in Table 1.

This framework has been used to develop and classify postural control assessment tools [14,16–19]. To identify impairments in postural control sub-components in people with COPD and clarify the role of these alterations in daily living activities for people with COPD, this work proposes a scoping review framed on this model. The main aim was to identify and characterise the alterations of the postural control sub-components in people with COPD. A second aim proposed to explore the association between the postural control and the difficulties encountered during ADL by people with COPD.

## Materials and methods

This scoping review was conducted in accordance with the Johanna Briggs Institute (JBI) methodology for scoping review [20]. The objectives, inclusion criteria, and methods for this scoping review were specified in advance and documented in an *a priori* protocol, registered on OSF.io the 03-02-2021 [21].

### Inclusion criteria

#### Participants

This review considered studies that include people with COPD as defined by the *Global Initiative for Obstructive Lung Disease* (GOLD) [4]. All stages of the disease were considered. Patients must be over 18 years old. This review excluded studies involving other chronic respiratory lung diseases (e.g., Asthma, interstitial lung diseases, or bronchiectasis).

#### Concept

The concept of postural control (through the “Systems Framework for Postural Control” proposed by Horak [15]) and his sub-

components were explored in this review. This model was used and adapted by Sibley et al. [18] who established an operational definition of the model. The adaptation includes nine sub-components which are presented and defined in Table 1: 1. Static stability, 2. Underlying motor systems, 3. Functional stability limits, 4. Verticality, 5. Reactive postural control, 6. Anticipatory postural control, 7. Dynamic stability, 8. Sensory integration, and 9. Cognitive influences.

This review included studies that focus on postural control, or at least one of its sub-components but in relation with global postural control strategies or performance in static or dynamic conditions. This work considered as postural control assessment all functional tools described by Sibley et al. [18] and laboratory assessments (kinetic or kinematic analyses in static and dynamic conditions) [22]. Subjective assessments of postural control were not included in the review. Sources analysing one sub-component in isolation, with no direct link to postural control are excluded from the review.

### Context

Postural control is now identified as an important concern for the assessment and the management of people with COPD all over the world and in every care setting [13]. This review focused on available evidence on postural control with no geographical restriction. We included studies in the widest possible range of settings (laboratory assessment, inpatient or outpatient studies, pulmonary rehabilitation settings) and population (community-dwelling, real life...).

### Types of studies

This scoping review considered observational studies (descriptive studies, cohort studies, cross-sectional studies, and case-control studies), experimental studies (randomised controlled trials, non-randomised controlled trials, and quasi-experimental designs, such as before-after studies) and systematic reviews. Conference abstracts and grey literature were considered for inclusion, as they represent an important source of unpublished evidence that can have an impact on review's results and conclusions [23,24].

### Search strategy

The search strategy follows the three-step methodology recommended by the JBI. First, an initial search was carried out on Medline and Cochrane Library, to identify articles related to our research question. The text words included in titles and abstracts

and the different keywords were used to develop a complete search strategy. Secondly, the full-search strategy was developed including information from the *first step* and completed by specific keywords related to each postural control sub-components. The search was conducted on Medline, Google Scholar, Scielo, and Cochrane Library. The full search strategy for Medline is presented in [Supplementary Appendix I](#). Search strategy was adapted as necessary for each database. For the search on Google Scholar, the 500 first results were screened (as previous research has shown that some relevant sources can be found after the 300 first results [25]). Finally, references list of identified articles were searched for additional sources.

A search for grey literature was conducted on OpenGrey and the multidisciplinary open archive HAL. If relevant, reviewers (RP and OVH) contacted authors for further information.

Studies published in English and French were considered for inclusion. The databases were initially searched from inception to 3 March 2021. An update was made on each database the 27 May 2022.

#### Source of evidence selection

All identified citations were uploaded into *Rayyan* application. Two researchers (RP and OVH) independently reviewed titles, abstracts, and keywords from identified citations and applied inclusion and exclusion criteria. In the case of incomplete information, full text was studied. Then, the same two researchers examined independently the full texts applying inclusion and exclusion criteria. In the case of disagreement, an argumentative discussion was implemented between the two reviewers and a third member of the team was consulted if the discussion does not permit a decision. Reasons for exclusion of sources that do not meet inclusion criteria were recorded and presented in the final review. The complete results of the search were reported in the final report and presented in a Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR) flow diagram [26].

#### Data extraction

Relevant data were extracted from articles included in this scoping review using a charting table developed in connection to the questions and the objectives of the review. A pilot testing of the charting table was conducted. As planned in the *a priori* protocol, the charting table was modified after the pilot testing by the reviewers. The final version of the charting table is available in the [Supplementary Appendix II](#).

## Results

### Study inclusion

Our searches returned 11 006 records. Following the exclusion of 3018 duplicated records, 7992 records were screened by title and abstracts. A total of 7762 records that did not meet the inclusion criteria were then excluded and 230 records were thought for full text retrieval. For 31 sources, full texts were not available and full text examination was performed on 199 studies. A total of 110 sources did not meet the inclusion criteria of this scoping review, leaving a final 89 sources eligible for the review. The screening process was reported in a PRISMA-Scoping Review study flow diagram ([Figure 1](#)).

### Characteristics of included studies

#### Year of publication

The earliest study included in this review was published in 2004 [27]. There is a trend towards an increase of the number of publications from 2012 (3 studies) until a peak in 2020 (16 studies) ([Figure 2](#)).

#### Country of origin

The included publications were from twenty-three different countries. All continents were represented in this repartition. The most represented countries are USA ( $n=12$ ), Brazil ( $n=11$ ), Turkey ( $n=8$ ), Canada, and India ( $n=7$ ). The complete geographical distribution of included studies is presented in [Figure 3](#).

#### Article type

The majority of included studies were observational cross-sectional studies ( $n=78$ ). Other studies were cohort studies ( $n=6$ ), experimental pilot studies ( $n=2$ ), longitudinal studies ( $n=2$ ), and reliability study ( $n=1$ ). Sixty-four studies [27–90] included a control group to compare postural control of COPD patients to healthy subjects. The twenty-five other studies [91–115] did not include a control group but presented correlation analyses between postural control and clinical factors.

#### Participants

The total number of participants across all included studies was 11 672 (8297 participants with COPD and 3375 controls). The number of participants with COPD by study ranged from 7 [24] to 1202 [25,26] with a median of 33 (IQ range, 20–79). The median age for COPD patients was 67 years (IQ range, 64–71) with a median forced expiratory volume in one second of 50% of the predicted value (IQ range, 44–55). The median percentage of females with COPD per study was 39 (IQ range, 23–48).

#### Review findings

Overall evidence indicated that postural control is altered in people with COPD compared to control participants. On the sixty-four studies [27–90] that directly compare postural control in people with COPD with control participants, fifty-nine of them [27–40,42–50,52,53,56–64,66–90] reported a statistically significant alteration in at least one postural control sub-component. This modification has been assessed by a wide variety of tools (both with laboratory-based and functional tools).

Every of the nine sub-components was assessed independently in the included studies. The complete distribution of the sub-components assessment in included studies is presented in [Figure 4](#). The full detailed list of sub-components assessed in each included studies is available in [Supplementary Appendix III](#).

#### Static stability

“Static stability” was assessed in fifty-nine sources [27,30,32–39, 41–43,45,47–49,51,56–61,63–69,71,74–77,79,81–84,86,87,91,93,94, 97,98,100,101,104–107,109–112,114]. The most frequent tools used to analyse “static stability” were force platform measurement, one leg stance test, specific parts of composite tests (BESTest, Berg Balance Scale [BBS], Tinetti, Short Physical Performance Battery [SPPB]), or the Sensory Organisation Test [SOT]). In the included studies, “static stability” was assessed for several conditions of visual status (eyes open/eyes closed), stance (natural stance, tandem stance, and one leg stance), or surface (stable/unstable surface and foam).

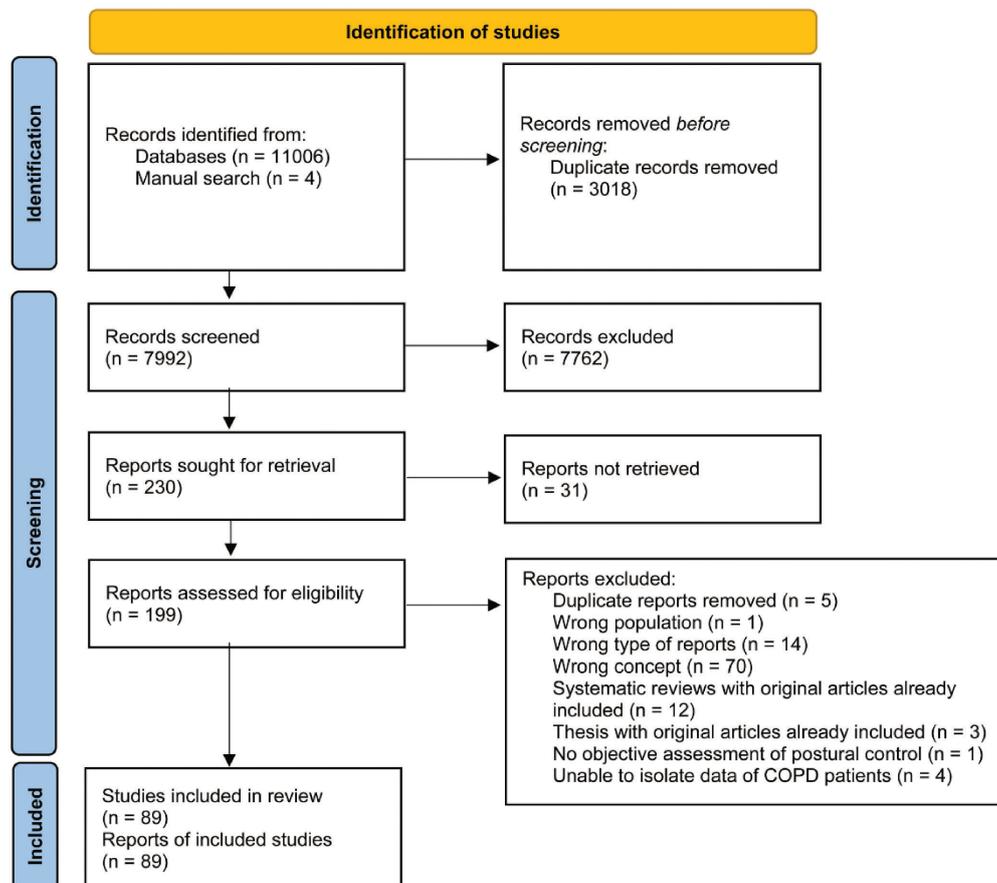


Figure 1. PRISMA-Scoping Review Flow Diagram.

A significant alteration of the component was found in the majority of studies: on forty-three studies comparing people with COPD and control participants [27,30,32–39,41–43,45,47–49, 51,56–61,63–69,71,74–77,79,81–84,86,87], thirty-seven studies reported a significant decrease in COPD group (thirty-one studies assessing “static stability” in isolation [27,30,32,33,35–39,43,45,47, 48,56–58,60,63,64,67,71,74–77,79,81,83,84,86,87], and six studies with composite tests [34,42,49,59,61,68], five studies found no significant differences between groups [41,51,65,66,69] and data were not available in one study [82].

Twenty-one studies used force platform measurements, including an important variety of centre of pressure (COP) parameters [27,30,32,33,35,39,45,47,51,57,58,60,63,64,66,69,75,79,81,84,112]. Main COP variables used were area, velocity (in both anteroposterior (AP) and mediolateral (ML) directions), variability (AP and ML directions), and amplitude (AP and ML directions). Significant differences compared to healthy subjects were identified for each of these parameters, but the results were heterogenous between studies [27,30,32,33,35,39,45,47,57,58,60,63,64,75,79,81,84].

The reported correlations between “static stability” and clinical factors are summarised in Table 2.

#### Underlying motor systems

Using the operational definition of the “systems framework for postural control framework” [18], all the tools used in the included studies assess “underlying motor systems”. However, few studies offered the possibility to isolate the motor component of postural control. Electromyographic assessments were realised in three studies [33,34,80]. Beauchamp et al. [34] found no significant differences in lower limb muscles activation in people with COPD compared to healthy controls during a postural perturbation task, except for tibialis anterior onset. de Castro et al. [33] analysed the activation of neck, respiratory, and hip muscles during different static conditions. They found a higher activation of scalene during one leg stance and a higher Gluteus Medius activation during eyes closed standing in people with COPD. Lastly, Smith et al. [80] reported that abdominal muscle activities

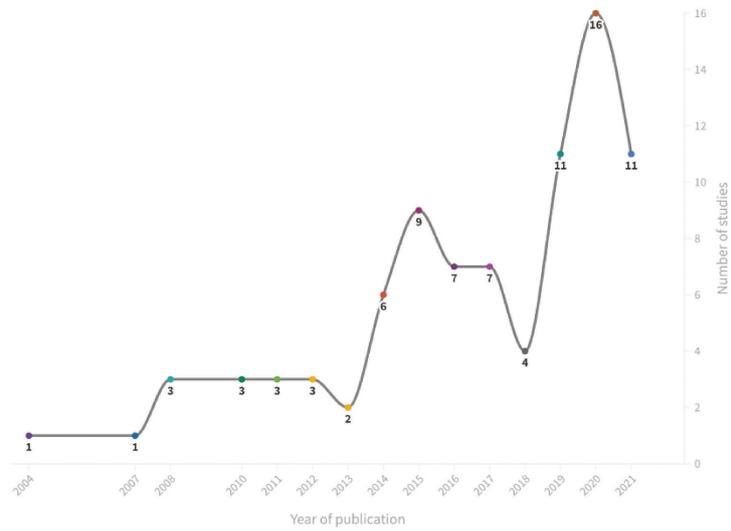


Figure 2. Publications per year of included studies (n = 89). The last represented year is 2021 as the literature search was stopped in May 2022.

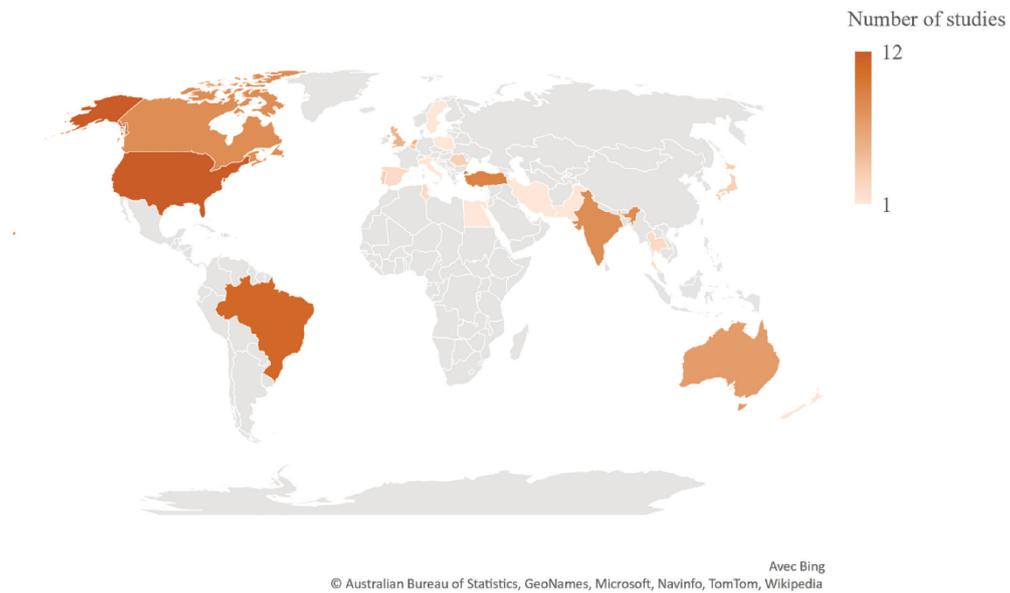


Figure 3. Worldwide geographical repartition of included studies (n = 89).

(obliquus externus and rectus abdominis) were higher in people with COPD during postural tasks.

Some studies investigated the relative contribution of each postural control sub-component using the BESTest [34,42,67]. Studies by Beauchamp et al. [34] and Qurashi et al. [67] are consistent to identify the “biomechanics constraints” component of

the BESTest (comprising “underlying motor systems”) as one of the most altered of those assessed, in people with COPD compared to controls. However, another study employing a similar design did not support that finding [42].

Studies by Liu et al. [52] and Janssens et al. [45] proposed stratified analyses of postural control, using low and high strength

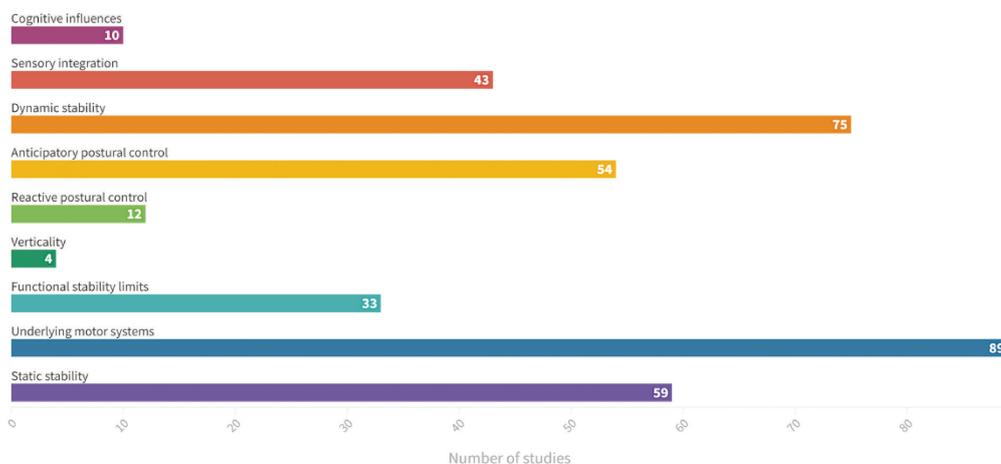


Figure 4. Repartition of postural control sub-components assessed in included studies ( $n = 89$ ).

subgroups in COPD patients. Liu et al. [52] showed no differences in gait parameters between low and high quadriceps strength groups. On the other hand, Janssens et al. [45] demonstrated that people with COPD with low inspiratory muscle strength have different postural control strategies compared to patients with higher inspiratory muscle strength, using a greater reliance on ankle-related proprioceptive signals and a more ankle-steered strategy.

#### Functional stability limits

Thirty-three studies included an evaluation of "functional stability limits" [27,33,34,36,38,39,42,48,49,56,59–61,64,66–69,74,81,83,86,90,91,94,96,97,101,105–107,109,111]. This sub-component was mainly assessed by the functional reach test (FRT) (alone or included in a composite test). There is consistent and direct evidence of a significant decrease of limits of stability in people with COPD compared to healthy controls [38,39,48,66,81]. One study showed that this alteration is predominant in the antero-posterior direction [81]. However, this finding was not supported by two other studies that reported alterations in all directions tested [39,48].

Studies assessing postural control with composite functional tests (such as the BESTest or the BBS) also presented conflicting results: two studies [42,66] identified "functional stability limits" as one of the most impaired sub-component of postural control while other did not confirm these findings [34,67].

Concerning the associations with this sub-component, Eisner et al. [101] suggested that FRT was not associated with pulmonary function. Beauchamp et al. [34] found no association between this sub-component and different markers of lower limb muscle function or patient-reported physical activity. On the other hand, Strandkvist et al. [81] reported that the major determinants of stability limits in the antero-posterior direction were muscle strength parameters (hip abductors, knee extensors, and hand grip strength).

#### Verticality

"Verticality" was investigated in only four studies [34,42,57,91]. This component was assessed by sub-parts of composite balance tests (BESTest and mini BESTest). Among these sources, two studies allowed to isolate information on "verticality" [34,42],

suggesting that this sub-component could be altered in people with COPD compared to healthy participants. Relative comparison of the sub-components using the BESTest did not identify "verticality" as one of the most impaired postural control sub-components for people with COPD [34,42].

In the study by Beauchamp et al. [34], the "verticality/stability limits" component of the BESTest showed no correlation with either daily-reported physical activity or lower limb strength.

#### Reactive postural control

Twelve studies included assessments of "reactive postural control" [33,34,42,55–57,67,69,91,105,109,111]. "Reactive postural control" was mainly assessed by stepping responses, in isolation or included in composite balance tests (e.g., BESTest or BBS). Three studies found a specific impairment of this component in people with COPD compared to healthy participants [34,42,67], whereas one pilot study reported no difference between those groups [55]. Comparative analysis of sub-components with the BESTest identified "reactive postural control" as one of the most impaired component of postural control in one study [42] but this was not supported by two other studies using a similar design [34,67].

Concerning the associations with the "reactive postural control" component, Beauchamp et al. [34] showed a significant moderate correlation with physical activity and a significant weak correlation with ankle strength.

#### Anticipatory postural control

"Anticipatory postural control" was assessed in fifty-four studies [27–29,32–34,36,37,39,42,46–50,56,57,59–62,64,66–70,74–76,78,80,82,83,85–87,90–92,94–99,102,103,105–109,111]. This component was mainly analysed by transitions assessment, in isolation or as a part of composite functional tests (e.g., BESTest or BBS) but also during simple functional tools, such as the Timed up and Go test (TUG).

Only very few studies have the potential to give isolated information on this sub-component. Smith et al. [80] found no differences in the number of "anticipatory postural adjustments" between COPD group and controls, but a decreased ability for people with COPD to recover initial stability after the movement. In agreement with these findings, Beauchamp et al. [34] showed

Table 2. Summary of correlations between clinical factors and “static stability” sub-component.

Clinical factors		Studies that reported significant correlations	Studies that did not report significant correlations
Muscle function		Almeida et al. [30], Bernabeu-Mora et al. [93], Iwakura et al. [43], Janssens et al. [45], Mohan et al. [112], Oliveira et al. [60]	de Castro et al. [33], Eymir et al. [39], Ozalevli et al. [61], Qurashi et al. [67], Roig et al. [71], Schons et al. [76], Strandkvist et al. [81]
Age		Bernabeu-Mora et al. [93], de Castro et al. [32], de Castro et al. [33], Mohan et al. [112], Park et al. [64], Qurashi et al. [67], Van Hove et al. [84], Yazici et al. [87]	Eymir et al. [39]
Pulmonary function		Butcher et al. [27], de Castro et al. [33], Mkacher et al. [111], Yazici et al. [87]	Eisner et al. [38], Eymir et al. [39], Jirange et al. [47], Ozalevli et al. [61], Van Hove et al. [84], Voica et al. [86]
Functional capacity		Almeida et al. [30], Bernabeu-Mora et al. [93], Iwakura et al. [43], McLay et al. [109], Mohan et al. [112], Yazici et al. [87]	Eymir et al. [39]
Body composition		Mkacher et al. [111], Park et al. [64], Voica et al. [86]	de Castro et al. [33], Eisner et al. [100], Qurashi et al. [67]
Dyspnoea		Mkacher et al. [111], Oliveira et al. [60], McLay et al. [109], Yazici et al. [87]	Eymir et al. [39]
Physical activity		Iwakura et al. [43], Eymir et al. [39]	de Castro et al. [33], Roig et al. [71]
Cognitive function		Park et al. [64], Gore et al. [41]	Van Hove et al. [84]
Quality of life		Bernabeu-Mora et al. [93], Yazici et al. [87]	–
Inflammatory markers		Tudorache et al. [83], Crişan et al. [36]	–
Oxygen Therapy		Park et al. [64]	–
Anxiety		Crişan et al. [36]	–
Depression		Crişan et al. [36]	–
Visual acuity		Strandkvist et al. [81]	–
Plasma markers		Park et al. [64]	–
Diabetes		Park et al. [64]	–

that if the frequency of anticipatory postural adjustments did not differ between COPD and controls, the duration of the anticipatory postural adjustments was longer in people with COPD.

All studies using the BESTest as an outcome showed that the “anticipatory postural control” sub-component is significantly impaired in people with COPD compared to healthy participants [34,42,67]. One of these studies identified this sub-component as one of the most impaired among all [34], but it was not supported by the results of the two others [42,67].

Regarding correlations of this sub-component, Beauchamp et al. [34] found significant weak correlations with physical activity and knee flexion strength.

#### Dynamic stability

This component was assessed in seventy-five studies included in the review [27–29,31–34,36–40,42–44,46,47,49,50,52–57,59–62,

64–70,72–76,78,82,83,85–115]. “Dynamic stability” was evaluated by various tools: the TUG test, laboratory gait analysis and by composite balance tests (BESTest, BBS, and SPPB) including a specific part for dynamic stability assessment.

All studies that used the TUG as an outcome reported a significant constant alteration compared to healthy participants [28,29,32,33,36,37,39,47,56,57,62,68,70,76,78,83,85–87,90]. In addition, when a sub-component analysis is performed in studies using composite balance tests, the dynamic stability component was significantly impaired compared to control participants [34,42,67]. These three studies were consistent to identify dynamic stability sub-component as one of the most impaired among all postural control sub-component.

Some studies using laboratory gait analysis identified impairments in parameters related to “dynamic stability” in people with COPD: alteration of margins of stability (in medio-lateral direction)

Table 3. Summary of correlations between clinical factors and “dynamic stability” sub-component.

Clinical factors		Studies that reported significant correlations	Studies that did not report significant correlations
Functional capacity		Butcher et al. [95], de Castro et al. [32], de Castro et al. [33], Eymir 2021 [39], Liwsrisakun et al. [106], McLay et al. [109], Mkacher et al. [111]	–
Respiratory function		Butcher et al. [27], de Castro et al. [33], Mkacher et al. [111], Singh et al. [78]	Al Haddad et al. [28], Eymir et al. [39]
Muscle strength		Butcher et al. [95], de Castro et al. [32], de Castro et al. [33], Eymir et al. [39], Kovellis et al. [103], Schons et al. [76]	–
Body composition		Jácome et al. [102], Mkacher et al. [111], Riaz et al. [68], Voica et al. [86]	Benton et al. [92]
Dyspnea		McLay et al. [109], Mkacher et al. [111]	Eymir et al. [39]
Inflammatory markers		Crîșan et al. [36], Tudorache et al. [83]	–
Anxiety		Crîșan et al. [36], Jácome et al. [102]	–
Depression		Crîșan et al. [36], Jácome et al. [102]	–
Restriction in daily activities		Jácome et al. [102], Roig et al. [70]	–
Daily physical activity		Matkovic et al. [108], Eymir et al. [39]	–
Number of medications		Jácome et al. [102]	–
Saturation in oxygen		Al Haddad et al. [28]	–
Quality of life		Albarrati et al. [29]	–

and its variability [40] and increase of centre of mass medio-lateral sway [82] and acceleration variability [31].

Moreover, nine studies reported significant differences in gait parameters when compared to healthy participants [31,44,50,52,53,72,73,88,89]. It concerns spatio-temporal parameters (e.g., Gait speed, cadence, or step time) [31,44,49,72,73,88], variability of spatio-temporal parameters (e.g., Coefficient of variation of step time or stride length) [44,52,89] and kinematics parameters (e.g., Ankle range of motion or power absorption at ankle level) [53,88].

Significant correlations were reported between dynamic stability and numerous clinical factors, and they are presented in Table 3.

#### Sensory integration

“Sensory integration” was evaluated in forty-three studies [27,30,33–36,39,42,45,47–49,56–61,64–69,71,74–78,81,83,84,86,87,91,94,97,105–107,109,111]. “Sensory integration” was assessed by manipulating sensorial inputs (visual, vestibular, or somatosensory inputs) during different conditions (mainly in static condition, such as tandem stance or one leg stance). The SOT could be considered as a specific assessment tool of this sub-component and was employed in three studies [65,71,77]. This sub-component was also investigated in specific sub-parts of composite tools (e.g., BESTest or BBS).

Studies that used the BESTest (or a derivative), were consistent to report that the sensory integration sub-component was impaired in COPD patients compared to healthy subjects [34,42,67]. Some studies used the SOT to isolate the relative “weight” of the different sensory inputs: Shalaby et al. [77] found that the overall SOT score is impaired in people with COPD compared to healthy controls, and that the conditions that targeted the

vestibular system are altered. Roig et al. [71], using a similar design, also found a significant decrease in the total SOT score but did not identify significant differences in any of the conditions tested. In contrast, Pedrozo and Silveira [65] reported no significant difference between COPD group and control group using the SOT.

Some studies investigated the effect of the vision or the stability of the surface on postural control. Three studies assessed postural control during different visual conditions on stable surface [57,58,76]: Schons et al. [76] reported significant between-group difference (COPD versus control group) in eyes open condition but not in eyes closed condition. The other two studies [57,58] reported that alterations of postural control of people with COPD were present in both eyes open or eyes closed condition compared to control group. However, in these two studies, the eyes closed condition did not result in additional impairment in COPD group compared to control group. Furthermore, Oliveira et al. [60] found no influence of the vision condition but that the surface (foam) caused a significant additional impairment in patients with COPD. Almeida et al. [30] tested various conditions (visual and surface) but reported no specific effect nor interaction between the conditions on the postural control of people with COPD compared to healthy participants. Lastly, two studies [27,81] reported differences between COPD and healthy participants in unstable support condition eyes open whereas this difference was not found eyes closed.

In addition, Janssens et al. [45] found significant differences of proprioceptive pattern in COPD subjects compared to healthy controls: COPD patients increased their reliance on ankle muscle proprioceptive signals and decreased their reliance on back muscle signals.

Regarding the associations, Beauchamp et al. [34] reported that the sensory integration component of the BESTest was significantly correlated with lower limb strength (moderately with knee flexion strength and weakly with knee extension and ankle flexion).

#### *Cognitive influences*

"Cognitive influences" were assessed in ten studies [27,34,42,57,58,62,78,84,91,109]. This sub-component was investigated using various cognitive tasks such as counting backwards or reciting a list of words during static or dynamic conditions (e.g., on force platform, or during the TUG). Evidence on this component was sparse, and only few studies offered the opportunity to isolate information on cognitive influences and postural control of people with COPD. Cognitive tasks impair postural control performance in both COPD and healthy people [57,58,62,84]. Three studies [58,62,84] showed no supplementary effect of the cognitive task in people with COPD compared to controls while Morlino et al. [57] found the opposite. In addition, studies that assessed postural control by using the BESTest reported that the "cognitive influences" sub-component is impaired compared to healthy participants [34,42]. Finally, the study by Van Hove et al. [84] reported that different types of cognitive tasks produced different effects on postural control in people with COPD.

Concerning the associations with this sub-component, one study found no association between cognitive ability and postural control assessed on Wii balance board [84]. Another study identified weak correlations between the double task-TUG and dyspnoea and with self-reported physical functioning [109]. These correlations were similar to those reported for the TUG without additional cognitive task in the same study.

#### *Postural control and activities of daily living*

This review identified six sources [29,30,70,94,99,102] that investigate the association between postural control of people with COPD and ADL. Cruz et al. [99] reported that people with COPD with a postural control impairment are more dependant in at least one ADL and are more severely restricted in daily life than patients without postural control impairment. Another study from the same team [102] identified determinants of "dynamic stability": restriction in recreational activities was retained among other clinical factors (such as body mass index, depression score or number of medication) in a multiple regression model explaining around one third of the stability variance.

Four studies [29,30,70,94] examined the correlations between postural control and various indicators related to ADL: Roig et al. [70] reported significant moderate correlations between "dynamic stability" (assessed by the TUG) and a specific ADL (stair climbing). In the study by Almeida et al. [30], a parameter of "static stability" was moderately correlated with the Glittre-ADL (a specific functional assessment of ADL-related ability). Albarrati et al. [29] found a significant but weak correlation between "dynamic stability" (assessed by the TUG) and the activity score of the Saint-George Respiratory Questionnaire (a specific section focusing on difficulties during ADL). At last, Birinci et al. [94] found moderate significant correlation between dyspnoea generally experienced during ADL by people with COPD (assessed by the London Chest activity of daily living total score) and postural control (assessed by the BBS). The authors also identified three specific ADL that were individually associated with BBS score: upper body dressing, hair washing, and stairs climbing.

## **Discussion**

This review examined the available evidence on postural control sub-components impairments and characteristics in people with COPD. This analysis was carried out using the "Systems Framework for Postural Control" for each sub-component. The associations between postural control and ADL in this population were also explored. Eighty-nine studies were included indicating that this review is timely, permitting to identify gaps in knowledge and outlining interesting perspectives for research.

We will discuss the main results of the review for each sub-component and then the relation between postural control and ADL.

#### *Static stability*

Most studies underlined an impairment of static stability in people with COPD compared to healthy subjects. However, no specific pattern of alteration of "static stability" has been identified in the review. Indeed, in studies using force platform as an outcome, findings are various and heterogenous on COP parameters, preventing any firm conclusion. One potential explanation is that sub-groups analysis of COPD patients may be necessary to identify some homogenous phenotypes of static stability alterations. In addition, interesting associations between "static stability" and some clinical factors were reported, especially for dyspnoea, age, and functional capacity where results of studies were relatively homogenous. If these associations are confirmed, they could help for sub-group analysis of static stability alterations. The relations between age or functional capacity and static stability have already been reported in general population [116,117]. Dyspnoea is a cardinal symptom for people with COPD [4] and its influence on postural control has been poorly studied. Dyspnoea leads to an increase of neural drive, modifications of central nervous system regulation, change of dynamic respiratory mechanics and has a psychological impact on patients [118]. All these alterations could potentially interfere with some sub-components implicated in postural control and lead to a worst performance for people with COPD.

#### *Underlying motor systems*

Results of included studies support that underlying motor systems participate to postural control alteration in COPD patients. Moreover, some studies suggest that this sub-component is one of the most impacted compared to healthy people [34,42,67]. Muscle dysfunction is a well-established extra-respiratory impairment in COPD [119] and high-quality evidence showed that several muscle qualities are altered in this population [120]. As the motor system is an important contributor to postural control [121] and muscle parameters are associated with postural control ability in healthy people [122], it could also play a central role in COPD postural control impairment [123]. In this review, included studies mainly focused on muscular strength but other muscular qualities such as power and endurance could be relevant for postural control system [122, 123].

This review showed that people with COPD present different muscle activations patterns at inspiratory, expiratory, and lower limb levels to maintain stability compared to healthy participants. These findings suggest that the precise assessment of these muscles could have an important role in postural control evaluation in people with COPD. Muscle function training is already a central feature of the treatment of people with COPD [124] and

could also play an interesting role in the management of postural control impairment.

#### **Functional stability limits**

Available evidence indicates that this component is impaired in people with COPD. In the elderly population, limits of stability are a valid predictor of future falls [125]. In COPD population, the alteration of limits of stability could be an important factor regarding the occurrence of falls. Conflicting evidence exists on the predominance of the direction(s) of the impairment and on the relative importance of this component alteration compared to others postural control components. Identification of direction-specific impairment could have some implication for the rehabilitation of patients [126]. Lower limb and hand grip strength seems to be major determinants of antero-posterior limits of stability in patients with COPD [81]. These findings suggest that the muscular strength is associated with functional stability limits and could be relevant for the management of people with COPD.

#### **Verticality**

This sub-component of postural control was the less frequently assessed in the included studies. The few available results seem to indicate that verticality perception is impaired in COPD population. Previous research on the perception of verticality has highlighted the central role of brain areas (such as the thalamus) integrating inputs from visual, vestibular, and somatosensory systems [127,128]. In people with COPD, structural brain changes have been reported and can concern the thalamus [129]. These central modifications could be in relation to the impairment of verticality perception in COPD population. Based on relative comparisons reported in only two studies [34,42], verticality sub-component is not one of the most impacted by the disease. However, one study by Chauvin et al. [130] identified this sub-component as a robust predictor of falls in people with COPD in combination with the functional stability limits sub-component. This could underline the importance of integrating this sub-component in the assessment of postural control in people with COPD.

#### **Reactive postural control**

This sub-component seems to be impaired in people with COPD compared to healthy controls. However, this impairment could vary depending on how the sub-component is assessed (e.g., from a static position or during a dynamic task). In older adults, an impairment of reactive postural control represents an established risk factor of fall [131]. As the prevalence of falls has been reported to be high in the COPD population [132], factors influencing them are important to be identified.

Muscle function has an important influence on this sub-component: a systematic review conducted in older individuals, established that muscle fatigue induces deteriorations in reactive postural control [133]. Our review did not establish a direct link between muscle fatigue and this sub-component in COPD. However, an included study found a correlation between reactive postural control and lower limb strength [34] and muscle fatigue is a common and relevant disorder in people with COPD [134].

#### **Anticipatory postural control**

There is evidence in the literature showing that this sub-component can be impaired in people with COPD. Available evidence

suggests that a longer duration of the anticipatory postural adjustments rather than the number of them could be the underlying mechanism of this impairment [34]. The duration of anticipatory postural adjustments is under the control of the cortical activity of central nervous system [135]. As structural brain changes have been documented in people with COPD [129], it could have implications for "anticipatory postural control". Fear of falling is also related to the impairment of this sub-component in other populations [136–138] and is often present in people with COPD [59].

#### **Dynamic stability**

Dynamic stability was frequently studied in people with COPD. Results are consistent to report an alteration of "dynamic stability" in people with COPD compared to healthy controls. This review also suggests that this sub-component could be one of the more impaired among postural control components [34,42,67]. The alteration of dynamic stability could be more important in the medio-lateral direction than in the antero-posterior direction [31, 40,82]. As modifications in the medio-lateral direction are related to an increased risk of falls in elderly [139], this emphasises the need of the assessment of this specific characteristic of "dynamic stability" in people with COPD.

Quantitative movement analysis represents an interesting option for the purpose of an accurate understanding of postural control in COPD patients [22]. Several studies employing this tool were included in the review; however, they mainly focused on gait. Other relevant ADL, such as stairs climbing, transitions, or objects carrying were not fully investigated. Investigating these tasks using quantitative movement analysis could give relevant information on the role of postural control in ADL impairment in COPD population.

#### **Sensory integration**

This review identifies evidence showing that this sub-component is impaired in people with COPD. However, sensory integration implicates different inputs and a central reweighting [15], and the precise changes related to each sensory input are still unclear. We found studies indicating that nature of the surface of support could induces more alterations of postural control than the manipulation of the visual input [27,60,81]. It could implicate that plantar sensory system and proprioceptive system are less performant in individuals with COPD and that the reliance to the visual input is not increase for these patients. Another possible explanation is that the reweighting of the sensory information is different in people with COPD. This is in line with the study of Janssens et al. [45], indicating that the proprioceptive weighting of people with COPD is more related to lower limb information than trunk proprioceptive signals. In addition, the literature shown that people with COPD could have structural brain changes [129]. It could be hypothesised that these modifications could have an impact on the central integration and processing of sensory data.

#### **Cognitive influences**

Various cognitive tasks induce changes in postural control of both healthy and COPD people. However, there is conflicting evidence that cognitive tasks cause more alteration on postural control in COPD patients than in healthy subjects. Previous research with elderly people has shown an age-related decrease of postural control performance under dual task conditions [140]. It is

Table 4. Research perspectives.

Sub-component/domain	Research perspectives
Static stability	To specify associations with clinical factors. To realise sub-group analyses (i.e., Stratification by dyspnoea status) aiming to determine if phenotypes exist regarding "static stability" alterations.
Underlying motor systems	To explore under-investigated muscle qualities (i.e., power, endurance) and established their role in postural control in people with COPD.
Functional limits of stability	To specify implication of different muscle groups/locations (inspiratory muscles, lower limb muscles). To determine if a specific-direction impairment exists for this sub-component.
Verticality	To investigate the potential role of this sub-component in falls in people with COPD. To incorporate this component more frequently in research.
Reactive postural control	To confirm if this sub-component is impaired and if this is clinically relevant. To precise the relation between this sub-component and falls. To explore the relation between this sub-component and "underlying motor systems" (especially muscle fatigue and muscle power).
Anticipatory postural control	To investigate the relation between structural brain changes, fear of falling, and this sub-component.
Dynamic stability	To confirm the predominance of medio-lateral direction in dynamic stability impairment and to explore its potential relation with falls. To investigate unexplored dynamic tasks (such as stair climbing and descending, sit to stand ...).
Sensory integration	To specify associations with clinical factors. To clarify if disease-specific patterns of alteration exist regarding sensory inputs.
Cognitive influences	To explore the sensory reweighting of people with COPD. To detail the effect of dual task (including real-life tasks) on postural control in people with COPD and to determine if the impairment is more pronounced in people with COPD.
Activities of daily living	To detail the impact of postural control impairment in activities of daily living by employing both patient-related outcomes and direct assessment with accurate tools (such as motion analysis).

currently unclear if COPD disease provokes an additional impairment, but some specific factors associated with the pathology could be of interest regarding cognitive influences and postural control: for example, dyspnoea has a known negative impact on cognitive parameters [141]. The presence of both acute and chronic dyspnoea could induce modifications on cognitive function with some potential consequences on postural control. Other prevalent clinical factors in COPD, such as pain [142], could produce relevant interaction with cognitive load and postural control [143].

#### Postural control and ADL

ADLs are often difficult for people with COPD [144]. These difficulties have some consequences for the quality of life of these people [145]. Some studies suggest that a performant postural control system is associated with a good realisation of ADL [146,147]. People with COPD with a postural control impairment could experiment more difficulties in the realisation of these tasks [99,102]. Postural control impairment is not only relevant for its association with the risk of fall but could potentially lead to an increased metabolic cost of the movement [148]. As research has already established that people with COPD present an increased energy expenditure compared to healthy participants [149], it is possible that postural control impairment contributes to it. Finally, it can be hypothesised that increasing the postural control capacities of people with COPD could lead to a better daily life tasks realisation.

#### Strength and limitations

To our knowledge this is the first review aiming to summarise evidence on sub-components of postural control in COPD population. Using a robust conceptual and clinically relevant model, this review is interesting both for researchers and clinicians. By incorporating grey literature, this work aims to propose a wide and realistic synthesis. The methodology of the review is in line with the JBI guidelines for scoping reviews that represents the actual reference for designing and carrying out this type of review.

As with any review, these results should be interpreted with the consideration of some limitations. The combination of interrogated databases was done to ensure a wide coverage of the literature; however, it is possible that relevant sources have been omitted as some databases combinations could be more performant. The literature search has been performed only in French and English, preventing the inclusion of sources in other languages. In addition, no critical appraisal was performed as it is not a requirement for scoping review.

#### Perspectives and futures directions

From this review, different research perspectives could be drawn. They are presented in Table 4 for each postural control sub-component and for ADL. If this review proposed perspectives for each sub-component, postural control is a complex system that uses sub-components in perpetual coordination during real life. Therefore, the understanding of postural control impairment in COPD, its origins, and its consequences will require in the future a wide variety of both human (different professions and skills) and material resources (analysis tools from new technologies for example).

#### Conclusion

This review provides an overview of the current knowledge on postural control sub-components in people with COPD. This work highlights that most of the postural control sub-components could be altered in the latter. Results underline the relative poverty of scientific literature concerning the relation between postural control of people with COPD and ADL (perceived difficulties, performance, and characteristics of realisation). New professional orientations and research perspectives will require comprehensive and multidisciplinary work including contributors from different fields to introduce new ways of postural control impairment assessment and management in people with COPD from an evidence-based perspective.

### Acknowledgments

Olivier Honoré, librarian at IFPEK Rennes, for his support in literature search strategy development. Dr. Karim Jamal, researcher, and physiotherapist, for his expert input on literature review and postural control.

### Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

### Funding

Olivier Van Hove's research is supported by the "Fonds Erasme".

### References

- [1] World Health Organization. Global health estimates: Leading causes of death. 2020. Available from: [www.who.int](http://www.who.int) [cited 2020 December 10]. Available from: <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>
- [2] Rehman AU, Hassali MAA, Muhammad SA, et al. The economic burden of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in Europe: results from a systematic review of the literature. *Eur J Health Econ.* 2020;21(2):181–194.
- [3] World Health Organization. Chronic obstructive pulmonary disease (COPD). 2020. Available from: [www.who.int](http://www.who.int) [cited 2020 December 10]. Available from: [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-\(copd\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/chronic-obstructive-pulmonary-disease-(copd))
- [4] Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global strategy for the diagnosis, management, and prevention of COPD, 2022 report. 2022. Available from: <https://goldcopd.org/2022-gold-reports-2/#>
- [5] Miravittles M, Ribera A. Understanding the impact of symptoms on the burden of COPD. *Respir Res.* 2017;18(1):67.
- [6] Putcha N, Drummond MB, Wise RA, et al. Comorbidities and chronic obstructive pulmonary disease: prevalence, influence on outcomes, and management. *Semin Respir Crit Care Med.* 2015;36(4):575–591.
- [7] Vanfleteren LEGW, Spruit MA, Groenen M, et al. Clusters of comorbidities based on validated objective measurements and systemic inflammation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med.* 2013;187(7):728–735.
- [8] Edemekong PF, Bomgaars DL, Sukumaran S, et al. Activities of daily living. 2021. [cited 2022 June 17]. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK470404>
- [9] Smith MC, Wrobel JP. Epidemiology and clinical impact of major comorbidities in patients with COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2014;9:871–888.
- [10] Porto E, Castro A, Schmidt V, et al. Postural control in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2015;10:1233–1239.
- [11] Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice. Philadelphia (PA): Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
- [12] Chuatrakoon B, Ngai SPC, Sungkarat S, et al. Balance impairment and effectiveness of exercise intervention in chronic obstructive pulmonary Disease-A systematic review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2020;101(9):1590–1602.
- [13] Loughran KJ, Atkinson G, Beauchamp MK, et al. Balance impairment in individuals with COPD: a systematic review with Meta-analysis. *Thorax.* 2020;75(7):539–546.
- [14] Horak F, Wrisley D, Frank J. The balance evaluation systems test (BESTest) to differentiate balance deficits. *Physical Therapy.* 2009;89(5):484–498.
- [15] Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing.* 2006;35(2):ii7–ii11.
- [16] Franchignoni F, Horak F, Godi M, et al. Using psychometric techniques to improve the balance evaluation systems test: the mini-BESTest. *J Rehabil Med.* 2010;42(4):323–331.
- [17] Padgett PK, Jacobs JV, Kasser SL. Is the BESTest at its best? A suggested brief version based on interrater reliability, validity, internal consistency, and theoretical construct. *Phys Ther.* 2012;92(9):1197–1207.
- [18] Sibley KM, Beauchamp MK, Van Ooteghem K, et al. Using the systems framework for postural control to analyze the components of balance evaluated in standardized balance measures: a scoping review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2015;96(1):122–132.e29.
- [19] Sibley KM, Beauchamp MK, Van Ooteghem K, et al. Components of standing postural control evaluated in pediatric balance measures: a scoping review. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(10):2066–2078.e4.
- [20] Peters M, Godfrey C, Mclnerney P, et al. Chapter 11: scoping reviews. In: Aromataris E, Munn Z, editors. *JBI manual for evidence synthesis.* Adelaide, Australia : JBI; 2020.
- [21] Pichon R, van Hove O. Postural control and its sub-components in patients with COPD : a scoping review protocol. 2021. March 2 [cited 2021 July 23]. Available from: <https://osf.io/spq66>
- [22] Paillard T, Noé F. Techniques and methods for testing the postural function in healthy and pathological subjects. *Biomed Res Int.* 2015;2015:891390–891315.
- [23] Paez A. Gray literature: an important resource in systematic reviews. *J Evid Based Med.* 2017;10(3):233–240.
- [24] Scherer RW, Saldanha IJ. How should systematic reviewers handle conference abstracts? A view from the trenches. *Syst Rev.* 2019;8(1):264.
- [25] Haddaway NR, Collins AM, Coughlin D, et al. The role of google scholar in evidence reviews and its applicability to grey literature searching. *PLoS One.* 2015;10(9):e0138237.
- [26] Tricco AC, Lillie E, Zarin W, et al. PRISMA extension for scoping reviews (PRISMA-ScR): checklist and explanation. *Ann Intern Med.* 2018;169(7):467–473.
- [27] Butcher SJ, Meshke JM, Sheppard MS. Reductions in functional balance, coordination, and mobility measures among patients with stable chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil.* 2004;24(4):274–280.
- [28] Al Haddad MA, John M, Hussain S, et al. Role of the timed up and Go test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev.* 2016;36(1):49–55.
- [29] Albarrati AM, Gale N, Enright S, et al. A simple and rapid test of physical performance in chronic obstructive pulmonary disease. *COPD.* 2016;11:1785–1791.
- [30] Almeida CNS, Costa R d, Manso KP, et al. Static balance in older adults with chronic obstructive pulmonary disease

- undergoing pulmonary rehabilitation. *Geriatr Gerontol Aging*. 2020;14(2):98–107.
- [31] Annegam J, Spruit MA, Savelberg HHCM, et al. Differences in walking pattern during 6-min walk test between patients with COPD and healthy subjects. *PLoS One*. 2012; 7(5):e37329.
- [32] de Castro LA, Ribeiro LR, Mesquita R, et al. Static and functional balance in individuals with COPD: comparison with healthy controls and differences according to sex and disease severity. *Respiratory Care*. 2016;61(11): 1488–1496.
- [33] de Castro LA, Morita AA, Sepúlveda-Loyola W, et al. Are there differences in muscular activation to maintain balance between individuals with chronic obstructive pulmonary disease and controls? *Respir Med*. 2020;173: 106016.
- [34] Beauchamp MK, Sibley KM, Lakhani B, et al. Impairments in systems underlying control of balance in COPD. *Chest*. 2012;141(6):1496–1503.
- [35] Boffino CC, Pereira ACAC, Coelho DB, et al. Age and disease have a distinct influence on postural balance of patients with COPD. *COPD*. 2019;16(3–4):246–253.
- [36] Crişan AF, Oancea C, Timar B, et al. Balance impairment in patients with COPD. *PLoS One*. 2015;10(3):e0120573.
- [37] De Buyser SL, Petrovic M, Taes YE, et al. Physical function measurements predict mortality in ambulatory older men. *Eur J Clin Invest*. 2013;43(4):379–386.
- [38] Eisner MD, Blanc PD, Yelin EH, et al. COPD as a systemic disease: impact on physical functional limitations. *Am J Med*. 2008;121(9):789–796.
- [39] Eymir M, Yakut H, Özalevli S, et al. Static and dynamic balance impairment and relationship with disease-related factors in patients with chronic obstructive pulmonary disease : a cross-sectional study. *Wien Klin Wochenschr*. 2021;133(21–22):1186–1194.
- [40] Fallahtafti F, Curtze C, Samson K, et al. Chronic obstructive pulmonary disease patients increase medio-lateral stability and limit changes in antero-posterior stability to curb energy expenditure. *Gait Posture*. 2020;75:142–148.
- [41] Gore S, Blackwood J, Ziccardi T. Associations between cognitive function, balance, and gait speed in Community-Dwelling older adults with COPD. *J Geriatr Phys Ther*. 2021;000:1–7.
- [42] Hetal M, Sejal G. Assessment of components of functional balance in individuals suffering from chronic obstructive pulmonary disease and to compare it with age and gender matched individuals. *Int J Health Sci Res*. 2018;8: 149–160.
- [43] Iwakura M, Okura K, Shibata K, et al. Relationship between balance and physical activity measured by an activity monitor in elderly COPD patients. *COPD*. 2016;11: 1505–1514.
- [44] Iwakura M, Okura K, Shibata K, et al. Gait characteristics and their associations with clinical outcomes in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture*. 2019;74:60–65.
- [45] Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, et al. Proprioceptive changes impair balance control in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS One*. 2013;8(3):e57949.
- [46] Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, et al. Impaired postural control reduces sit-to-stand-to-sit performance in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS One*. 2014;9(2):e88247.
- [47] Jirange P, Vaishali K, Sinha MK, et al. A cross-sectional study on balance deficits and gait deviations in COPD patients. *Can Respir J*. 2021;2021:1–5.
- [48] Kamble PM, Parulekar P. Assessment of balance in individuals suffering from chronic obstructive pulmonary diseases. *Indian J Physiother Occup Ther*. 2020;14:120–126.
- [49] Kaygusuz MH, Oral Tapan O, Tapan U, et al. Balance impairment and cognitive dysfunction in patients with chronic obstructive pulmonary disease under 65 years. *Clin Respir J*. 2022;16(3):200–207.
- [50] Lahousse L, Verlinden VJA, van der Geest JN, et al. Gait patterns in COPD: the rotterdam study. *Eur Respir J*. 2015; 46(1):88–95.
- [51] Lee AL, Goldstein RS, Chan C, et al. Postural deviations in individuals with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Can J Respir Crit Care Sleep Med*. 2018;2(2):61–68.
- [52] Liu WY, Spruit MA, Delbressine JM, et al. Spatiotemporal gait characteristics in patients with COPD during the gait real-time analysis interactive lab-based 6-minute walk test. *PLoS One*. 2017;12(12):e0190099.
- [53] Liu WY, Schmid KK, Meijer K, et al. Subjects with COPD walk with less consistent organization of movement patterns of the lower extremity. *Respir Care*. 2020;65(2): 158–168.
- [54] McCamley JD, Pisciotta EJ, Yentes JM, et al. Gait deficiencies associated with peripheral artery disease are different than chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture*. 2017;57:258–264.
- [55] McCrum C, Vaes AW, Delbressine JM, et al. A pilot study on the feasibility and effectiveness of treadmill-based perturbations for assessing and improving walking stability in chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2022;91:105538.
- [56] Mkacher W, Tabka Z, Makki M, et al. Changes in balance after rehabilitation program in patients with COPD and in healthy subjects. *Int J Phys Med Rehabil*. 2014;02(05).
- [57] Morlino P, Balbi B, Guglielmetti S, et al. Gait abnormalities of COPD are not directly related to respiratory function. *Gait Posture*. 2017;58:352–357.
- [58] Molouki A, Roostayi MM, Abedi M, et al. Postural balance evaluation in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Tanaffos*. 2020;19:392–400.
- [59] Oliveira CC, McGinley J, Lee AL, et al. Fear of falling in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med*. 2015;109(4):483–489.
- [60] Oliveira CC, Lee AL, McGinley J, et al. Balance and falls in acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: a prospective study. *COPD*. 2017;14(5):518–525.
- [61] Ozalevli S, Ilgin D, Narin S, et al. Association between disease-related factors and balance and falls among the elderly with COPD: a cross-sectional study. *Aging Clin Exp Res*. 2011;23(5–6):372–377.
- [62] Ozsoy I, Ozsoy G, Kararti C, et al. Cognitive and motor performances in dual task in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a comparative study. *Ir J Med Sci*. 2021;190(2):723–730.
- [63] Ozsoy I, Kahraman BO, Ozsoy G, et al. Effects of an integrated exercise program including “functional” inspiratory muscle training in geriatric individuals with and without chronic obstructive pulmonary disease. *Ann Geriatr Med Res*. 2021;25(1):45–54.

- [64] Park JK, Deutz NEP, Cruthirds CL, et al. Risk factors for postural and functional balance impairment in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Clin Med*. 2020;9(2):609.
- [65] Pedrozo MD, Silveira A d Balance assessment in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Fisioter Mov*. 2015;28(1):149–156.
- [66] Porto EF, Pradella CO, Rocco CM, et al. Comparative postural control in COPD patients and healthy individuals during dynamic and static activities. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2017;37(2):139–145.
- [67] Qurashi MUM, Rupak S, Shambhovi M. Factors affecting balance in chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Physiother*. 2019;9:160–168.
- [68] Riaz T, Ul Ain Q, Amjad M, et al. Comparison of balance impairment among chronic obstructive pulmonary disease (COPD) and healthy population. *PJMHS*. 2022;16(1): 659–662.
- [69] Rocco CC, Sampaio LMM, Stirbulov R, et al. Neurophysiological aspects and their relationship to clinical and functional impairment in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Clinics*. 2011;66(1): 125–129.
- [70] Roig M, Eng JJ, MacIntyre DL, et al. Associations of the stair climb power test with muscle strength and functional performance in people with chronic obstructive pulmonary disease: a cross-sectional study. *Phys Ther*. 2010;90(12):1774–1782.
- [71] Roig M, Eng JJ, MacIntyre DL, et al. Postural control is impaired in people with COPD: an observational study. *Physiother Can*. 2011;63(4):423–431.
- [72] Rutkowski S, Rutkowska A, Luniewski J, et al. Gait analysis of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Fizjoterapia Polska*. 2014;14:24–33.
- [73] Saraiva N, Ferreira A, Papathanasiou J, et al. Kinematic evaluation of patients with chronic obstructive pulmonary disease during the 6-min walk test. *J Bodywork Move Ther*. 2021;27:134–140.
- [74] Satani K, Mehta R. Assessment of strength, coordination and balance in patients with moderate to severe copd. *Ann Rom Soc Cell Biol*. 2021;25(4):12882–12887.
- [75] Sayed S, Naqvi W, Phansopkar P. Submaximal exercise task post clinical balance in COPD patients and its correlation with quadriceps girth, body mass index and disease severity. *Indian J Forensic Med Toxicol*. 2021;15:1: 1505–1512.
- [76] Schons P, da Silva ES, Coertjens M, et al. The relationship between height of vertical jumps, functionality and fall episodes in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a case-control study. *Exp Gerontol*. 2021;152: 111457.
- [77] Shalaby AA, Fatouh FN, Ezzelregal HG, et al. Vestibular assessment in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Zagazig Univ Med J*. 2019;25(4):601–607. 1
- [78] Singh SS, Bhat A, Mohapatra AK, et al. Comparison of reaction time and functional balance in chronic obstructive pulmonary disease and healthy participants. *Heart Lung*. 2019;48(6):570–573.
- [79] Smith MD, Chang AT, Seale HE, et al. Balance is impaired in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture*. 2010;31(4):456–460.
- [80] Smith MD, Chang AT, Hodges PW. Balance recovery is compromised and trunk muscle activity is increased in chronic obstructive pulmonary disease. *Gait Posture*. 2016; 43:101–107.
- [81] Strandkvist V, Røjezon U, Lindberg A, et al. Hand grip strength and postural control among individuals with and without chronic obstructive pulmonary disease : Epidemiological and motion laboratory studies [dissertation]. Luleå, Sweden: Luleå University of Technology; 2019.
- [82] Terui Y, Iwakura M, Suto E, et al. New evaluation of trunk movement and balance during walking in COPD patients by a triaxial accelerometer. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2018;13:3957–3962.
- [83] Tudorache E, Oancea C, Avram C, et al. Balance impairment and systemic inflammation in chronic obstructive pulmonary disease. *COPD*. 2015;10:1847–1852.
- [84] Van Hove O, Cebolla AM, Andrianopoulos V, et al. The influence of cognitive load on static balance in chronic obstructive pulmonary disease patients. *Clin Respir J*. 2021;15(3):351–357.
- [85] Vardar-Yagli N, Saglam M, Calik-Kutukcu E, et al. Increased pain sensitivity, postural abnormalities, and functional balance impairment in obstructive lung disease compared to healthy subjects. *Heart Lung*. 2019;48(4):351–355.
- [86] Voica AS, Oancea C, Tudorache E, et al. Chronic obstructive pulmonary disease phenotypes and balance impairment. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2016;11:919–925.
- [87] Yazici O, Ceylan E, Demir Yazici S, et al. Evaluation of balance in patients with chronic obstructive pulmonary disease with practical tests. *Int J Clin Pract*. 2021;75(4): e13901.
- [88] Yentes JM, Schmid KK, Blanke D, et al. Gait mechanics in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Res*. 2015;16(1):31.
- [89] Yentes JM, Rennard SI, Schmid KK, et al. Patients with chronic obstructive pulmonary disease walk with altered step time and step width variability as compared with healthy control subjects. *Ann Am Thorac Soc*. 2017;14(6): 858–866.
- [90] Yumrutepe T, Aytemur ZA, Baysal O, et al. Relationship between vitamin D and lung function, physical performance and balance on patients with stage I-III chronic obstructive pulmonary disease. *Rev Assoc Med Bras*. 2015; 61(2):132–138.
- [91] Alsubheen SA, Beauchamp M, Ellerton C, et al. Age and sex differences in balance outcomes among individuals with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) at risk of falls. *COPD*. 2022;19(1):166–173.
- [92] Benton MJ, Wagner CL, Alexander JL. Relationship between body mass index, nutrition, strength, and function in elderly individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2010;30(4): 260–263.
- [93] Bernabeu-Mora R, Giménez-Giménez LM, Montilla-Herrador J, et al. Determinants of each domain of the short physical performance battery in COPD. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2017;12:2539–2544.
- [94] Birinci T, Kısa EP, Akıncı B, et al. The investigation of falls and balance from the perspective of activities of daily living in patients with COPD. *COPD*. 2021;18(2):147–156.
- [95] Butcher SJ, Pikaluk BJ, Chura RL, et al. Associations between isokinetic muscle strength, high-level functional performance, and physiological parameters in patients

- with chronic obstructive pulmonary disease. *COPD*. 2012; 7:537–542.
- [96] Carter D. Changes in gait variability and balance control during exertional walking in adults with chronic obstructive pulmonary disease [master's thesis]. Hobart, Australia: University of Tasmania; 2020.
- [97] Champion T, Sanford K, Byrd R. Retrospective balance study for individuals with chronic obstructive pulmonary disease: evaluating the effect of a 1-month physical therapy program. *Cardiopulm Phys Ther J*. 2019;30(4):171–177.
- [98] Chang AT, Seale H, Walsh J, et al. Static balance is affected following an exercise task in chronic obstructive pulmonary disease. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2008;28(2): 142–145.
- [99] Cruz J, Marques A, Jácome C, et al. Global functioning of COPD patients with and without functional balance impairment: an exploratory analysis based on the ICF framework. *COPD*. 2015;12(2):207–216.
- [100] Eisner MD, Blanc PD, Sidney S, et al. Body composition and functional limitation in COPD. *Respir Res*. 2007;8:7.
- [101] Eisner MD, Iribarren C, Yelin EH, et al. Pulmonary function and the risk of functional limitation in chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Epidemiol*. 2008;167(9): 1090–1101.
- [102] Jácome C, Cruz J, Gabriel R, et al. Functional balance in older adults with chronic obstructive pulmonary disease. *J Aging Phys Act*. 2014;22(3):357–363.
- [103] Kovelis D, Gomes ARS, Mazzarin C, et al. Association between the results of the timed up-and-go test adjusted for disease severity and sarcopenia in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a pilot study. *Clinics (Sao Paulo)*. 2019;74:e930.
- [104] Lage VKS, Silva GP, Lacerda ACR, et al. Functional tests associated with sarcopenia in moderate chronic obstructive pulmonary disease. *Expert Rev Respir Med*. 2020;15: 569–576.
- [105] Leung RWM, Alison JA, McKeough ZJ. Inter-rater and intra-rater reliability of the Brief-BESTest in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Rehabil*. 2019; 33(1):104–112.
- [106] Liwsrisakun C, Pothirat C, Chaiwong W, et al. Exercise performance as a predictor for balance impairment in COPD patients. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(5):171.
- [107] Liwsrisakun C, Pothirat C, Chaiwong W, et al. Diagnostic ability of the timed up & go test for balance impairment prediction in chronic obstructive pulmonary disease. *J Thorac Dis*. 2020;12(5):2406–2414.
- [108] Matkovic Z, Tudoric N, Cvetko D, et al. Easy to perform physical performance tests to identify COPD patients with low physical activity in clinical practice. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2020;15:921–929.
- [109] McLay R, Kirkwood RN, Kuspinar A, et al. Validity of balance and mobility screening tests for assessing fall risk in COPD. *Chron Respir Dis*. 2020;17:1479973120922538.
- [110] Medina-Mirapeix F, Bernabeu-Mora R, Sánchez-Martínez MP, et al. Mobility limitations related to reduced pulmonary function among aging people with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS One*. 2018;13(5):e0196152.
- [111] Mkacher W, Tabka Z, Trabelsi Y. Relationship between postural balance, lung function, nutritional status and functional capacity in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Sci Sports*. 2016;31(2):88–94.
- [112] Mohan D, Benson VS, Allinder M, et al. Short physical performance battery: what does each Sub-Test measure in patients with chronic obstructive pulmonary disease? *J Copd F*. 2020;7(1):13–25.
- [113] Nantsupawat N, Lane P, Siangpraipunt O, et al. Gait characteristics in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *J Prim Care Community Health*. 2015;6(4): 222–226.
- [114] Patel MS, Mohan D, Andersson YM, et al. Phenotypic characteristics associated with reduced short physical performance battery score in COPD. *Chest*. 2014;145(5): 1016–1024.
- [115] Yentes JM, Blanke D, Rennard SI, et al. The effect of a short duration, high intensity exercise intervention on gait biomechanics in patients with COPD: findings from a pilot study. *Chronic Obstr Pulm Dis*. 2014;1(1):133–147.
- [116] Goble DJ, Baweja HS. Normative data for the BTrackS balance test of postural sway: results from 16,357 community-dwelling individuals who were 5 to 100 years old. *Phys Ther*. 2018;98(9):779–785.
- [117] Jacobson BH, Thompson B, Wallace T, et al. Independent static balance training contributes to increased stability and functional capacity in community-dwelling elderly people: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil*. 2011; 25(6):549–556.
- [118] O'Donnell DE, Milne KM, James MD, et al. Dyspnea in COPD: new mechanistic insights and management implications. *Adv Ther*. 2020;37(1):41–60.
- [119] Donaldson AV, Maddocks M, Martolini D, et al. Muscle function in COPD: a complex interplay. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2012;7:523–535.
- [120] Marillier M, Bernard AC, Vergès S, et al. Locomotor muscles in COPD: the rationale for rehabilitative exercise training. *Front Physiol*. 2019;10(1590):1590.
- [121] Ivanenko Y, Gurfinkel VS. Human postural control. *Front Neurosci*. 2018;12:171.
- [122] Paillard T. Relationship between muscle function, muscle typology and postural performance according to different postural conditions in young and older adults. *Front Physiol*. 2017;8:585.
- [123] McLay R, O'Hoski S, Beauchamp MK. Role of muscle strength in balance assessment and treatment in chronic obstructive pulmonary disease. *Cardiopulm Phys Ther J*. 2019;30(1):35–43.
- [124] Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, et al. An official American thoracic society/european respiratory society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;188(8):e13–64–e64.
- [125] Johansson J, Jarocka E, Westling G, et al. Predicting incident falls: relationship between postural sway and limits of stability in older adults. *Hum Mov Sci*. 2019;66:117–123.
- [126] Ganesan M, Kanekar N, Aruin AS. Direction-specific impairments of limits of stability in individuals with multiple sclerosis. *Ann Phys Rehabil Med*. 2015;58(3):145–150.
- [127] Barra J, Marquer A, Joassin R, et al. Humans use internal models to construct and update a sense of verticality. *Brain*. 2010;133(12):3552–3563.
- [128] Dieterich M, Brandt T. Perception of verticality and vestibular disorders of balance and falls. *Front Neurol*. 2019; 10(172):172.
- [129] Yin M, Wang H, Hu X, et al. Patterns of brain structural alteration in COPD with different levels of pulmonary

- function impairment and its association with cognitive deficits. *BMC Pulm Med.* 2019;19(1):203.
- [130] Chauvin S, Kirkwood R, Brooks D, et al. Which balance subcomponents distinguish between fallers and Non-Fallers in people with COPD? *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2020;15:1557–1564.
- [131] Okubo Y, Schoene D, Caetano MJ, et al. Stepping impairment and falls in older adults: a systematic review and Meta-analysis of volitional and reactive step tests. *Ageing Res Rev.* 2021;66:101238.
- [132] Oliveira CC, Annoni R, Lee AL, et al. Falls prevalence and risk factors in people with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Respir Med.* 2021;176:106284.
- [133] Papa EV, Garg H, Dibble LE. Acute effects of muscle fatigue on anticipatory and reactive postural control in older individuals: a systematic review of the evidence. *J Geriatr Phys Ther.* 2015;38(1):40–48.
- [134] Bachasson D, Wuyam B, Pepin JL, et al. Quadriceps and respiratory muscle fatigue following High-Intensity cycling in COPD patients. *PLoS One.* 2013;8(12):e83432.
- [135] Bouisset S, Do MC. Posture, dynamic stability, and voluntary movement. *Neurophysiol Clin.* 2008;38(6):345–362.
- [136] Chiou SY, Hurry M, Reed T, et al. Cortical contributions to anticipatory postural adjustments in the trunk. *J Physiol.* 2018;596(7):1295–1306.
- [137] Ellmers TJ, Maslivec A, Young WR. Fear of falling alters anticipatory postural control during cued gait initiation. *Neurosci.* 2020;438:41–49.
- [138] Uemura K, Yamada M, Nagai K, et al. Fear of falling is associated with prolonged anticipatory postural adjustment during gait initiation under dual-task conditions in older adults. *Gait Posture.* 2012;35(2):282–286.
- [139] Hilliard MJ, Martinez KM, Janssen I, et al. Lateral balance factors predict future falls in community-living older adults. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(9):1708–1713.
- [140] 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;12:557–577.
- [141] Sucec J, Herzog M, Van den Bergh O, et al. The effect of dyspnea on recognition memory. *Int J Psychophysiol.* 2020;148:50–58.
- [142] van Dam van Isselt EF, Groenewegen-Sipkema KH, Spruit-van Eijk M, et al. Pain in patients with COPD: a systematic review and Meta-analysis. *BMJ Open.* 2014;4(9):e005898.
- [143] Ge L, Yu Q, Wang C, et al. How cognitive loads modulate the postural control of older women with low back pain? *BMC Geriatr.* 2021;21(1):82.
- [144] Kaptain RJ, Helle T, Patomella A-H, et al. New insights into activities of daily living performance in chronic obstructive pulmonary disease. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 2021;16:1–12.
- [145] Álvarez-Gutiérrez FJ, Miravittles M, Calle M, et al. Impact of chronic obstructive pulmonary disease on activities of daily living: results of the multicenter EIME study. *Arch Bronconeumol (Eng Ed).* 2007;43(2):64–72.
- [146] Hagořská M, Olekszyová Z. Relationships between balance control and cognitive functions, gait speed, and activities of daily living. *Z Gerontol Geriatr.* 2016;49(5):379–385.
- [147] Sabashi K, Ishida T, Matsumoto H, et al. Dynamic postural control correlates with activities of daily living and quality of life in patients with knee osteoarthritis. *BMC Musculoskeletal Disord.* 2021;22(1):287.
- [148] Houdijk H, Brown SE, van Dieën JH. Relation between postural sway magnitude and metabolic energy cost during upright standing on a compliant surface. *J Appl Physiol (1985).* 2015;119(6):696–703.
- [149] Ramires BR, de Oliveira EP, Pimentel GD, et al. Resting energy expenditure and carbohydrate oxidation are higher in elderly patients with COPD: a case control study. *Nutr J.* 2012;11:37.

## Annexe 2. Stratégie de recherche de la scoping review

### Medline Search:

Search ID	Search terms
#1	("postural balance"[MeSH Terms] OR "balance"[Text Word] OR "postural control"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#2	("pulmonary disease, chronic obstructive"[MeSH Terms] OR "bronchitis, chronic"[MeSH Terms] OR "pulmonary emphysema"[MeSH Terms] OR "COPD"[Text Word] OR "chronic obstructive pulmonary disease"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#3	("muscle, skeletal"[MeSH Terms] OR "muscle skeletal"[Text Word] OR "muscle strength"[MeSH Terms] OR "muscle strength"[Text Word] OR "paresis"[MeSH Terms] OR "muscle weakness"[MeSH Terms] OR "respiratory muscles"[MeSH Terms] OR "muscle activation"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#4	("range of motion, articular"[MeSH Terms] OR "range of motion"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#5	("cognitive dysfunction"[MeSH Terms] OR "cognitive dysfunction"[Text Word] OR "cognition"[MeSH Terms] OR "cognition"[Text Word] OR "executive function"[MeSH Terms] OR "executive function"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#6	("gait"[MeSH Terms] OR "gait"[Text Word] OR "walking"[MeSH Terms] OR "walking"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#7	("gravity sensing"[MeSH Terms] OR "orientation, spatial"[MeSH Terms] OR "postural orientation"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#8	("proprioception"[MeSH Terms] OR "proprioception"[Text Word] OR "sensation"[MeSH Terms] OR "sensation"[Text Word] OR "sensation disorders"[MeSH Terms] OR "sensation disorders"[Text Word] OR "visual perception"[MeSH Terms] OR "visual perception"[Text Word] OR "visual acuity"[MeSH Terms] OR "visual acuity"[Text Word] OR "auditory perception"[MeSH Terms] OR "auditory perception"[Text Word] OR "hearing loss"[MeSH Terms] OR "hearing loss"[Text Word] OR "sensory reweighting"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#9	("ankle strategy"[Text Word] OR "hip strategy"[Text Word] OR "multi joint coordination"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])
#10	("activities of daily living"[MeSH Terms] OR "activities of daily living"[Text Word] OR "walking"[MeSH Terms] OR "walking"[Text Word] OR "lifting"[MeSH Terms] OR "lifting"[Text Word]) AND (english[Filter] OR french[Filter])

### Initial search (02/03/2021) :

Search ID	Query	Results (n)	Date
S1	#1 AND #2	793	02/03/2021
S2	#2 AND #3	2423	02/03/2021
S3	#2 AND #4	22	02/03/2021
S4	#2 AND #5	461	02/03/2021
S5	#2 AND #6	1932	02/03/2021
S6	#2 AND #7	66	02/03/2021
S7	#2 AND #8	539	02/03/2021
S8	#2 AND #9	0	02/03/2021
S9	#1 AND #2 AND #10	64	02/03/2021
S10	#2 AND #10	3477	02/03/2021

### Updated search (2022/05/27):

Search ID	Query	New results (n)	Date
S1	#1 AND #2	102	2022/05/27
S2	#2 AND #3	155	2022/05/27
S3	#2 AND #4	4	2022/05/27
S4	#2 AND #5	41	2022/05/27

S5	#2 AND #6	175	2022/05/27
S6	#2 AND #7	4	2022/05/27
S7	#2 AND #8	41	2022/05/27
S8	#2 AND #9	0	2022/05/27
S9	#1 AND #2 AND #10	12	2022/05/27
S10	#2 AND #10	239	2022/05/27

### ***Scielo search***

Search ID	terms
S1	Balance AND COPD
S2	(postural balance) AND COPD
S3	(postural control) AND COPD
S4	Gait AND COPD

Updated the 05/27/2022 with the same equations.

### ***Cochrane Library search***

(postural balance [Mesh]) AND (pulmonary disease, chronic obstructive [Mesh])

Updated the 05/27/2022 with the same equations.

### ***Google Scholar Search***

500 first results of “postural balance COPD”

Updated the 05/27/2022:

100 first results using “postural balance COPD” with a date limitation: 2021-2022

### Annexe 3. Charting table

Charting table	
<b>Scoping review details</b>	
Scoping review title	Postural control and its sub-components in patients with copd : a scoping review protocol
Scoping review objectives	identify and characterize alterations of sub-components that impact postural control in patients with COPD. The second aim of this scoping review is to clarify the association between postural control and activities of daily living in patients with COPD.
Scoping review questions	1. Which sub-components of postural control are implicated in its alteration in COPD patients ? 2. What are the characteristics of these sub-components ? 3. What is the relation between postural control (globally and for each sub-components) and ADL in COPD patients ?
<b>Eligibility criteria</b>	
Population	This review considered the studies that include COPD patients as defined by the Global Initiative for Obstructive Lung Disease (GOLD). All stages of the disease were considered. Patients must be over 18 years old. This review excluded studies involving other chronic respiratory lung diseases (eg. Asthma, interstitial lung diseases or bronchiectasis).
Concept	The concept of postural control (Systems Framework for Postural Control) proposed by Horak and his sub-components were explored in this review  This model was used and adapted by Sibley et al. who established an operational definition of the model. The adaptation includes 9 sub-components which are presented and defined in the table1.: 1. Static stability, 2. Underlying motor systems, 3. Functional stability limits, 4. Verticality, 5. Reactive postural control, 6. Anticipatory postural control, 7. Dynamic stability, 8. Sensory integration, 9. Cognitive influences.  This review included studies that focus on postural control, or at least one of its sub-components but in relation with global postural control strategies or performance in static or dynamic conditions. We considered as postural control assessment all functional tools described by Sibley et al in their review and laboratory assessment (kinetic or kinematic analyses in static and dynamic conditions). Subjective assessments of postural were not included in the review. Sources analysing one sub-component in isolation, with no direct link to postural control are excluded to the review.
Context	This review focused on available evidence on postural control with no geographical restriction. We included studies in the widest possible range of settings (laboratory assessment, inpatient or outpatient studies, pulmonary rehabilitation settings) and population (community-dwelling, real life...).
Types of sources	<b>observational studies</b> (descriptive studies, cohort studies, cross-sectional studies, case-control studies)  <b>experimental studies</b> (randomized controlled trials, non-randomized controlled trials and quasi-experimental designs such as before-after studies)  <b>systematic reviews.</b>  <b>Conference abstracts and grey literature</b> will be considered for inclusion
<b>Evidence source details and characteristics</b>	
Citation details:	
Title	
Authors	
Journal and Year	
DOI / URL	

Country	
Context	
COPD Participants (number / age / %FEV1)	
Controls (number / age)	
Study methods	
<b>Details / results extracted from source of evidence</b>	
Postural control and sub-components analysed in the study (as defined in the protocol) <i>bold if assessed in the study</i>	1. Static stability
	2. Underlying motor systems
	3. Functional limits of stability
	4. Verticality
	5. Reactive postural control
	6. Anticipatory postural control
	7. Dynamic stability
	8. Sensorial integration
	9. Cognitive influences
Outcomes (and assessment methods)	
Sub-components conclusions	

#### Annexe 4. Données descriptives des études incluses dans la scoping review

Study	Country	Type of study	n COPD	Age	FEV1	% Fem	Ctrl Gro up	Postural control sub-components											
								1	2	3	4	5	6	7	8	9			
Al Haddad 2016 [28]	UK	Cross-sectional	119	68 (8)	59 (18)	38	Yes												
Albarrati 2016 [29]	UK	Cross-sectional	520	66 (8)	58 (19)	48	Yes												
Almeida 2020 [30]	Brazil	Cross-sectional	14	69 (8)	NA	7	Yes												
Alsubheen 2022 [91]	Canada, Australia, UK, Portugal	Longitudinal	223	72 (9)	52 (17)	45	No												
Annegarn 2012 [31]	Netherlands	Cross-sectional	79	64 (9)	54 (19)	41	Yes												
Araujo de Castro 2016 [32]	Brazil	Cross-sectional	47	68 (5)	45 (15)	42	Yes												
Araujo de Castro 2020 [33]	Brazil	Cross-sectional	33	69 (7)	48 (11)	39	Yes												
Beauchamp 2012 [34]	Canada	Cross-sectional	37	71 (7)	39 (16)	54	Yes												
Benton 2010 [92]	USA	Cross-sectional	19	70 (1)	40 (4)	31	No												
Bernabeu-Mora 2017 [93]	Spain	Cross-sectional	137	67 (8)	50 (17)	12	No												
Birinci 2021 [94]	Turkey	Cross-sectional	28	70 (10)	63 (19)	35	No												
Boffino 2019 [35]	Brazil	Cross-sectional	30	64 (8)	46 (19)	20	Yes												
Butcher 2004 [27]	Canada	Cross-sectional	30	71 (NA)	37 (NA)	60	Yes												
Butcher 2012 [95]	Canada	Cross-sectional	13	74 (4)	48 (14)	38	No												
Carter 2020 [96]	New-Zealand	Cross-sectional	20	71 (8)	NA	85	No												
Champion 2019 [97]	USA	Cohort	25	70 (10)	52 (21)	56	No												
Chang 2008 [98]	Australia	Cross-sectional	19	69 (9)	46 (17)	47	No												
Crisan 2015 [36]	Romania	Cross-sectional	46	63 (NA)	29 (NA)	NA	Yes												
Cruz 2015 [99]	Portugal	Cross-sectional	134	73 (8)	NA	37	No												
de Buyser 2013 [37]	Belgium	Cohort	25	NA	NA	NA	Yes												
Eisner 2007 [100]	USA	Cohort	355	58 (6)	58 (23)	60	No												
Eisner 2008 [38]	USA	Cohort	1202	58 (6)	62 (23)	57	Yes												
Eisner 2008b [101]	USA	Cohort	1202	58 (6)	62 (23)	57	No												
Eymir 2021 [39]	Turkey	Cross-sectional	24	66 (12)	44 (7)	54	Yes												

Fallatafthi 2020 [40]	USA	Cross-sectional	17	64 (8)	NA	53	Yes													
Gore 2021 [41]	USA	Cross-sectional	382	75 (7)	NA	56.5	Yes													
Hetal 2018 [42]	India	Cross-sectional	35	56 (8)	NA	49	Yes													
Iwakura 2016 [43]	Japan	Cross-sectional	22	72 (7)	53 (21)	0	Yes													
Iwakura 2019 [44]	Japan	Cross-sectional	34	71 (8)	57 (28)	0	Yes													
Jacome 2014 [102]	Portugal	Cross-sectional	160	72 (8)	63 (23)	36	No													
Janssens 2013 [45]	Belgium	Cross-sectional	20	64 (7)	50 (18)	30	Yes													
Janssens 2014 [46]	Belgium	Cross-sectional	18	65 (7)	51 (19)	33	Yes													
Jirange 2021 [47]	India	Cross-sectional	42	62 (5)	37 (8)	NA	Yes													
Kamble 2020 [48]	India	Cross-sectional	30	NA	NA	NA	Yes													
Kaygusuz 2022 [49]	Turkey	Cross-sectional	60	57 (7)	44 (15)	3	Yes													
Kovelis 2019 [103]	Brazil	Cross-sectional	35	69 (7)	38 (13)	54	No													
Lage 2020 [104]	Brazil	Cross-sectional	35	75 (NA)	56 (NA)	31	No													
Lahousse 2015 [50]	Netherlands	Cohort	196	76 (6)	81 (19)	39	Yes													
Lee 2018 [51]	Canada	Cross-sectional	21	70 (7)	36 (20)	62	Yes													
Leung 2019 [105]	Australia	Reliability study	30	72 (7)	47 (16)	43	No													
Liu 2017 [52]	Netherlands	Cross-sectional	80	62 (7)	56 (19)	60	Yes													
Liu 2020 [53]	Netherlands	Cross-sectional	22	63 (9)	54 (19)	41	Yes													
Liwsrisakun 2019 [106]	Thailand	Cross-sectional	118	74 (8)	60 (NA)	27	No													
Liwsrisakun 2020 [107]	Thailand	Cross-sectional	118	73 (NA)	60 (NA)	27	No													
Matkovic 2020 [108]	Croatia	Cross-sectional	111	68 (8)	49 (25)	31	No													
McCamley 2017 [54]	USA	Cross-sectional	16	64 (9)	NA	NA	Yes													
McCrum 2021 [55]	Netherlands	Cross-sectional	12	66 (9)	52 (23)	50	Yes													
McLay 2020 [109]	Canada	Cross-sectional	86	73 (7)	47 (20)	47	No													
Medina-Mirapeix 2018 [110]	Spain	Cross-sectional	110	70 (6)	51 (16)	10	No													
Mkacher 2014 [56]	Tunisia	Longitudinal	16	56 (4)	49 (3)	0	Yes													
Mkacher 2016 [111]	Tunisia	Cross-sectional	58	69 (4)	NA	0	No													
Mohan 2020 [112]	UK	Cross-sectional	717	67 (8)	52 (16)	40	No													

Morlino 2017 [57]	Italy	Cross-sectional	40	71 (7)	50 (21)	28	Yes												
Molouki 2020 [58]	Iran	Cross-sectional	15	59 (4)	NA	0	Yes												
Nantsupawat 2015 [113]	India	Pilot study	14	70 (6)	37 (16)	43	No												
Oliveira 2015 [59]	Australia	Cross-sectional	40	71 (8)	45 (16)	52	Yes												
Oliveira 2017 [60]	Australia	Cross-sectional	52	71 (NA)	46 (NA)	50	Yes												
Ozalevli 2011 [61]	Turkey	Cross-sectional	36	70 (3)	44 (6)	31	Yes												
Ozsoy 2020 [62]	Turkey	Cross-sectional	35	62 (8)	59 (15)	10	Yes												
Ozsoy 2021 [63]	Turkey	Cross-sectional	100	78 (NA)	57 (12)	42	Yes												
Park 2020 [64]	USA	Cross-sectional	34	69 (1)	44 (3)	59	Yes												
Patel 2014 [114]	UK	Cross-sectional	109	65 (NA)	48 (NA)	41	No												
Pedrozo 2015 [65]	Brazil	Cross-sectional	29	65 (8)	49 (11)	34	Yes												
Porto 2017 [66]	Brazil	Cross-sectional	93	67 (10)	50 (19)	39	Yes												
Qurashi 2019 [67]	India	Cross-sectional	48	55 (6)	62 (9)	21	Yes												
Riaz 2021 [68]	Pakistan	Cross-sectional	30	54 (7)	NA	NA	Yes												
Rocco 2011 [69]	Brazil	Cross-sectional	22	70 (7)	40 (9)	14	Yes												
Roig 2010 [70]	Canada	Cross-sectional	21	71 (8)	47 (13)	NA	Yes												
Roig 2011 [71]	Canada	Cross-sectional	20	72 (7)	47 (13)	50	Yes												
Rutkowski 2014 [72]	Poland	Cross-sectional	33	66 (10)	NA	18	Yes												
Saraiva 2021 [73]	Brazil	Cross-sectional	36	68 (NA)	51 (NA)	44	Yes												
Satani 2021 [74]	India	Cross-sectional	15	62 (6)	NA	26	Yes												
Sayed 2021 [75]	India	Cross-sectional	30	54 (NA)	55 (NA)	NA	Yes												
Schons 2021 [76]	Brazil	Cross-sectional	16	60 (6)	41 (13)	56	Yes												
Shalaby 2019 [77]	Egypt	Cross-sectional	30	NA	NA	0	Yes												
Singh 2019 [78]	India	Cross-sectional	41	61 (5)	48 (18)	7	Yes												
Smith 2010 [79]	Australia	Cross-sectional	12	65 (7)	33 (13)	42	Yes												
Smith 2016 [80]	Australia	Cross-sectional	15	66 (8)	35 (13)	40	Yes												
Strandkvist 2019 [81]	Sweden	Cross-sectional	22	74 (6)	57 (13)	41	Yes												
Terui 2018 [82]	Japan	Cross-sectional	16	71 (9)	58 (20)	0	Yes												
Tudorache 2015 [83]	Romania	Cross-sectional	41	63 (NA)	24 (NA)	NA	Yes												

Van Hove 2020 [84]	Belgium	Cross-sectional	21	64 (8)	41 (17)	33	Yes												
Vardar-Yagli 2019 [85]	Turkey	Cross-sectional	15	NA	NA	NA	Yes												
Voica 2016 [86]	Romania	Cross-sectional	27	64 (NA)	31 (NA)	NA	Yes												
Yazici 2020 [87]	Turkey	Cross-sectional	71	65 (8)	54 (16)	8	Yes												
Yentes 2014 [115]	USA	Pilot study	7	63 (9)	56 (20)	43	No												
Yentes 2015 [88]	USA	Cross-sectional	17	64 (9)	50 (21)	35	Yes												
Yentes 2017 [89]	USA	Cross-sectional	20	64 (10)	54 (19)	20	Yes												
Yumrutepe 2015 [90]	Turkey	Cross-sectional	90	60 (8)	63 (21)	5	Yes												

Abbreviations:

COPD : chronic obstructive pulmonary disease ; Ctrl group : presence of a control group ; FEV1: forced expiratory volume in one second ; n: number of participants ; NA: not available ; %fem: percentage of female participants with COPD ; sub-component 1: static stability ; sub-component 2: underlying motor systems; sub-component 3: functional stability limits ; sub-component 4: verticality ; sub-component 5: reactive postural control ; sub-component 6: anticipatory postural control; sub-component 7: dynamic stability ; sub-component 8: sensory integration ; sub-component 9: cognitive influences.

The age and FEV1 variables are presented as mean (standard deviation); the green color significates that the sub-component has been assessed in the corresponding study.

## Annexe 5. Associations entre le composant « stabilité statique » et les facteurs cliniques

<b>Clinical factors</b>  n studies that reported significant correlations  n studies that did not report significant correlations	<b>Studies that reported significant correlations</b>	<b>Studies that did not report significant correlations</b>
<b>Muscle function</b> 	Almeida 2020 [30], Bernabeu-Mora 2017 [93], Iwakura 2016 [43], Janssens 2013 [45], Mohan 2020 [112], Oliveira 2017 [60]	de Castro 2020 [33], Eymir 2021 [39], Ozalevli 2011 [61], Qurashi 2019 [67], Roig 2011 [71], Schons 2021 [76], Strandkvist 2019 [81]
<b>Age</b> 	Bernabeu-Mora 2017 [93], de Castro 2016 [32], de Castro 2020 [33], Mohan 2020 [112], Park 2020 [64], Qurashi 2019 [67], Van Hove 2021 [84], Yazici 2021 [87]	Eymir 2021 [39]
<b>Pulmonary function</b> 	Butcher 2004 [27], de Castro 2020 [33], Mkacher, 2016 [111], Yazici 2021 [87]	Eisner 2008 [38], Eymir 2021 [39], Jirange 2021 [47], Ozalevli 2011 [61], Van Hove 2021 [84], Voica 2016 [86]
<b>Functional capacity</b> 	Almeida 2020 [30], Bernabeu-Mora 2017 [93], Iwakura 2016 [43], McLay 2020 [109], Mohan 2020 [112], Yazici 2021 [87]	Eymir 2021 [39]
<b>Body composition</b> 	Mkacher 2016 [111], Park 2020 [64], Voica 2016 [86]	de Castro 2020 [33], Eisner 2007 [100], Qurashi 2019 [67]
<b>Dyspnea</b> 	Mkacher, 2016 [111], Oliveira 2017 [60], McLay 2020 [109], Yazici 2021 [87]	Eymir 2021 [39]
<b>Physical activity</b> 	Iwakura 2016 [43], Eymir 2021 [39]	de Castro 2020 [33], Roig 2011 [71]
<b>Cognitive function</b> 	Park 2020 [64], Gore 2021 [41]	Van Hove 2021 [84]
<b>Quality of life</b> 	Bernabeu-Mora 2017 [93], Yazici 2021 [87]	
<b>Inflammatory markers</b> 	Tudorache 2015 [83], Crişan 2015 [36]	
<b>Oxygen Therapy</b> 	Park 2020 [64]	
<b>Anxiety</b> 	Crişan 2015 [36]	
<b>Depression</b> 	Crişan 2015 [36]	
<b>Visual acuity</b> 	Strandkvist 2019 [81]	
<b>Plasma markers</b> 	Park 2020 [64]	
<b>Diabete</b> 	Park 2020 [64]	

## Annexe 6. Associations entre le composant « stabilité dynamique » et les facteurs cliniques

Clinical factors		Studies that reported significant correlations	Studies that did not report significant correlations
<b>Functional capacity</b>		Butcher 2012 [95], de Castro 2016 [32], de Castro 2020 [33], Eymir 2021 [39], Liwsrisakun 2019 [106], McLay 2020 [109], Mkacher 2016 [111]	
<b>Respiratory function</b>		Butcher 2004 [27], de Castro 2020 [33], Mkacher 2016 [111], Singh 2019 [78]	Al Haddad 2016 [28], Eymir 2021 [39]
<b>Muscle strength</b>		Butcher 2012 [95], de Castro 2016 [32], de Castro 2020 [33], Eymir 2021 [39], Kovelis 2019 [103], Schons 2021 [76]	
<b>Body composition</b>		Jácome 2014 [102], Mkacher 2016 [111], Riaz 2021 [68], Voica 2016 [86]	Benton 2010 [92]
<b>Dyspnea</b>		McLay 2020 [109], Mkacher 2016 [111]	Eymir 2021 [39]
<b>Inflammatory markers</b>		Crişan 2015 [36], Tudorache 2015 [83]	
<b>Anxiety</b>		Crişan 2015 [36], Jácome 2014 [102]	
<b>Depression</b>		Crişan 2015 [36], Jácome 2014 [102]	
<b>Restriction in daily activities</b>		Jácome 2014 [102], Roig 2010 [70]	
<b>Daily physical activity</b>		Matkovic 2020 [108], Eymir 2021 [39]	
<b>Number of medications</b>		Jácome 2014 [102]	
<b>Saturation in oxygen</b>		Al Haddad 2016 [28]	
<b>Quality of life</b>		Albarrati 2016 [29]	

## Original Investigation

## Characteristics and Predictors of Postural Control Impairment in Patients With COPD Participating in a Pulmonary Rehabilitation Program

Romain Pichon, MSc, PT; Mathieu Ménard, PhD, Dip.Ost; Diane Haering, PhD; Armel Crétual, PhD; Marc Beaumont, PhD, PT

**Purpose:** Postural control impairment has been identified as a potential extrarespiratory manifestation in patients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). The aims of this study were to identify clinical factors that characterize patients with reduced postural control, to examine the correlation between clinical factors and postural control and to determine predictors of an impaired postural control among COPD participants enrolled in a pulmonary rehabilitation (PR) program.

**Methods:** This study is a secondary analysis of an observational study (PARACHUTE). The baseline assessment of the PR program was used for the analysis. Postural control impairment was defined using the Brief BESTest score (BBT).

**Results:** Participants ( $n = 73$ ) were included in the analysis, 43 of them were classified in the reduced postural control group. The between-group comparison (non-reduced vs reduced postural control) identified differences for partial pressure in oxygen ( $\text{PaO}_2$ ), Saint George Respiratory Questionnaire (SGRQ) total score and subscores (SGRQ-Symptoms, SGRQ-Activities, and SGRQ-Impact), COPD assessment test (CAT), and anxiety score of the Hospital Anxiety and Depression Scale. The BBT score was significantly correlated with maximal inspiratory pressure (MIP), SGRQ, SGRQ-Symptoms, SGRQ-Impact, Falls Efficacy Scale, modified Medical Research Council Scale, 6-min walk test, and  $\text{PaO}_2$ . Logistic regression identified SGRQ-Symptoms,  $\text{PaO}_2$ , MIP, and body mass index (BMI) as predictors of the presence of reduced postural control.

**Conclusion:** Low quality of life (QoL) and  $\text{PaO}_2$  and high anxiety seem to be discriminative characteristics of patients with COPD with reduced postural control. Furthermore, QoL,  $\text{PaO}_2$ , inspiratory muscle strength, and BMI seem to be acceptable predictors of the presence of postural control impairment.

**Key Words:** chronic obstructive pulmonary disease • postural balance • pulmonary rehabilitation

Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is a common, preventable, and treatable pathology that is characterized by persistent respiratory symptoms and

## KEY PERSPECTIVE

- The identification of discriminative and predictive parameters among classically assessed factors in pulmonary rehabilitation could help the detection of postural control impairment in participants with chronic obstructive pulmonary disease (COPD).
- Clinicians could use identified discriminative characteristics and/or clinical factors predictors to guide their clinical reasoning on postural control impairment in patients with COPD.
- Future research is needed to investigate the effect of specific interventions aiming to modify identified predictors on postural control in patients with COPD.

airflow limitation.<sup>1</sup> According to the World Health Organization, COPD was the third highest cause of mortality worldwide in 2019.<sup>2</sup> The evolution of COPD is not limited to respiratory symptoms: comorbidities are extremely frequent during the evolution of the disease,<sup>3</sup> and increase the impact on the quality of life (QoL) of patients with COPD.<sup>4</sup> Among these comorbidities, the impairment of postural control has been described as one important extrarespiratory manifestation for these patients.<sup>5</sup>

Postural control is a complex system, which manages the position of the body in space for the dual purposes of stability and orientation.<sup>6</sup> The postural control of patients with COPD has been documented by numerous experimental studies and three systematic reviews have highlighted the impairment of postural control of people with COPD compared with control participants.<sup>7-9</sup> However, the mechanisms behind and the potential consequences of postural control alteration are only partially known.<sup>8,9</sup>

Pulmonary rehabilitation (PR) is one of the major treatments for people with COPD<sup>10</sup> and consists of a comprehensive, individualized intervention based on thorough assessment of identifiable treatable traits.<sup>11,12</sup> Exercise training and therapeutic education are considered as cornerstones of PR and various interventions are delivered in addition to fit patient needs.<sup>12</sup> The initial evaluation of a PR program must be holistic to realize an overview of patient strengths, impairments, and needs. To this purpose, a wide range of areas are assessed during this evaluation (eg, pulmonary function, symptoms, exercise capacity, muscular function, and QoL).<sup>11</sup>

The latest American Thoracic Society/European Respiratory Society statement on PR recommended to include the evaluation of postural control in the initial assessment.<sup>13</sup> However, no specific tests are recommended in the guidelines and a comprehensive assessment of postural control can be complex, time-consuming, and is not usually performed as a first-line procedure in patients with COPD.<sup>14</sup>

**Author Affiliations:** Institut de Formation en Pédiatrie-Podologie, Ergothérapie et Kinésithérapie (IFPEK), Rennes, France (Mr Pichon); M2S Laboratory, University Rennes 2, Rennes, France (Mr Pichon and Drs Ménard, Haering, and Crétual); Institut d'Ostéopathie de Rennes-Bretagne (IO-RB), Bruz, France (Dr Ménard); and Pulmonary Rehabilitation Unit, Morlaix, France, and Inserm, Univ Brest, CHRU Brest, UMR 1304, GETBO, Brest, France (Dr Beaumont).

The authors declare no conflicts of interest.

**Correspondence:** Romain Pichon, MSc, PT, Institut de Formation en Pédiatrie-Podologie, Ergothérapie et Kinésithérapie (IFPEK), 12 Rue Jean Louis Bertrand, 35000 Rennes, France (r.pichon@ifpek.org).

Copyright © 2022 Wolters Kluwer Health, Inc. All rights reserved.

DOI: 10.1097/HCR.0000000000000762

Although not all people with COPD have impaired postural control (an estimated 40-45% have reduced postural control<sup>15,16</sup>), identifying the characteristics and predictors of reduced postural control could facilitate the detection and the classification of at-risk patients and thus individuals who require a comprehensive postural control assessment. In addition, exploring the correlation between postural control in patients with COPD and various clinical factors could be of interest to clarify or support hypotheses about the underlying mechanisms (eg, muscle function or dyspnea<sup>9</sup>) and impacts of postural control impairment (eg, on activities of daily living or QoL<sup>15</sup>).

The aims of this study were to identify clinical factors that characterize patients with reduced postural control, to identify predictors of reduced postural control in these patients, and to investigate any correlation between postural control and clinical factors in patients with COPD.

## METHODS

This study is a secondary cross-sectional analysis of the PARACHUTE study,<sup>17</sup> conducted in the PR unit of the Centre Hospitalier des Pays de Morlaix, from January 2019 to December 2019. The purpose of the study was to determine the effect of a PR program on fear of falling of patients with COPD. This research was approved by the ethics committee of the Centre Hospitalier Universitaire de Brest (number 29BRC18.0246) and was registered on Clinical Trials (number NCT03793452).

Inclusion criteria were as follows: patients >18 yr with a confirmed diagnostic of COPD stages 2-4 (A-D) according to the GOLD criteria.<sup>1</sup> Exclusion criteria were: (1) patients with a diagnosed pathology impairing balance, (2) pneumonectomy or lobectomy in the past 6 mo, (3) refusal of participation, (4) patients with an incapacity to follow a standard rehabilitation program, (5) pregnant or breast-feeding woman, and (6) patients under tutorship or curatorship.

Participants participated on a 4-wk program in the PR unit of the Centre Hospitalier des Pays de Morlaix. Patients were assessed at the beginning and at the end of the PR program. The study of the association between postural control and clinical factors was performed on baseline data.

## ASSESSMENTS

The postural control was assessed using the Brief BESTest (BBT), which is a composite functional tool.<sup>18</sup> The BBT is a derivative of the BESTest, an assessment aiming to investigate every subcomponent of postural control.<sup>19,20</sup> The BBT explores a significant number of subcomponents of postural control (seven out of nine according to the operational definition of postural control outlined by Sibley et al<sup>21</sup>). The BBT is valid<sup>22</sup> and reliable<sup>22,23</sup> in the COPD population. Normative values were reported by O'Hoski et al<sup>24</sup> for people with aged 50-90 yr.

Every participant realized a spirometry with forced expiratory volume in 1 sec and forced vital capacity maneuvers after bronchodilators, in accordance to international recommendations.<sup>25</sup>

An arterial puncture was performed for arterial blood gas analysis to obtain the resting partial pressure of oxygen in blood (PaO<sub>2</sub>) and the partial pressure of carbon dioxide in blood.

Inspiratory muscle strength was obtained by assessing the maximal inspiratory pressure (MIP) measured using a Micro RPM (Micro Medical), following the European Respiratory Society statement on respiratory muscle testing.<sup>26</sup>

Isometric maximal voluntary quadriceps strength and quadriceps endurance were measured using a hand-held MicroFET 2 (Hoggan) dynamometer, following a standardized, validated, and reliable procedure.<sup>27,28</sup>

Exercise capacity was measured using the 6-min walk test and the 1-min sit-to-stand test. The 6-min walk test is a self-paced walking test, which measures the distance covered by an individual over the course of 6 min. This is a valid and reliable tool for assessing exercise capacity in people with COPD.<sup>29</sup> The 1-min sit-to-stand test assessed the ability to change from a sitting to a standing position repeatedly, for 1 min. The 1-min sit-to-stand test is a relevant and reliable tool for assessing functional status of patients with COPD.<sup>30</sup>

Dyspnea was evaluated in a multidimensional way with the Dyspnea-12 questionnaire, the Modified Medical Research Council dyspnea Scale, the London Chest Activity of Daily Living, and the Multidimensional Dyspnea Profile (conducted at the end of the 6-min walk test). The Dyspnea-12 is a questionnaire investigating the affective and sensory dimensions of the dyspnea.<sup>31</sup> The Modified Medical Research Council is a 0- to 4-point scale, assessing the global impact of dyspnea in the life of patients.<sup>32</sup> The London Chest Activity of Daily Living is a tool designed to assess the impact of dyspnea in 15 different activities of daily living.<sup>33</sup> The Multidimensional Dyspnea Profile is a composite tool that assessed the affective and sensory dimension of dyspnea related to an activity.<sup>34</sup> The Multidimensional Dyspnea Profile is separated into three different scales ("A1" and "A2" regarding affective dimension of dyspnea and "QS" regarding the sensory dimension of dyspnea). These questionnaires were validated in the COPD population and translated into French.<sup>35,36</sup>

The QoL was measured with both the Saint George Respiratory Questionnaire (SGRQ) and the COPD assessment test (CAT). The SGRQ is a questionnaire designed to measure the impact on overall health, daily life, and perceived well-being in patients with obstructive airway disease.<sup>37</sup> The SGRQ gives three subscores (symptoms, activities, and impacts) and a total score. Each score is given on a 0- to 100-point scale (a higher score indicates a higher impact of the disease in the QoL of patients). The CAT is a questionnaire assessing the impact of COPD on health status.<sup>38</sup> The CAT totals eight items—each item is scored on a 1- to 5-point scale. Range of CAT scores is from 0 to 40, where higher scores denote a more severe impact of COPD on patient life.

Anxiety and depression were evaluated using the Hospital Anxiety and Depression Scale.<sup>39</sup> It consists of 14 items, 7 for anxiety disorders and 7 for depressive disorders. Each item is scored between 0 and 3 and a score out of 21 is given for each dimension. A higher score indicates a higher risk of anxiety or depressive symptoms.

Patients were asked to report falls on the 12-mo period before the inclusion in the program. Fear of falling was evaluated using the Fall Efficacy Scale-International,<sup>40</sup> a self-administered questionnaire designed to assess the fear of falling that has been widely used in previous research in the COPD population.<sup>41,42</sup> It consists of 16 items, scored from 1 to 4 by the patient. The total score is therefore between 16 and 64 points. A high score indicates a high fear of falling.

## STATISTICAL ANALYSIS

Descriptive data were presented as mean ± SD or as median (IQR) according to the nature of the variable and the distribution. The normality of the distribution was tested using the Shapiro-Wilk test.

Using the normative values of the BBT,<sup>24</sup> a reduction of postural control was defined by a BBT score below the

lower limit of the 95% CI to the mean BBT score for the decade. Thus, participants were classified into the reduced postural control group or the non-reduced postural control group. The analysis of the differences between these two groups was performed using the independent Student *t* test, the Mann-Whitney *U* test, or the  $\chi^2$ . The effect size for between-group differences was calculated using Cohen's *d* or the rank biserial correlation.

The correlation analysis between the postural control score (BBT) and the clinical factors was performed using the Pearson correlation coefficient or Spearman's rank correlation coefficient.

A binomial logistic regression was performed with the presence or not of reduced postural control as the dependent variable. A forward stepwise approach was used to determine the best regression model. Independent variables were selected from the between-groups analysis and the correlation analysis. The number of independent variables selected was adapted to the sample size, using the rule of thumb of a minimum of 10 participants/predictor.<sup>43</sup> Selected independent variables were successively incorporated into the model to obtain the lowest possible Akaike information criterion and the higher possible Nagelneke *R*<sup>2</sup>. A receiver operating characteristic curve was performed to evaluate the sensitivity and specificity of the regression model.

A *P* value < .05 was considered statistically significant. The statistical analysis was performed using Jamovi 1.8.1.0 (The Jamovi Project).

## RESULTS

Patients (*n* = 80) were consecutively included in the PARACHUTE study. Seven patients were excluded from the final analysis: four participants did not respect eligibility criteria and three did not perform the postural control assessment at baseline. Thus, a total of 73 participants were included in the analysis (Table 1). Participants (*n* = 43) presented reduced postural control as previously defined in study methods, 26 participants were considered having non-reduced postural control, and four participants were not classified (no normative data available for their age decade). The between-group comparison (reduced postural control vs non-reduced postural control) showed significant differences in the following clinical factors: PaO<sub>2</sub> (*P* = .019; *d* = 0.62), SGRQ-total (*P* = .004; *d* = -0.75), SGRQ-Symptoms (*P* < .001; *d* = -0.88), SGRQ-Activities (*P* = .020; *d* = -0.59), SGRQ-Impacts (*P* = .045; *d* = -0.51), CAT (*P* = .040; *d* = -0.52), and Anxiety score of Hospital Anxiety and Depression Scale (*P* = .015; *d* = -0.63). The difference was not significant for body mass index (BMI) (*P* = .072; *d* = -0.45) and MIP (*P* = .094; *d* = 0.42).

Significant correlations between postural control (BBT score) and clinical factors are shown in Table 2. This analysis was performed for all participants, independently of postural control status.

## LOGISTIC REGRESSION

The logistic regression was performed to determine predictive factors for presenting reduced postural control. The best logistic regression model included the SGRQ-Symptoms (OR = 1.05; 95% CI, 1.02-1.08, *P* = .003), PaO<sub>2</sub> (OR = 0.93; 95% CI, 0.87-0.99, *P* = .020), MIP (OR = 0.96; 95% CI, 0.93-0.99, *P* = .020) and BMI (OR = 1.15; 95% CI, 1.01-1.31, *P* = .034). This model was the best in accordance with the *a priori* set criteria (Akaike information criterion = 69.6; Nagelneke *R*<sup>2</sup> = 0.44). Setting the cut-off at 0.67, the model sensibility was 74% and specificity was 74%, the area under the curve was 0.84 (Figure 1).

The final equation is the following:

$$P(\text{reduced postural control}) = 2.4201 + 0.0481 \times \text{SGRQ-Symptoms} - 0.0771 \times \text{PaO}_2 - 0.0390 \times \text{MIP} + 0.1418 \times \text{BMI}$$

where "P (reduced postural control)" is the probability of presenting reduced postural control.

The estimated marginal means for each predictor are represented in Figure 2.

## DISCUSSION

The main aim of this study was to identify clinical factors that characterize patients with COPD with reduced postural control: these patients presented significantly impaired QoL scores, lower PaO<sub>2</sub>, and higher anxiety score. Second, the analysis of the correlation between postural control and clinical factors identified significant associations with QoL, PaO<sub>2</sub>, inspiratory muscle strength, dyspnea, exercise capacity, and fear of falling. Lastly, predictive clinical factors of an impaired postural control were symptom-related QoL, PaO<sub>2</sub>, inspiratory muscle strength, and BMI.

Previous research has shown that postural control impairment is frequent in patients with COPD.<sup>15,16</sup> In the present study, nearly 6 of 10 patients with COPD were considered to have reduced postural control. So, this study adds to the evidence that postural control impairment is very common in patients with COPD, and that this domain must be explored by clinicians with regard to its consequences in terms of falling<sup>44</sup> and performing daily tasks.<sup>15</sup>

This study identified that the QoL is significantly more impaired in patients with COPD with altered postural control. The QoL scores were also correlated with postural control, and the symptoms subscore of the SGRQ was identified as the strongest predictor of the presence of reduced postural control in these patients. The reduction of QoL in patients with impaired postural control and the significant correlation could suggest that postural control impairment has a negative impact on daily lives of people with COPD. However, the identification of the SGRQ-Symptoms subscore as one of the predictors of reduced postural control could implicate that the relation between these parameters is bilateral: on the one hand, it seems probable that a reduction in postural control induces an impairment in QoL. But on the other hand, symptoms (such as dyspnea) and their perceived consequences have the potential to interact negatively with postural control, as suggested by previous research.<sup>9</sup>

Some authors have hypothesized that hypoxemia could be an underlying mechanism of postural control impairment in COPD<sup>45</sup>; however, few studies on postural control included a direct measure of arterial blood pressure in oxygen. Ozalevli et al<sup>46</sup> reported a significant correlation between PaO<sub>2</sub> and the Berg Balance Scale (*r* = 0.28) in patients with COPD, which is in line with the present study. According to our results, PaO<sub>2</sub> is also a significant predictor of the presence of reduced postural control in patients with COPD: any decrease in PaO<sub>2</sub> increases the risk of presenting postural control impairment in the latter.

The results of this study suggest that inspiratory muscle strength could play a role in postural control impairment in COPD. The presence of a reduced inspiratory strength could increase the risk of presenting postural control impairment in patients with COPD. This is in line with previous clinical research<sup>47</sup> and is consistent with laboratory studies that highlighted the role of inspiratory muscles in postural control function.<sup>48,49</sup> This finding is potentially important for the management of patients with COPD with decreased postural control function, as inspiratory muscle training could be a relevant intervention for them.

**Table 1**  
**Characteristics of Participants According to Postural Control Status<sup>a</sup>**

Variables	All Participants (n = 73)	Non-reduced Postural Control Group (n = 26)	Reduced Postural Control Group (n = 43)	Between-Group Comparison (Non-reduced vs Reduced Postural Control)	
				P Value	Effect Size
Age, yr	66 (59, 70)	67 (62, 71)	65 (27, 69.5)	.225 <sup>b</sup>	0.30 <sup>c</sup>
BMI, kg/m <sup>2</sup>	26.6 ± 5.9	24.8 ± 6.5	27.5 ± 5.5	.072 <sup>b</sup>	-0.45 <sup>c</sup>
BBT	18.0 ± 3.7	21.3 ± 1.7	15.9 ± 3.2	<.001 <sup>d</sup>	0.88 <sup>e</sup>
FEV <sub>1</sub> , % predicted	40 (27, 55)	37 (27, 60.5)	42 (28, 50.5)	.877 <sup>d</sup>	0.02 <sup>c</sup>
PaO <sub>2</sub> , mm Hg	67.5 ± 10.1	71.2 ± 11.2	65.3 ± 8.6	.019 <sup>b</sup>	0.62 <sup>c</sup>
PaCO <sub>2</sub> , mm Hg	42 (39, 46.8)	42 (39.8, 45.3)	43 (39, 47.8)	.487 <sup>d</sup>	0.10 <sup>e</sup>
MIP, cmH <sub>2</sub> O	70.6 ± 24.2	75.3 ± 24.5	65.6 ± 22.2	.094 <sup>b</sup>	0.42 <sup>c</sup>
QStrength, Nm	248 (174, 355)	193 (152, 377)	263 (211, 327)	.233 <sup>d</sup>	0.18 <sup>e</sup>
QEnd, sec	39.3 (28.6, 47)	36.5 (28.5, 46)	41 (29, 48.5)	.383 <sup>d</sup>	0.13 <sup>e</sup>
6MWT, m	395 ± 109	411 ± 116	380 ± 102	.253 <sup>b</sup>	0.28 <sup>c</sup>
1STST, repetitions	21.3 ± 6.0	20.7 ± 5.7	21.2 ± 6.4	.725 <sup>b</sup>	0.08 <sup>c</sup>
D12	16.6 ± 8.74	14.5 ± 8.4	17.8 ± 8.6	.125 <sup>b</sup>	-0.39 <sup>c</sup>
MMRC	2 (1, 3)	2 (1, 2.75)	2 (1, 3)	.400 <sup>d</sup>	0.12 <sup>e</sup>
LCADL	25 (20, 35)	26 (20.3, 33.5)	24 (20, 35)	.965 <sup>d</sup>	0.007 <sup>e</sup>
MDP A1	4 (3, 5.25)	4 (3, 5)	4 (3, 5.75)	.298 <sup>d</sup>	0.15 <sup>e</sup>
MDP A2	1.5 (0, 6.75)	1 (0, 6.5)	2 (0, 6)	.660 <sup>d</sup>	0.07 <sup>e</sup>
MDP QS	9 (4, 17.8)	7 (2.5, 11.8)	11 (5.5, 18)	.057 <sup>d</sup>	0.31 <sup>e</sup>
SGRQ total	51.4 ± 15.5	45.2 ± 16.6	55.9 ± 12.8	.004 <sup>b</sup>	-0.75 <sup>c</sup>
SGRQ-S	53.2 ± 21.5	43.3 ± 22.8	60.7 ± 17.6	<.001 <sup>b</sup>	-0.88 <sup>c</sup>
SGRQ-A	70.4 ± 18.5	59.9 (49.5, 79.5)	73.0 (65.8, 86.1)	.020 <sup>b</sup>	-0.59 <sup>c</sup>
SGRQ-I	40.9 ± 17.7	30.1 (20.8, 49.8)	42.3 (33.9, 53.2)	.045 <sup>b</sup>	-0.51 <sup>c</sup>
CAT	19.0 ± 6.8	17.0 ± 7.4	20.3 ± 5.7	.040 <sup>b</sup>	-0.52 <sup>c</sup>
HAD-D	7.1 ± 4.1	6.4 ± 3.8	7.9 ± 4.1	.118 <sup>b</sup>	-0.39 <sup>c</sup>
HAD-A	8.6 ± 4.1	7.0 ± 3.6	9.4 ± 4.0	.015 <sup>b</sup>	-0.63 <sup>c</sup>
FES-I	23 (19, 36)	21.5 (18, 32)	26 (20, 36)	.238 <sup>d</sup>	0.17 <sup>e</sup>
Falls	0 fall n = 53	0 fall n = 17	0 fall n = 32	.631 <sup>f</sup>	NA
	1 fall n = 13	1 fall n = 7	1 fall n = 6		
	2 falls n = 2	2 falls n = 1	2 falls n = 1		
	3 falls n = 2	3 falls n = 1	3 falls n = 1		
	4 falls n = 1	4 falls n = 0	4 falls n = 1		

Abbreviations: BBT, Brief BESTest; BMI, body mass index; CAT, COPD assessment test; D12, Dyspnea-12; FES-I, Falls Efficacy Scale-International; FEV<sub>1</sub>, forced expiratory volume in 1 sec; HAD, Hospital Anxiety and Depression Scale (A, anxiety score; D, depression score); LCADL, London Chest Activity of Daily Living Questionnaire; MDP, Multidimensional Dyspnea Profile; MIP, maximal inspiratory pressure; MMRC, Modified Medical Research Council Scale; NA, not applicable; PaCO<sub>2</sub>, partial arterial pressure in carbon dioxide; PaO<sub>2</sub>, partial arterial pressure in oxygen; QEnd, quadriceps endurance; QStrength, quadriceps strength; SGRQ, Saint George Respiratory Questionnaire (A, activity subscore; I, Impact subscore; S, Symptoms sub-score; total, total score); 1STST, 1 min sit-to-stand test; 6MWT, 6 min walk-test.

<sup>a</sup>Data are presented as mean ± SD or median (IQR) or n. *Italicized* indicates P < .05.

<sup>b</sup>Independent Student t test.

<sup>c</sup>Cohen effect size.

<sup>d</sup>Mann-Whitney test.

<sup>e</sup>Rank biserial correlation.

<sup>f</sup>Fisher's exact test.

While balance training or functional exercises are the interventions with the highest level of evidence,<sup>50,51</sup> previous studies in the elderly<sup>52</sup> and in people with COPD<sup>53</sup>

have shown that inspiratory muscle training could be a potential relevant intervention for postural control enhancement.

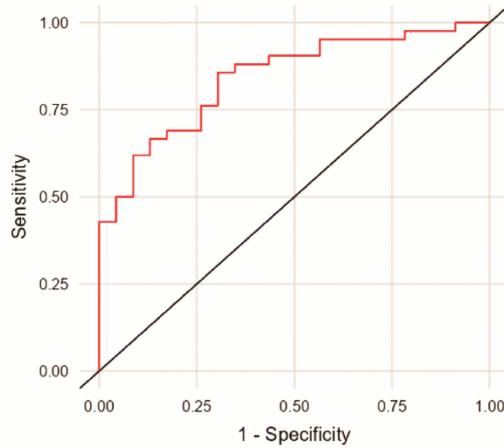
Variables	BBT
FES-I	-0.30 <sup>b</sup>
MIP	0.34 <sup>b</sup>
MMRC	-0.26 <sup>c</sup>
SGRQ-I	-0.26 <sup>c</sup>
SGRQ-S	-0.32 <sup>b</sup>
SGRQ total	-0.31 <sup>b</sup>
PaO <sub>2</sub>	0.26 <sup>c</sup>
GMWT	0.27 <sup>c</sup>

Abbreviations: BBT, Brief BESTest; FES-I, Falls Efficacy Scale-International; MIP, maximal inspiratory pressure; MMRC, Modified Medical Research Council Scale; PaO<sub>2</sub>, partial arterial pressure in oxygen; SGRQ, Saint George Respiratory Questionnaire (I, Impact subscore; S, Symptoms subscore); GMWT, 6-min walk test.

<sup>a</sup>All correlations reported were calculated using Spearman's  $\rho$ .

<sup>b</sup> $P < .01$ .

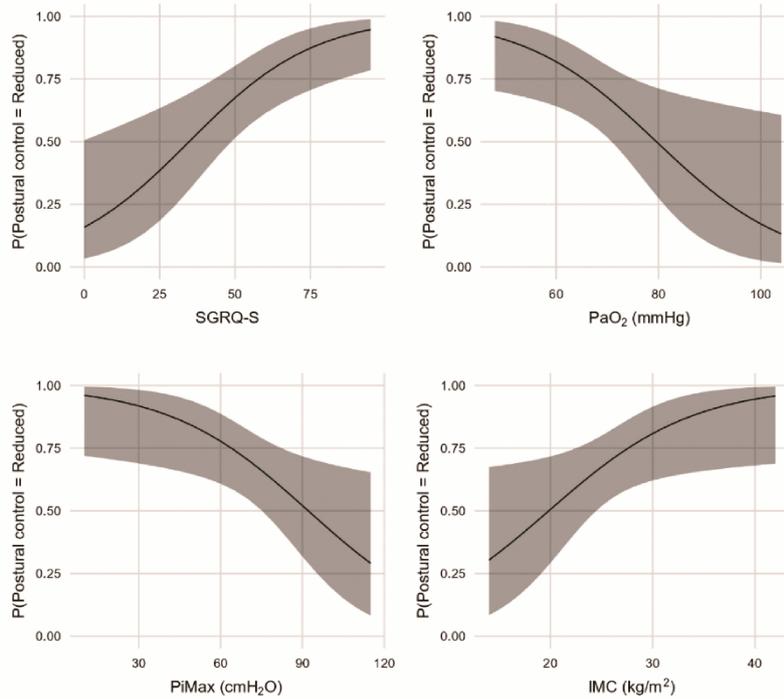
<sup>c</sup> $P < .05$ .



**Figure 1.** The ROC curve for the logistic regression model. ROC indicates receiver operating characteristic. figure is available in color online ([www.jcrjournal.com](http://www.jcrjournal.com)).

Our results identified that the BMI is a significant predictor of postural control impairment in patients with COPD: in our analysis any increase in BMI increases the risk of presenting reduced postural control. Using a similar study

design, Jácome et al reported BMI as a significant predictor of reduced postural control with comparable odds ratio (OR = 1.12 in Jácome study vs 1.16 in the present investigation).<sup>16</sup>



**Figure 2.** The estimated marginal means of reduced postural control are presented for each identified predictor. The gray zone represents the 95% CI. Abbreviations: BMI, body mass index; MIP, maximal inspiratory pressure; PaO<sub>2</sub>, partial arterial pressure in oxygen; SGRQ-S, Saint George Respiratory Questionnaire-Symptoms score.

Even if identified predictors are the result of a statistical analysis, it could be hypothesized that positive changes in these predictor scores could induce interesting modifications in postural control of patients with COPD. Future studies should investigate the impact on postural control of changes in QoL, PaO<sub>2</sub>, inspiratory muscle strength, or BMI.

### LIMITATIONS

First, this is a secondary analysis of a study designed for a different purpose. It implicates that the sample size calculation was not tailored for this purpose and that the number of included participants is small for this type of analysis. However, for logistic regression analysis, some authors suggested a sample size of 10 participants/predictor,<sup>43</sup> which is the case here. In any case, the equation needs to be validated with a larger sample size and confirmed prospectively. Second, participants were voluntary patients participating in a PR program. This does not represent all patients with COPD and the extrapolation to the whole COPD population should be confirmed in future research with a more representative panel.

### CONCLUSION

In the context of a PR program, this study shows that patients with COPD with reduced postural control present characteristics in several clinical factors that distinguish them from patients with non-impaired postural control. Symptom-related QoL, PaO<sub>2</sub>, MIP, and BMI were identified as predictors of an impaired postural control in these patients.

### ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to thank Dr Karim Jamal for his expert input on postural control and Beverly McClure and John Kerr for their help in the proofreading and correcting the language of the manuscript. The authors would also like to thank Dr Catherine Le Ber, Loïc Péran, and Anne-Cécile Berriet from the pulmonary rehabilitation unit of the Centre Hospitalier des Pays de Morlaix for the work on the original study and the active collaboration on the present study.

### REFERENCES

1. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the Diagnosis, Management, and Prevention of COPD, 2020 Report. <https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/11/GOLD-2020-REPORT-ver1.0wms.pdf>. Published 2020.
2. World Health Organization. Global health estimates: Leading causes of death. <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghle-leading-causes-of-death>. Published 2020.

3. Putcha N, Drummond MB, Wise RA, Hansel NN. Comorbidities and chronic obstructive pulmonary disease: prevalence, influence on outcomes, and management. *Semin Respir Crit Care Med*. 2015;36(4):575-591.
4. Huber MB, Wacker ME, Vogelmeier CF, Leidl R. Comorbid influences on generic health-related quality of life in COPD: a systematic review. *PLoS One*. 2015;10(7):e0132670. doi:10.1371/journal.pone.0132670.
5. Roig M, Eng JJ, MacIntyre DL, Road JD, Reid WD. Postural control is impaired in people with COPD: an observational study. *Physiother Can*. 2011;63(4):423-431.
6. Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor Control: Translating Research Into Clinical Practice*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins; 2007.
7. Porto E, Castro A, Schmidt V, et al. Postural control in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2015;10:1233-1239.
8. Chuatrakoon B, Ngai SPC, Sungkarat S, Uthairak S. Balance impairment and effectiveness of exercise intervention in chronic obstructive pulmonary disease—a systematic review. *Arch Phys Med Rehabil*. 2020;101(9):1590-1602.
9. Loughran KJ, Atkinson G, Beauchamp MK, et al. Balance impairment in individuals with COPD: a systematic review with meta-analysis. *Thorax*. 2020;75(7):539-546.
10. McCarthy B, Casey D, Devane D, Murphy K, Murphy E, Lacasse Y. Pulmonary rehabilitation for chronic obstructive pulmonary disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;(2):CD003793. doi:10.1002/14651858.CD003793.pub3.
11. Spruit MA, Singh SJ, Garvey C, et al. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013;188(8):e13-e64.
12. Wouters EFM, Wouters BBREF, Augustin IML, Houben-Wilke S, Vanfleteren LEGW, Franssen FME. Personalised pulmonary rehabilitation in COPD. *Eur Respir Rev*. 2018;27(147):170125.
13. Garvey C, Bayles MP, Hamm LF, et al. Pulmonary rehabilitation exercise prescription in chronic obstructive pulmonary disease: review of selected guidelines. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2016;36(2):75-83.
14. Beauchamp MK. Balance assessment in people with COPD: an evidence-based guide. *Chron Respir Dis*. 2018;16:1479973118820311.
15. Cruz J, Marques A, Jácome C, Gabriel R, Figueiredo D. Global functioning of COPD patients with and without functional balance impairment: an exploratory analysis based on the ICF framework. *COPD*. 2015;12(2):207-216. doi:10.3109/15412555.2014.933793.
16. Jácome C, Cruz J, Gabriel R, Figueiredo D, Marques A. Functional balance in older adults with chronic obstructive pulmonary disease. *J Aging Phys Act*. 2014;22(3):357-363.
17. Berriet AC, Beaumont M, Peran L, Le Ber C, Couturaud F. Effects of pulmonary rehabilitation on fear of falling in chronic obstructive pulmonary disease (COPD) patients: an observational study. *Respir Med Res*. 2022;82:100932. doi:10.1016/j.resmer.2022.100932.
18. Padgett PK, Jacobs JV, Kasser SL. Is the BESTest at its best? A suggested brief version based on interrater reliability, validity, internal consistency, and theoretical construct. *Phys Ther*. 2012;92(9):1197-1207.
19. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006;35(suppl 2):ii7-ii11.
20. Horak F, Wrisley D, Frank J. The Balance Evaluation Systems Test (BESTest) to differentiate balance deficits. *Phys Ther*. 2009;89:484-498.
21. Sibley KM, Beauchamp MK, Van Ooteghem K, Straus SE, Jaglal SB. Using the systems framework for postural control to analyze the components of balance evaluated in standardized balance measures: a scoping review. *Arch Phys Med Rehabil*. 2015;96(1):122-132.e29.
22. Jácome C, Cruz J, Oliveira A, Marques A. Validity, reliability, and ability to identify fall status of the Berg Balance Scale, BESTest, Mini-BESTest, and Brief-BESTest in patients with COPD. *Phys Ther*. 2016;96(11):1807-1815.
23. Leung RWM, Alison JA, McKeough ZJ. Inter-rater and intra-rater reliability of the Brief-BESTest in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Rehabil*. 2019;33(1):104-112.
24. O'Hoski S, Winship B, Herridge L, et al. Increasing the clinical utility of the BESTest, Mini-BESTest, and Brief-BESTest: normative

- values in Canadian Adults who are healthy and aged 50 years or older. *Phys Ther*. 2014;94(3):334-342.
25. Graham BL, Steenbruggen I, Miller MR, et al. Standardization of Spirometry 2019 Update. An official American Thoracic Society and European Respiratory Society Technical Statement. *Am J Respir Crit Care Med*. 2019;200(8):e70-e88.
  26. Laveneziana P, Albuquerque A, Aliverti A, et al. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *Eur Respir J*. 2019;53(6):1801214.
  27. Bachasson D, Villiot-Danger E, Verges S, et al. Maximal isometric voluntary quadriceps strength assessment in COPD [in French]. *Rev Mal Respir*. 2014;31(8):765-770. doi:10.1016/j.rmr.2013.10.645.
  28. Beaumont M, Kerautret G, Peran L, Pichon R, Le Ber C, Cabillie M. Reproducibility of strength and endurance measurements of the quadriceps in patients with COPD [in French]. *Rev Mal Respir*. 2017;34(9):1000-1006.
  29. Bui KL, Nyberg A, Maltais F, Saey D. Functional tests in chronic obstructive pulmonary disease, part 2: measurement properties. *Ann Am Thorac Soc*. 2017;14(5):785-794.
  30. Vaidya T, Chambellan A, de Bisschop C. Sit-to-stand tests for COPD: a literature review. *Respir Med*. 2017;128:70-77.
  31. Yorke J, Moosavi SH, Shuldham C, Jones PW. Quantification of dyspnoea using descriptors: development and initial testing of the Dyspnoea-12. *Thorax*. 2010;65(1):21-26.
  32. Mahler DA, Wells CK. Evaluation of clinical methods for rating dyspnea. *Chest*. 1988;93(3):580-586.
  33. Garrod R, Bestall JC, Paul EA, Wedzicha JA, Jones PW. Development and validation of a standardized measure of activity of daily living in patients with severe COPD: the London Chest Activity of Daily Living scale (LCADL). *Respir Med*. 2000;94(6):589-596.
  34. Banzett RB, O'Donnell CR, Guilfoyle TE, et al. Multidimensional Dyspnea Profile: an instrument for clinical and laboratory research. *Eur Respir J*. 2015;45(6):1681-1691.
  35. Beaumont M, Couturaud F, Jégo F, et al. Validation of the French version of the London Chest Activity of Daily Living scale and the Dyspnea-12 questionnaire. *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 2018;13:1399-1405. doi:10.2147/COPD.S145048
  36. Gilet H, Pignier C, Aguilaniu B, et al. Psychometric validation of the Multidimensional Dyspnea Profile (Mdp) Questionnaire. *Value Health*. 2015;18(7):A712.
  37. Jones PW, Quirk FH, Baveystock CM. The St George's Respiratory Questionnaire. *Respir Med*. 1991;85(suppl B):25-31; discussion 33-37.
  38. Jones PW, Harding G, Berry P, Wiklund I, Chen WH, Kline Leidy N. Development and first validation of the COPD assessment test. *Eur Respir J*. 2009;34(3):648-654.
  39. Zigmond AS, Snaith RP. The Hospital Anxiety and Depression Scale. *Acta Psychiatr Scand*. 1983;67(6):361-370.
  40. Yardley L, Beyer N, Hauer K, Kempen G, Piot-Ziegler C, Todd C. Development and initial validation of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I). *Age Ageing*. 2005;34(6):614-619.
  41. Hellström K, Vahlberg B, Urell C, Emtner M. Fear of falling, fall-related self-efficacy, anxiety and depression in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *Clin Rehabil*. 2009;23(12):1136-1144.
  42. Oliveira CC, McGinley J, Lee AL, Irving LB, Denehy L. Fear of falling in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med*. 2015;109(4):483-489.
  43. Morgan BL, Voorhis CRWV. Understanding power and rules of thumb for determining sample sizes. *Tutor Quant Methods Psychol*. 2007;3(2):43-50.
  44. Pereira ACA, Xavier RF, Lopes AC, et al. The mini-balance evaluation system test can predict falls in clinically stable outpatients with COPD: a 12-mo prospective cohort study. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2019;39(6):391-396.
  45. Beauchamp MK, Brooks D, Goldstein RS. Deficits in postural control in individuals with COPD—emerging evidence for an important secondary impairment. *Multidiscip Respir Med*. 2010;5(6):417-421.
  46. Ozalevli S, Ilgin D, Narin S, Akkoçlu A. Association between disease-related factors and balance and falls among the elderly with COPD: a cross-sectional study. *Aging Clin Exp Res*. 2011;23(5-6):372-377.
  47. Janssens L, Brumagne S, McConnell AK, et al. Proprioceptive changes impair balance control in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS One*. 2013;8(3):e57949. doi:10.1371/journal.pone.0057949.
  48. Hodges PW, Gandevia SC. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *J Physiol*. 2000;522(pt 1):165-175.
  49. Hodges PW, Heijnen I, Gandevia SC. Postural activity of the diaphragm is reduced in humans when respiratory demand increases. *J Physiol*. 2001;537(pt 3):999-1008.
  50. Sherrington C, Fairhall NJ, Wallbank GK, et al. Exercise for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev*. 2019;1(1):CD012424. doi:10.1002/14651858.CD012424.pub2.
  51. Delbressine JM, Vaes AW, Goërtz YM, et al. Effects of exercise-based interventions on fall risk and balance in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 2020;40(3):152-163.
  52. Ferraro FV, Gavin JP, Wainwright TW, McConnell AK. Comparison of balance changes after inspiratory muscle or Otago exercise training. *PLoS One*. 2020;15(1):e0227379. doi:10.1371/journal.pone.0227379.
  53. Tounsi B, Acheche A, Lelard T, Tabka Z, Trabelsi Y, Ahmadi S. Effects of specific inspiratory muscle training combined with whole-body endurance training program on balance in COPD patients: randomized controlled trial. *PLoS One*. 2021;16(9):e0257595. doi:10.1371/journal.pone.0257595.
  54. Liwsrisakun C, Pothirat C, Chaiwong W, et al. Exercise performance as a predictor for balance impairment in COPD patients. *Medicina (Kaunas)*. 2019;55(5):171.

## Quantitative analysis of postural control of individuals with COPD during activities of daily living (ATTRACTION) : a study protocol

Romain Pichon, PT, MSc<sup>1,2</sup>, Mathieu Ménard, Dip.Ost, PhD<sup>2,3</sup>, Diane Hearing, PhD<sup>2</sup>, Graziella Brinchault, MD<sup>4</sup> and Arnel Créteil, PhD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut de Formation en Pédiatrie-Podologie, Ergothérapie et Kinésithérapie (IFPEK), Rennes, France, <sup>2</sup>University Rennes 2, M2S Laboratory - EA 7470, Rennes, France, <sup>3</sup>Institut d'Ostéopathie de Rennes - Bretagne (IO-RB), Bruz, France, <sup>4</sup>Pulmonology unit, Cardio-Respiratory Center, Pontchaillou University Hospital, Rennes, France

received : 11 April 2022  
accepted: 25 May 2022

ISSN: 2823-989X  
DOI: 10.52057/erj.v2i1.19

### ABSTRACT

**Background:** Chronic obstructive pulmonary disease (COPD) is a common respiratory disease which is associated with the presence of numerous comorbidities. Among these, impaired postural control has been reported to be common. However, postural control has not been extensively studied in tasks of daily living, in this population. Novel solutions for postural control assessment exist, like the quantitative motion analysis, which has shown to be a robust and accurate tool. **Objective:** The main aim of this study is to characterise the postural control of individuals with COPD during tasks of daily living compared to the postural control of control subjects, using quantitative motion analysis. The secondary aims of this study are to examine the associations between postural control variables of interest and various clinical factors and to investigate the utility of the modified Glittre-ADL for the clinical assessment of postural control in daily tasks. **Method:** A case-control study will be conducted with sixteen individuals with COPD and a control group (n = 16). Quantitative movement analysis will be used to assess postural control during a modified test (incorporating tasks of daily living) and timed-up-and-go test (normal and dual-task conditions). Clinical factors (e.g., dyspnoea, pain, inspiratory muscle strength, falls, fear of falling, etc.) will also be assessed. **Discussion:** ATTRACTION will be the first study to propose the assessment of postural control in various daily living tasks in individuals with COPD using quantitative movement analysis and has the potential to precise the relationship between postural control and several clinical factors.

**Trial registration:** ATTRACTION study was registered on [ClinicalTrials.gov](https://clinicaltrials.gov) under the number **NCT05211674**

**KEYWORDS:** chronic obstructive pulmonary disease, physical examination, postural balance, rehabilitation

### Background

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is a common, preventable and treatable condition by persistent respiratory symptoms and airflow limitation due to damage to the airways and/or lung alveoli [1]. According to the World Health Organization (WHO), this disease

Corresponding author:  
Romain Pichon, Institut de Formation en Pédiatrie-Podologie, Ergothérapie et Kinésithérapie (IFPEK), 12 rue Jean Louis Bertrand, 35000 Rennes, France. e-mail: [r.pichon@ifpek.org](mailto:r.pichon@ifpek.org)

was the third leading cause of death worldwide in 2019 [2]. COPD therefore represents a major public health problem, and its socio-economic impact is significant [3]. Beyond the presence of respiratory symptoms, the evolution of COPD is also associated with the presence of comorbidities [4]. According to Putsch et al. 86 to 98% of individuals with COPD have at least one comorbidity and about 50% of patients have four or more comorbidities [5]. The presence of these comorbidities is associated with worsened quality of life and increased morbidity and mortality [6]. Among these non-respiratory alterations, previous research has pointed out that postural control could be considered as another comorbidity in

patients with COPD [7].

Postural control is an essential human system, which allows to manage the body's position in the space for the dual purposes of stability and orientation [8]. During the last fifteen years, important scientific work has been carried out evaluating postural control in individuals with COPD and three systematic reviews have been published on this topic [9, 10, 11]. These systematic reviews highlight several points: the postural control of individuals with COPD is impaired compared to healthy control subjects; this impairment has been demonstrated by laboratory-based tests and through several validated functional tests for postural control assessment [10, 11]. It appears that the severity of the disease is not associated with postural control abilities and that this impairment can be present in individuals regardless of disease severity [11, 12, 13]. The prevalence of impaired postural control also appears to be similar between women and men [11, 12, 13, 14]. Moreover, impairments in postural control also have consequences for the individual by increasing the risk of falls [15] and is associated with greater restrictions in activity and participation according to the International Classification of Health Functioning and Disability [13].

Thus, postural control is a complex system [16] and COPD involves a broad spectrum of pathophysiological impairments [17]. Several domains have been suggested as avenues to better understand the origins of postural control changes in COPD (e.g. morphostatic characteristics, muscular function, cognitive function, pain or dyspnoea) [11, 18, 19, 20, 21]. However, the underlying mechanisms of postural control impairments currently remain unknown [11]. Postural control assessments of individuals with COPD have largely been performed in static situations, and infrequently during tasks of daily living [10]. Yet, these tasks are central to the lives of individuals and are often difficult to perform [22]. An "ecological" assessment (in the sense of being closer to real-life situations) [23] would allow the identification of possible alternative movement strategies used by individuals with COPD and to specify the participation of postural control on the impact in activities of daily living.

#### Primary aim

The main aim of this study is to objectively characterise the postural control of individuals with COPD during tasks of daily living compared to that of control individuals using quantitative movement analysis.

#### Secondary aims

The secondary aims of this study are:

- To examine the associations between postural control variables of interest and various clinical factors.
- To investigate the utility of the modified Glittre-ADL for the clinical assessment of postural control in tasks of daily living.

## Methods

### Study design and settings

ATTRACTION is an observational case-control study comparing individuals with moderate to severe COPD to healthy control individuals. This study was developed at the Mouvement Sport Santé (M2S) laboratory of the University of Rennes 2, which is also the promotor of the study. The Pontchaillou University Hospital of Rennes is a partner in this research conducted at M2S laboratory facilities (Campus de Kerlann, Bruz, France).

### Participants

This study aims to compare individuals with COPD to age and sex-matched control individuals. The eligibility criteria both populations are presented in Tables 1 and 2, respectively.

### Recruitment

Recruitment will be carried out prospectively. For individuals with COPD, participation in the study is proposed to individuals followed up by a pulmonologist at the University Hospital of Pontchaillou (Rennes, France) if they meet the inclusion/exclusion criteria established for this study. If the person is interested in participating in the study, they receive oral information, an information letter, and explications from the investigator. After a time of reflection, if they agree to participate, written consent is obtained. The potential participant is then contacted by telephone by an M2S laboratory investigator (RP) and an appointment is made for the experimental part of the protocol. The recruitment of the control individuals will be carried out after the recruitment of the individuals with COPD. Matching of the two groups will be performed according to age and sex ratio. Therefore, a frequency-matching method will be used to recruit the healthy control participants [24]. Briefly, this method consists of identifying the characteristics of interest in the source sample (in this case age and sex) and calculating their frequency of occurrence according to defined classes (e.g. male/female) and recruiting the healthy participants according to the results. This method allows better control of confounding factors [24]. A recruitment campaign will be carried out for recruitment of control participants using posters, mailing lists and social networks. An information sheet, summarizing the main points of the study and indicating the contact details of one of the investigators will be distributed.

### Experimental protocol

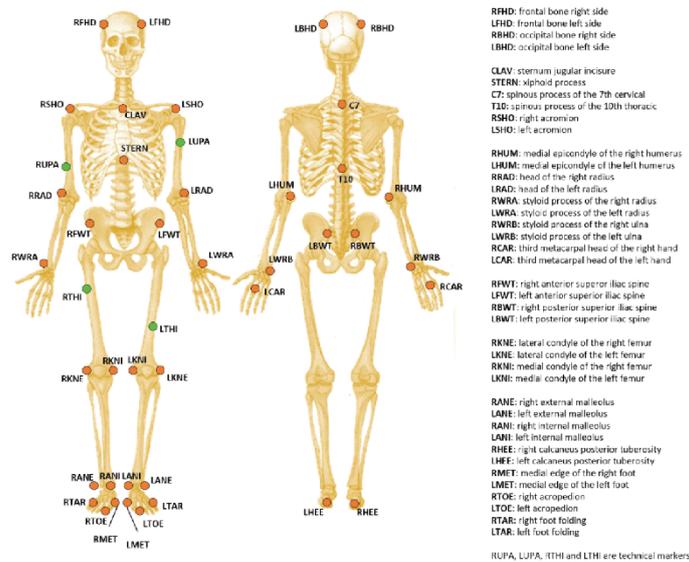
The experimental part of the study will follow these different parts: reception of the participant, information, and presentation of facilities; general data collection; quantitative analysis of postural control and questionnaires.

### Quantitative analysis of postural control

The assessment of postural control can be performed in different ways (with simple or composite functional tests, on force platforms...) but quantitative movement analysis appears to be one of the most accurate and robust techniques in the field [25]. This analysis allows the quantification of biomechanical and physiological parameters to objectively characterize human movements [26]. Quantitative movement analysis has been increasingly employed with success in athletes [27, 28] and in various neurological conditions [29, 30].

The procedure for the quantitative analysis of postural control begins with equipping the participant: 44 reflective markers are placed on the bone landmarks according to the recommendations of the International Society of Biomechanics [31, 32] (Figure 1). A heart rate belt (Polar H9, Kempele, Finland) and a pulse oximeter (Checkme O2, Viatom Technology, Shenzhen, China) are placed on the participant. After calibration of the system, the quantified analysis of postural control begins with a thirty-second period where the participant is asked to stand with eyes open. Then, functional tests are carried out by the participant: first, two timed up and go tests (TUG) are performed in two different conditions, in a randomized order (the randomization is performed using Random.org). A TUG will be performed with standard instructions ("perform the test at a normal speed for you, as if you were at home") (normal TUG) and an alternative TUG (cognitive TUG) will be performed with an added cognitive task (counting backwards out loud by 3's starting from 100). These two tests have been validated in healthy and COPD populations [33, 34, 35].

Lastly, the daily living tasks test (a modified and shortened version of the Glittre-ADL test) will be performed. The Glittre-ADL is a field test, developed to assess the functional abilities of individuals with COPD during tasks encountered in their daily lives [36]. It presents clinical assessment validity and its metrological qualities are well documented [37]. For experimental feasibility reasons, we propose here a shortened



**Figure 1** Marker set employed in ATTRACTION study.

version (3 laps instead of 5) and without a backpack. These modifications have been previously validated in individuals with COPD [38, 39]. The test is presented in Figure 2: at the beginning of the test, the participant is sitting on a chair with both feet on the force platform. The individual is asked to get up from the chair, walk in a straight line (10m), go up and down two steps and then stand in front of a shelf. The participant then moves three objects (each weighing 1 kg) from the shelf at shoulder height to a shelf at hip height, then to the floor and then moves the three objects back to the shelf at hip height and then to the shelf at shoulder height. Finally, the participant returns to the chair, taking the same route as before. This circuit is repeated three times. The participants will be instructed to perform the test "at their comfort speed, as if they were at home".

Participants will also be asked to respect a rest time between the two TUGs and between the last TUG and the modified Glittre-ADL. The duration of the rest time is adapted to allow a return of the participant's feeling (perceived intensity of dyspnoea) and vital signs (heart rate, oxygen saturation) to baseline values.

## Outcomes

### Primary outcomes

The primary outcomes of the study are Centre of Mass-related (CoM) parameters (margins of stability, variability of margins of stability, CoM velocity, CoM displacement) during functional tests (modified Glittre-ADL and Timed up and Go tests (TUG)). These parameters represent valid and reliable postural control variables, already employed in various populations [25] and in individuals with COPD [40].

### Secondary outcomes

#### 1. Other postural control-related outcomes

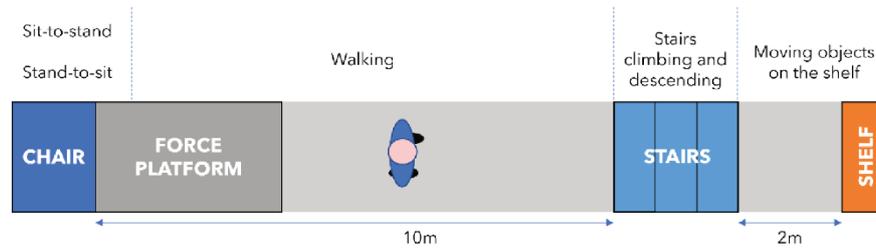
- Center of pressure (CoP)-related parameters: CoP area, CoP velocity, CoP variability and coefficient of variation of participant's CoP will

be evaluated during the sit-to-stand and stand-to-sit tasks of the modified Glittre-ADL test. CoP parameters have been reported to be valid and reliable in older adults [41] and have been used in COPD in several studies [14, 19, 42].

- Evolution of articular angulations: Articular angulations at the ankle, knee, hip, spine, and thoracic level will be assessed during the functional tests.
- Gait-related parameters: Gait cadence, gait velocity, gait phases duration, step width, step length, spatio-temporal parameters of gait will be assessed during the walking part of the modified Glittre-ADL test. The reliability of these parameters using three-dimensional quantitative movement analysis is high [25] and has already been successfully carried out with individuals with COPD [43].
- Ground force reaction (GRF): The GRF will be assessed during the sit-to-stand task of the modified Glittre-ADL test using the force platform. Assessment of GRF using a force platform has demonstrated its reliability during this task [44]. Previous research has shown that GRF during sit-to-stand reflects lower limb muscle strength [45, 46].

## 2. Functional performance

- Completion time of the Modified Glittre-ADL. While the initial version of the Glittre-ADL has been validated and shows interesting psychometric qualities [36], the version proposed in this study is novel.
- Completion time of the normal and the cognitive timed up and go tests (TUGs). The reliability and the validity of the normal TUG has been demonstrated in individuals with COPD [47, 34]. The cognitive TUG has been previously used in individuals with COPD and demonstrated its validity [35, 48].



**Figure 2** Representation of the modified Glittre-ADL.

### 3. Dyspnoea

- Multi-dimensional dyspnoea profile (MDP): the MDP is a composite tool that assesses the affective and sensory dimension of dyspnoea related to an activity [49]. The MDP is separated into three different scales ("A1" and "A2" focus on the affective dimension of the dyspnoea and "QS", the sensory dimension of the dyspnoea). In this study, participants complete the MDP at the end of the modified Glittre-ADL test. A higher score in the different scales represents a larger impact of their dyspnoea. The MDP has been reported to be a valid and reliable tool in individuals with COPD [50]. The minimal clinically important differences (MCID) are estimated to be 0.8, 2.4 and 4.6 for the A1, A2 and QS scores, respectively [51].
- London Chest Activities of Daily Living questionnaire (LCADL): The LCADL is a tool designed to assess the impact of dyspnoea in fifteen activities of daily living in individuals with COPD [52]. A score from 0 to 5 is given for each activity, 5 representing a higher impact of dyspnoea on the activity. The LCADL is a valid and reliable tool [52, 53], and its minimal detectable change (MDC) is four points [54].
- Numeric rating Scale (NRS): the intensity of dyspnoea will be assessed before and after the modified Glittre-ADL test using a NRS. The NRS is a zero to ten scale where zero represents the absence of dyspnoea and ten, the worst imaginable dyspnoea for the participant [55]. The NRS is a valid and reliable tool for assessing dyspnoea in individuals with COPD [55]. The MCID of the NRS for dyspnoea is estimated to be four points [55].

### 4. Inspiratory muscle strength

Inspiratory muscle strength will be assessed by evaluating maximal inspiratory pressure (MIP). The MIP is obtained by performing 3 to 5 maximal tests, in accordance with current guidelines [56]. The best value of these 3 to 5 tests is selected as the individual's MIP. This assessment has been validated in individuals with COPD and repeatable and reliable measurements can usually be obtained within 5 efforts [56]. The MCID for MIP is estimated to be 17 cmH<sub>2</sub>O [57].

### 5. Pain

- Visual analogue scale (VAS): the intensity of pain is assessed using the VAS on a 100 mm line scored from 0 to 100 to rate the intensity of pain. Three different measurements will be made to assess: (i) the current intensity of pain, (ii) the average intensity of pain over the preceding eight days and (iii) the most intense pain experienced over the preceding eight days. A VAS is a valid, reliable and widely employed measure for assessing pain intensity across numerous conditions [58, 59].

- Pain drawing: participants will be asked to represent their usual pain location on a body chart. Pain drawing is a valid and reliable method for pain assessment [60].

### 6. Body composition

Bioelectrical-impedance analysis (BIA) will be performed to assess body composition [61]. Body mass-index (BMI) and fat-free mass index (FFMI) will be extracted from the BIA assessment. The assessment of these parameters using BIA has been previously validated, and is recommended by international guidelines on pulmonary rehabilitation [62].

### 7. Falls and fear of falling

- Fall history: Participants are asked to report falls in the twelve month period prior to inclusion in the study. The number of past fall(s) and the context will be recorded.
- Fear of falling: The fear of falling will be evaluated using the Fall Efficacy Scale-International (FES-I) [63]. The FES-I is a self-administered questionnaire designed to assess the fear of falling. It consists of 16 items, scored from 1 to 4 by the participant. The total score is therefore between 16 and 64 points. A high score indicates a high fear of falling. The FES-I has shown reliability and validity in various populations with postural control disorders [64].

### 8. Physical activity and sedentary behaviour

Physical activity and sedentary behaviour will be assessed using the French version of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) [65, 66]. The IPAQ is a questionnaire exploring four different domains (vigorous physical activities, moderate physical activities, walking and sedentary behaviour). The IPAQ has reasonable measurement properties for monitoring levels of physical activity among adults in diverse settings [67].

### 9. COPD-related quality of life

The COPD assessment test (CAT) will be used to assess quality of life [68]. The CAT comprises of 8 items, each item is scored on a 1 to 5 point scale. CAT scores range from 0–40 where higher scores correspond to a more severe impact of COPD on an individual's life. The CAT has shown to be reliable and valid and its MCID is estimated to be between two to three points [69, 70].

### 10. Cognitive abilities

The assessment of cognitive function will be performed using the General Practitioner-Cognitive test (GPCog) [71]. The GPCog is a simple questionnaire developed for the detection of cognitive dysfunction in clinical practice and has been translated and validated in French [72].

**Table 1** Eligibility criteria for individuals with COPD and controls

INTERVENTION GROUP		CONTROLS
<b>Inclusion criteria</b>		
1	Individuals with a confirmed diagnosis of COPD according to GOLD criteria (Forced Expiratory Volume in one second (FEV1)/Forced Vital Capacity (FVC) < 0.7) and with GOLD stage 2 or 3 (A-D)	Person with no medically diagnosed chronic pathology and corresponding to the age and male-female ratio characteristics of the individuals with COPD group (for further details on frequency-matching see recruitment)
2	In accordance with article L1121-8-1 of the French public health code, participants must be affiliated to a social security scheme or be beneficiaries of such a scheme	
3	Person presenting a certificate of non-contraindication to the practice of physical activity	
<b>Non-Inclusion criteria</b>		
1	Presence of a medically diagnosed pathology resulting in overt balance disorders	
2	Inability to walk 150 m without stopping and inability to climb or descend stairs	
3	Presence of obvious cognitive impairments that prevents adequate understanding of instructions	
4	History of pneumonectomy or lobectomy within the last six months	
5	Person referred to in articles L. 1121-5 to L. 1121-8 and L. 1121-12 of the French public health code <sup>1</sup>	
6	Person under psychiatric care	
7	Body mass index less than 21 or more than 35 kg/m <sup>2</sup>	
8	Existence of an acute respiratory exacerbation within the last two months	
9	Presence of long-term or exercise-based oxygen therapy	

<sup>1</sup> pregnant woman, woman in labor or nursing mother, person deprived of liberty by judicial or administrative decision, person hospitalized without consent and not subject to a legal protection measure, and person admitted to a health or social establishment for purposes other than research, minor, person subject to a period of exclusion for other research, person of full age subject to a legal protection measure (guardianship, curatorship or safeguard of justice), person of full age unable to express their consent and not subject to a protection measure.

## Data collection and processing

### Quantitative analysis of postural control

A quantitative biomechanical analysis will be carried out in a gym dedicated to this type of analysis, using twenty-four optoelectronic cameras (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden) and two force platforms (Advanced Mechanical Technology Inc, Watertown, USA). These measurement systems are routinely used in the laboratory with various populations (elderly, sportsmen, etc.) [27, 28]. The cameras are associated with reflective markers to obtain the kinematics (displacement of markers placed on bone markers) during movement [25]. The measurement reliability of this system is widely proven in the literature [73]. The force platforms will collect the ground forces (external forces and moments) during the sit-to-stand and stand-to-sit phases. Once the data have been collected, a data processing routine will be developed using Matlab software (Mathworks, Natick, USA) to extract the parameters of interest.

### Data collection for secondary endpoints

The time to complete the Timed Up and Go tests and the total time to complete the Glittre-ADL will be recorded during the experimental part of the protocol. The various questionnaires will be completed by the participant in a quiet room in the presence of an investigator. All the tools are self-administered questionnaires with the exception of the GP-Cog, which needs to be administered by an investigator [72]. Nevertheless, an investigator will remain present for all of the questionnaires to be able to respond to any requests for clarification from the participants, without proposing, directly or indirectly, an answer to a specific item.

## Statistical Analysis

The normality of each parameter will be tested using the Shapiro-Wilk test and the Levene test for homogeneity of variances. Data will be presented as mean  $\pm$  standard deviation or median [interquartile range] depending on the type and distribution of the variables. A Student's *t* test and Wilcoxon test will be used to compare the characteristics of the COPD group and the control group. Effect sizes will also be calculated using Cohen's *d* or rank biserial correlation.

### Primary aim

The characterisation of postural control of individuals with COPD during different tasks and the comparison with the control group will be performed by graphical reading and statistical comparison of the variables of interest via a repeated-measure ANOVA, an independent Student *t*-test or a Mann-Whitney test according to the distribution of the variables and the conditions analysed. This analysis will be performed for the different parts of the modified Glittre-ADL test (sit-to-stand, walk, stairs, object handling and stand-to-sit).

### Secondary aims

**Analysis of correlations and independent determinants of postural control:** For the postural control variables that best discriminate between the COPD and control groups identified in the primary endpoint, correlations with clinical factors (inspiratory muscle strength, pain, dyspnoea, physical activity, sedentary behaviour, cognitive function...) will be examined via Pearson's or Spearman's tests depending on the type of variable and distribution. Multiple regression analyses will then be

performed to identify independent determinants among different criteria of interest in postural control. These analyses will be carried out using the stepwise forward regression method and the choice of the most relevant model will be made using the Akaike Information Criterion (AIC).

**Qualities of the Glittre-ADL test in the clinical assessment of postural control:** The correlations between the completion time of the TUGs and the completion time of the modified Glittre-ADL (total time and time for each different task performed during the Glittre-ADL) will be examined using the Pearson or Spearman correlation coefficient depending on the distribution of the data. Their validity will then be analysed by examining the correlations between these clinical variables and the variables related to postural control for each of the tasks proposed in the Glittre-ADL test. The significance level will be set at 0.05 for all statistical analyses performed. Jamovi (version 2.3, The Jamovi Project) with the Rj editor (version 1.1, Jonathan Love) will be used to carry out the statistical analyses. The statistical analysis will be performed by the authors.

#### Sample size calculation

Due to the exploratory nature of this work and the large number of endpoints present, the calculation of the number of subjects needed for this study was carried out in two different ways. Firstly, the calculation was made in such a way that a difference in the variability of stability margins at comfort speed between the COPD group and the control group could be demonstrated. Based on previous results [40], we expect a standard deviation of 3 mm and a between-group difference of 3 mm for the variability of medio-lateral margin of stability. Assuming an alpha error of 5% and a beta risk of 20%, the required number of participants per group is 16, i.e. 32 participants in total. A second calculation, to highlight a difference between the groups on the stand-sit transfer time variable, was performed. Based on previous results [74], with a standard deviation of 0.6 seconds and an expected between-group difference of 0.7 seconds, 12 subjects are needed per group. Combining these two analyses, we therefore assume a necessary number of 16 subjects per group. The calculations were performed with the Sample size calculator software (ClinCalc LLC, USA).

#### Discussion

To the best of our knowledge, ATTRACTION will be the first study to propose the assessment of postural control in various daily living tasks in individuals with COPD using quantitative movement analysis. These tasks are performed several times a day and are often difficult for individuals with COPD (22). ATTRACTION has the potential to identify if postural control of individuals with COPD is impaired during these tasks and if so, to describe precisely how postural control is altered. In the ATTRACTION study, numerous clinical factors will be evaluated. Analysis of their potential associations with postural control parameters may provide interesting research perspectives on the underlying mechanisms of postural control impairments in COPD or on the consequences of the latter. Recent studies have highlighted that clinical factors such as pain, dyspnoea or inspiratory muscle strength could be related to postural control impairment in patients with COPD [19, 75]. This study provides an opportunity to improve the scientific understanding of these potential associations. Further, postural control assessment is often performed under conditions that do not represent the challenges encountered by individuals in their daily lives. Our aim is to assess postural control in everyday tasks and to propose simple measures for future clinical assessments, possibly in real-life environment. The incorporation of ecologically-valid assessments is one of the future challenges in the field of rehabilitation [23], and the ATTRACTION study may contribute to this goal.

This study has potential limitations: Firstly, although the aim is to assess postural control in an ecological manner, the study will take

place in a laboratory environment, and the equipment of each participant (adapted clothing, presence of markers for quantified movement analysis) is far from representing an everyday situation. However, this proposal can be used as a basis for future studies, and the quantitative movement analysis requires specific facilities and equipment. Secondly, no direct assessment of maximal voluntary strength of lower limbs is planned in our study. Because some authors have suggested that lower limb muscle function may be an underlying mechanism of postural control impairment in COPD, assessment of this function is of interest. However, the assessment of ground reaction force during the sit-to stand task will be performed in ATTRACTION, and two studies have clearly shown its interest for its use in the assessment of muscle function [46, 76]. We believe that the results of ATTRACTION could directly or indirectly enhance assessment and management of postural control impairment in the COPD population. These findings may contribute to assist medical practitioners and physiotherapists to design efficient programs for the diagnosis and management of this alteration.

#### Trial status

We are currently recruiting participants.

#### Disclosure of interest

The authors declare they have no conflicting interests with the content of the article.

#### Ethical approval and considerations

This study complies with the Declaration of Helsinki. The study was registered with the Agence Nationale de Sécurité du Médicament (ANSM) under the number 2021-A00482-39. The Comité de Protection des Personnes (CPP) Sud-Ouest et Outre-Mer 1 (SOOM1) issued a first favourable opinion on 19th of July 2021. Substantial changes to the protocol were presented and the CPP SOOM1 approved these modifications on the 27th of October 2021. This study is in conformation with the General Data Protection Regulation (GDPR) and follows the reference methodology 001 of the Comité National Informatique et Libertés (CNIL). The ATTRACTION study has been registered on [ClinicalTrials.gov](https://clinicaltrials.gov) under the number NCT05211674.

#### Authors' contribution

**Manuscript:** R.Pichon: Conceptualisation, Methodology, Writing, original, Illustrations; M.Ménard: Conceptualization, Methodology, Writing; D.Hearing: Conceptualization, Methodology, Writing; A.Creual: Conceptualisation, Methodology, Writing, Supervision; G.Brinchault: Conceptualisation, Writing.

#### Acknowledgements

The authors thank Dr.Valérie Attali (MD, PhD) and Dr.Marc Beaumont (PT, PhD) for their expert input on quantitative movement analysis applied to individuals with COPD and COPD-specific clinical assessments. The authors also thank Dr.Stéphanie Guillot (MD) and the team of Epreuves fonctionnelles Respiratoires of CHU Pontchaillou, Rennes.

#### References

- [1] Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease. Global Strategy for the diagnosis, Management, and prevention of COPD, 2020 report. Technical report, Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, 2020. URL [https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/12/GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19\\_WMV.pdf](https://goldcopd.org/wp-content/uploads/2019/12/GOLD-2020-FINAL-ver1.2-03Dec19_WMV.pdf).

- [2] World Health Organization. Global health estimates: Leading causes of death, 2020. URL <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghle-leading-causes-of-death>.
- [3] Anees Ur Rehman, Mohamed Azmi Ahmad Hassali, Sohail Ayaz Muhammad, Sabariah Noor Harun, Shahid Shah, and Sameen Abbas. The economic burden of chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in Europe: results from a systematic review of the literature. *The European Journal of Health Economics: HEPAC: health economics in prevention and care*, 21(2):181–194, March 2020. ISSN 1618-7601. doi: 10.1007/s10198-019-01119-1.
- [4] Netsanet A. Negewo, Peter G. Gibson, and Vanessa M. McDonald. COPD and its comorbidities: Impact, measurement and mechanisms. *Respirology*, 20(8):1160–1171, November 2015. ISSN 1440-1843 1323-7799. doi: 10.1111/resp.12642.
- [5] Nirupama Putcha, M. Bradley Drummond, Robert A. Wise, and Nadia N. Hansel. Comorbidities and Chronic Obstructive Pulmonary Disease: Prevalence, Influence on Outcomes, and Management. *Seminars in Respiratory and Critical Care Medicine*, 36(4):575–591, August 2015. ISSN 1069-3424. doi: 10.1055/s-0035-1556063. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5004772/>.
- [6] Manuel B. Huber, Margarethe E. Wacker, Claus F. Vogelmeier, and Reiner Leidl. Comorbid Influences on Generic Health-Related Quality of Life in COPD: A Systematic Review. *PLoS ONE*, 10(7): e0132670, 2015. ISSN 1932-6203. doi: 10.1371/journal.pone.0132670.
- [7] Maria K. Beauchamp, Dina Brooks, and Roger S. Goldstein. Deficits in postural control in individuals with COPD - emerging evidence for an important secondary impairment. *Multidisciplinary Respiratory Medicine*, 5(6):417, December 2010. ISSN 2049-6958. doi: 10.1186/2049-6958-5-6-417. URL <https://doi.org/10.1186/2049-6958-5-6-417>.
- [8] Anne Shumway-Cook and Marjorie H. Woollacott. *Motor Control: translating research into clinical practice*. Lippincott Williams & Wilkins, 2007.
- [9] EF Porto, AAM Castro, VGS Schmidt, HM Rabelo, C Kümpel, OA Nascimento, and José R. Jardim. Postural control in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 10:1233–1239, June 2015. ISSN 1176-9106. doi: 10.2147/COPD.S63955. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4493971/>.
- [10] Busaba Chuatrakoon, Shirley P. C. Ngai, Somporn Sungkarat, and Sureeporn Uthairakph. Balance Impairment and Effectiveness of Exercise Intervention in Chronic Obstructive Pulmonary Disease-A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 101(9):1590–1602, 2020. ISSN 1532-821X. doi: 10.1016/j.apmr.2020.01.016.
- [11] Kirsti Jane Loughran, Greg Atkinson, Marla K. Beauchamp, John Dixon, Denis Martin, Shaera Rahim, and Samantha Louise Harrison. Balance impairment in individuals with COPD: a systematic review with meta-analysis. *Thorax*, 75(7):539–546, 2020. ISSN 1468-3296. doi: 10.1136/thoraxjnl-2019-213608.
- [12] M. Roig, J.J. Eng, D.L. MacIntyre, J.D. Road, and W.D. Reid. Postural Control Is Impaired in People with COPD: An Observational Study. *Physiotherapy Canada*, 63(4):423–431, 2011. ISSN 0300-0508. doi: 10.3138/ptc.2010-32. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3207981/>.
- [13] Joana Cruz, Alda Marques, Cristina Jácome, Raquel Gabriel, and Daniela Figueiredo. Global Functioning of COPD Patients With and Without Functional Balance Impairment: An Exploratory Analysis Based on the ICF Framework. *COPD*, 12(2):207–216, April 2015. ISSN 1541-2563. doi: 10.3109/15412555.2014.933793.
- [14] Larissa A. de Castro, Laís RG Ribeiro, Rafael Mesquita, Débora R. de Carvalho, Josiane M. Felcar, Myriam F. Merli, Karen BP Fernandes, Rubens A. da Silva, Denilson C. Teixeira, Martijn A. Spruit, Fabio Pitta, and Vanessa S. Probst. Static and Functional Balance in Individuals With COPD: Comparison With Healthy Controls and Differences According to Sex and Disease Severity. *Respiratory Care*, 61(11):1488–1496, November 2016. ISSN 0020-1324, 1943-3654. doi: 10.4187/respcare.04749. URL <http://rc.rcjournal.com/content/61/11/1488>.
- [15] Cristino C. Oliveira, Raquel Annoni, Annemarie L. Lee, Jennifer McGinley, Louis B. Irving, and Linda Denehy. Falls prevalence and risk factors in people with chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review. *Respiratory Medicine*, 176:106284, January 2021. ISSN 1532-3064. doi: 10.1016/j.rmed.2020.106284.
- [16] Fay B. Horak. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35 Suppl 2:ii7–ii11, September 2006. ISSN 0002-0729. doi: 10.1093/ageing/af1077.
- [17] Klaus F. Rabe and Henrik Watz. Chronic obstructive pulmonary disease. *The Lancet*, 389(10082):1931–1940, May 2017. ISSN 0140-6736, 1474-547X. doi: 10.1016/S0140-6736(17)31222-9. URL [https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736\(17\)31222-9/abstract](https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(17)31222-9/abstract).
- [18] Marla K. Beauchamp, Kathryn M. Sibley, Bimal Lakhani, Julia Romano, Sunita Mathur, Roger S. Goldstein, and Dina Brooks. Impairments in Systems Underlying Control of Balance in COPD. *Chest*, 141(6):1496–1503, June 2012. ISSN 0012-3692. doi: 10.1378/chest.11-1708. URL <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012369212603390>.
- [19] Lotte Janssens, Simon Brumagne, Alison K. McConnell, Kurt Claeys, Madelon Pijnenburg, Chris Burtin, Wim Janssens, Marc Decramer, and Thierry Troosters. Proprioceptive Changes Impair Balance Control in Individuals with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *PLoS ONE*, 8(3):e57949, March 2013. ISSN 1932-6203. doi: 10.1371/journal.pone.0057949. URL <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0057949>.
- [20] Annemarie L. Lee, Roger S. Goldstein, Christen Chan, Matthew Rhim, Karl Zabjek, and Dina Brooks. Postural deviations in individuals with chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Canadian Journal of Respiratory, Critical Care, and Sleep Medicine*, 2(2):61–68, April 2018. ISSN 2474-5332, 2474-5340. doi: 10.1080/24745332.2017.1409091. URL <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24745332.2017.1409091>.
- [21] Olivier Van Hove, Ana Maria Cebolla, Vasileios Andrianopoulos, Dimitri Leduc, Pierre Antoine Guidat, Véronique Feipel, Gaël Deboeck, and Bruno Bonnechère. The influence of cognitive load on static balance in chronic obstructive pulmonary disease patients. *The Clinical Respiratory Journal*, November 2020. ISSN 1752-699X. doi: 10.1111/crj.13307.
- [22] Janneke Annegarn, Kenneth Meijer, Valeria Lima Passos, Katharina Steute, Jozé Wiechert, Hans H. C. M. Savelberg, Annemie M. W. J.

- Schols, Emiel F. M., Wouters, Martijn A., Spruit, and Ciro+ Rehabilitation Network. Problematic activities of daily life are weakly associated with clinical characteristics in COPD. *Journal of the American Medical Directors Association*, 13(3):284–290, March 2012. ISSN 1538-9375. doi: 10.1016/j.jamda.2011.01.002.
- [23] Ashlee McKeon, Michael McCue, Elizabeth Skidmore, Michelle Schein, and Jamie Kulzer. Ecological momentary assessment for rehabilitation of chronic illness and disability. *Disability and Rehabilitation*, 40(8):974–987, April 2018. ISSN 1464-5165. doi: 10.1080/09638288.2017.1280545.
- [24] Michiel A. de Graaf, Kitty J. Jager, Carmine Zoccali, and Friedo W. Dekker. Matching, an Appealing Method to Avoid Confounding? *Nephron Clinical Practice*, 118(4):c315–c318, 2011. ISSN 1660-2110, 1660-2110. doi: 10.1159/000323136. URL <https://www.karger.com/Article/FullText/323136>.
- [25] Thierry Paillard and Frédéric Noé. Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects. *BioMed Research International*, 2015:1–15, 2015. ISSN 2314-6133, 2314-6141. doi: 10.1155/2015/891390. URL <http://www.hindawi.com/journals/bmri/2015/891390/>.
- [26] Stéphane Armand. *Analyse Quantifiée de la Marche: extraction de connaissances à partir de données pour l'aide à l'interprétation clinique de la marche digitigrade*. PhD thesis, Université de Valenciennes, 2005.
- [27] Caroline Martin, Anthony Sorel, Pierre Touzard, Benoit Bideau, Ronan Gaborit, Hugo DeGroot, and Richard Kulpa. Can the Open Stance Forehand Increase the Risk of Hip Injuries in Tennis Players? *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*, 8(12):2325967120966297, December 2020. ISSN 2325-9671. doi: 10.1177/2325967120966297.
- [28] Mathieu Ménard, Anthony Sorel, Rufin Boumpoutou, Richard Kulpa, Hugo A. Kerhervé, and Benoit Bideau. A musculoskeletal modelling approach of the assessment of the risk of hamstring injuries in professional soccer players: a pilot study. *Science and Medicine in Football*, 5(1):55–58, January 2021. ISSN 2473-3938. doi: 10.1080/24733938.2020.1786765. URL <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1786765>.
- [29] Anne Schwarz, Christoph M. Kanzler, Olivier Lambercy, Andreas R. Luft, and Janne M. Veerbeek. Systematic Review on Kinematic Assessments of Upper Limb Movements After Stroke. *Stroke*, 50(3):718–727, March 2019. doi: 10.1161/STROKEAHA.118.023531. URL <https://www.ahajournals.org/doi/10.1161/STROKEAHA.118.023531>.
- [30] Raquel Bouça-Machado, Constança Jalles, Daniela Guerreiro, Filipa Pona-Ferreira, Diogo Branco, Tiago Guerreiro, Ricardo Matias, and Joaquim J. Ferreira. Gait Kinematic Parameters in Parkinson's Disease: A Systematic Review. *Journal of Parkinson's Disease*, 10(3):843–853, 2020. ISSN 1877-718X. doi: 10.3233/JPD-201969.
- [31] Ge Wu, Sorin Siegler, Paul Allard, Chris Kirtley, Alberto Leardini, Dieter Rosenbaum, Mike Whitte, Darryl D. D'Lima, Luca Cristofolini, Hartmut Witte, Oskar Schmid, Ian Stokes, and Standardization and Terminology Committee of the International Society of Biomechanics. ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. International Society of Biomechanics. *Journal of Biomechanics*, 35(4):543–548, April 2002. ISSN 0021-9290. doi: 10.1016/s0021-9290(01)00222-6.
- [32] Ge Wu, Frans C. T. van der Helm, H. E. J. Dirckjan Veeger, Mohsen Makhssous, Peter Van Roy, Carolyn Anglin, Jochem Nagels, Andrew R. Karduna, Kevin McQuade, Xuguang Wang, Frederick W. Werner, Bryan Buchholz, and International Society of Biomechanics. ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5):981–992, May 2005. ISSN 0021-9290. doi: 10.1016/j.jbiomech.2004.05.042.
- [33] Diane Podsiadlo and Sandra Richardson. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2):142–148, February 1991. ISSN 0002-8614. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x.
- [34] Rafael Mesquita, Sarah Wilke, Dionne E. Smid, Daisy Ja Janssen, Frits Me Fransen, Vanessa S. Probst, Emiel Fm Wouters, Jean Wm Muris, Fabio Pitta, and Martijn A. Spruit. Measurement properties of the Timed Up & Go test in patients with COPD. *Chronic Respiratory Disease*, 13(4):344–352, November 2016. ISSN 1479-9731. doi: 10.1177/1479972316647178.
- [35] Ismail Ozsoy, Gulsah Ozsoy, Caner Kararti, Buket Buyukturan, Fidan Yilmaz, Oznur Buyukturan, and Arzu Erturk. Cognitive and motor performances in dual task in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a comparative study. *Irish Journal of Medical Science*, September 2020. ISSN 1863-4362. doi: 10.1007/s11845-020-02357-6.
- [36] Siri Skumlien, Turid Hagelund, Oystein Bjørtuft, and Morten Skrede Ryg. A field test of functional status as performance of activities of daily living in COPD patients. *Respiratory Medicine*, 100(2):316–323, February 2006. ISSN 0954-6111. doi: 10.1016/j.rmed.2005.04.022.
- [37] Kim-Ly Bui, André Nyberg, François Maltais, and Didier Saey. Functional Tests in Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Part 2: Measurement Properties. *Annals of the American Thoracic Society*, 14(5):785–794, February 2017. ISSN 2329-6933. doi: 10.1513/AnnalsATS.201609-734AS. URL <https://www.atsjournals.org/doi/full/10.1513/AnnalsATS.201609-734AS>.
- [38] Liliane Mendes, Lissa Spencer, Bill Zafiropoulos, Verónica Parreira, and Jennifer Alison. Glittre-ADL test performed in 3 laps as an alternative to the 5 laps test. *European Respiratory Journal*, 52(suppl 62), September 2018. ISSN 0903-1936, 1399-3003. doi: 10.1183/13993003.congress-2018.PA1437. URL [https://erj.ersjournals.com/content/52/suppl\\_62/PA1437](https://erj.ersjournals.com/content/52/suppl_62/PA1437).
- [39] Liliane P. de Souza Mendes, Verónica Franco Parreira, Lissa M. Spencer, Danielle Soares Rocha Vieira, and Jennifer Ailsey Alison. Validity and Responsiveness of the Glittre-ADL Test without a Backpack in People with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 17(4):392–400, July 2020. ISSN 1541-2555. doi: 10.1080/15412555.2020.1756236. URL <https://doi.org/10.1080/15412555.2020.1756236>.
- [40] Farahnaz Fallahrafti, Carolin Curtze, Kacli Samson, and Jennifer M. Yentes. Chronic obstructive pulmonary disease patients increase medio-lateral stability and limit changes in antero-posterior stability to curb energy expenditure. *Gait & Posture*, 75:142–148, 2020. ISSN 1879-2219. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.10.025.
- [41] Zhen Li, Yan-Yi Liang, Lei Wang, Jing Sheng, and Shao-Jun Ma. Reliability and validity of center of pressure measures for balance assessment in older adults. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(4):1364–1367, April 2016. ISSN 0915-5287. doi: 10.1589/jpts.28.1364. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4868244/>.

- [42] Michelle D. Smith, Angela T. Chang, Helen E. Seale, James R. Walsh, and Paul W. Hodges. Balance is impaired in people with chronic obstructive pulmonary disease. *Gait & Posture*, 31(4):456–460, April 2010. ISSN 1879-2219. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.01.022.
- [43] Matteo Zago, Chiarella Sforza, Daniela Rita Bonardi, Enrico Eugenio Guffanti, and Manuela Galli. Gait analysis in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review. *Gait & Posture*, 61:408–415, March 2018. ISSN 1879-2219. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.02.007.
- [44] Takayoshi Yamada and Shinichi Demura. The relationship of force output characteristics during a sit-to-stand movement with lower limb muscle mass and knee joint extension in the elderly. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 50(3):e46–e50, May 2010. ISSN 0167-4943. doi: 10.1016/j.archger.2009.05.009. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167494309001289>.
- [45] Ulrich Lindemann, Holger Claus, Michael Stuber, Peter Augat, Rainer Muehe, Thorsten Nikolaus, and Clemens Becker. Measuring power during the sit-to-stand transfer. *European Journal of Applied Physiology*, 89(5):466–470, June 2003. ISSN 1439-6327. doi: 10.1007/s00421-003-0837-z. URL <https://doi.org/10.1007/s00421-003-0837-z>.
- [46] Taishi Tsuji, Kenji Tsunoda, Yasuhiro Mitsuishi, and Tomohiro Okura. Ground Reaction Force in Sit-to-stand Movement Reflects Lower Limb Muscle Strength and Power in Community-dwelling Older Adults. *International Journal of Gerontology*, 9(2): 111–118, June 2015. ISSN 1873-9598. doi: 10.1016/j.ijge.2015.05.009. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187395981500040X>.
- [47] Rafael Mesquita, Daisy J. A. Janssen, Emiel F. M. Wouters, Jos M. G. A. Schols, Fabio Pitta, and Martijn A. Spruit. Within-day test-retest reliability of the Timed Up & Go test in patients with advanced chronic organ failure. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(11):2131–2138, November 2013. ISSN 1532-821X. doi: 10.1016/j.apmr.2013.03.024.
- [48] Rachel McLay, Renata Noce Kirkwood, Ayse Kuspinar, Julie Richardson, Joshua Wald, Natya Raghavan, Cindy Ellerton, Stewart Pugsley, and Marla K. Beauchamp. Validity of balance and mobility screening tests for assessing fall risk in COPD. *Chronic Respiratory Disease*, 17:1479973120922538, December 2020. ISSN 1479-9731. doi: 10.1177/1479973120922538.
- [49] Robert B. Banzett, Carl R. O'Donnell, Tegan E. Guilfoyle, Mark B. Parshall, Richard M. Schwartzstein, Paula M. Meek, Richard H. Gracely, and Robert W. Lansing. Multidimensional Dyspnea Profile: an instrument for clinical and laboratory research. *European Respiratory Journal*, March 2015. ISSN 0903-1936, 1399-3003. doi: 10.1183/09031936.00038914. URL <https://erj.ersjournals.com/content/early/2015/03/18/09031936.00038914>.
- [50] Paula M. Meek, Robert Banzett, Mark B. Parshall, Richard H. Gracely, Richard M. Schwartzstein, and Robert Lansing. Reliability and Validity of the Multidimensional Dyspnea Profile. *Chest*, 141(6): 1546–1553, June 2012. ISSN 0012-3692. doi: 10.1378/chest.11-1087. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3367480/>.
- [51] Magnus P. Ekström, Hans Bornefalk, C. Magnus Sköld, Christer Janson, Anders Blomberg, Anna Bornefalk-Hermansson, Helena Igelström, Jacob Sandberg, and Josefin Sundh. Minimal Clinically Important Differences and Feasibility of Dyspnea-12 and the Multidimensional Dyspnea Profile in Cardiorespiratory Disease. *Journal of Pain and Symptom Management*, 60(5):968–975.e1, November 2020. ISSN 0885-3924. doi: 10.1016/j.jpainsymman.2020.05.028. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0885392420304322>.
- [52] R. Garrod, J. C. Bestall, E. A. Paul, J. A. Wedzicha, and P. W. Jones. Development and validation of a standardized measure of activity of daily living in patients with severe COPD: the London Chest Activity of Daily Living scale (LCADL). *Respiratory Medicine*, 94(6): 589–596, June 2000. ISSN 0954-6111. doi: 10.1053/rmed.2000.0786.
- [53] Marc Beaumont, Francis Couturaud, Florence Jegu, Romain Pichon, Catherine Le Ber, Loïc Péran, Christophe Rogé, David Renault, Swathi Narayan, and Gregory Reychler. Validation of the French version of the London Chest Activity of Daily Living scale and the Dyspnea-12 questionnaire. *International Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 13:1399–1405, April 2018. ISSN 1176-9106. doi: 10.2147/COPD.S145048. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5933336/>.
- [54] Gianna Waldrich Bisca, Mahara Proença, Alexandre Salomão, Nidia A. Hernandez, and Fabio Pitta. Minimal detectable change of the London chest activity of daily living scale in patients with COPD. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 34(3):213–216, June 2014. ISSN 1932-751X. doi: 10.1097/HCR.0000000000000047.
- [55] Thomas Janssens, Wolfgang Geidl, Johannes Carl, Klaus Pfeiffer, Nicola Leibert, Michael Wittmann, Konrad Schultz, and Andreas Von Leupoldt. Reliability and validity of dyspnea numeric rating scales as a patient-reported outcome in pulmonary rehabilitation of COPD. *European Respiratory Journal*, 54(suppl 63), September 2019. ISSN 0903-1936, 1399-3003. doi: 10.1183/13993003.congress-2019.OA3810. URL [https://erj.ersjournals.com/content/54/suppl\\_63/OA3810](https://erj.ersjournals.com/content/54/suppl_63/OA3810).
- [56] Pierantonio Laveneziana, Andre Albuquerque, Andrea Aliverti, Tony Babb, Esther Barreiro, Martin Dres, Bruno-Pierre Dubé, Brigitte Fauroux, Joaquim Gea, Jordan A. Guenette, Anna L. Hudson, Hans-Joachim Kabitz, Franco Laghi, Daniel Langer, Yuan-Ming Luo, J. Alberto Neder, Denis O'Donnell, Michael I. Polkey, Roberto A. Rabinovich, Andrea Rossi, Frédéric Series, Thomas Similowski, Christina M. Spengler, Ioannis Vogiatis, and Samuel Verges. ERS statement on respiratory muscle testing at rest and during exercise. *European Respiratory Journal*, 53(6), June 2019. ISSN 0903-1936, 1399-3003. doi: 10.1183/13993003.01214-2018. URL <https://erj.ersjournals.com/content/53/6/1801214>.
- [57] Masahiro Iwakura, Kazuki Okura, Mika Kubota, Keiyu Sugawara, Atsuyoshi Kawagoshi, Hitomi Takahashi, and Takanobu Shioya. Estimation of minimal clinically important difference for quadriceps and inspiratory muscle strength in older outpatients with chronic obstructive pulmonary disease: a prospective cohort study. *Physical Therapy Research*, 24(1):35–42, 2021. doi: 10.1298/ptr.E10049.
- [58] Marianne Jensen Hjerme stad, Peter M. Fayers, Dagny F. Haugen, Augusto Caraceni, Geoffrey W. Hanks, Jon H. Loge, Robin Fainsinger, Nina Aass, and Stein Kaasa. Studies Comparing Numerical Rating Scales, Verbal Rating Scales, and Visual Analogue Scales for Assessment of Pain Intensity in Adults: A Systematic Literature Review. *Journal of Pain and Symptom Management*, 41(6):1073–1093, June 2011. ISSN 0885-3924. doi: 10.1016/j.jpainsymman.2010.08.016. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0885392411000145>.

- [59] Alessandro Chiarotto, Lara J. Maxwell, Raymond W. Ostelo, Maarten Boers, Peter Tugwell, and Caroline B. Terwee. Measurement Properties of Visual Analogue Scale, Numeric Rating Scale, and Pain Severity Subscale of the Brief Pain Inventory in Patients With Low Back Pain: A Systematic Review. *The Journal of Pain*, 20(3):245–263, March 2019. ISSN 1528-8447. doi: 10.1016/j.jpain.2018.07.009.
- [60] Marco Barbero, Marcos J. Navarro-Santana, María Palacios-Ceña, Ricardo Ortega-Santiago, Corrado Cescon, Deborah Falla, and César Fernández-de-las Peñas. Clinical Significance and Diagnostic Value of Pain Extent Extracted from Pain Drawings: A Scoping Review. *Diagnostics*, 10(8):604, August 2020. ISSN 2075-4418. doi: 10.3390/diagnostics10080604. URL <https://www.mdpi.com/2075-4418/10/8/604>.
- [61] Kerri L. Vasold, Andrew C. Parks, Deanna M. L. Phelan, Matthew B. Pontifex, and James M. Pivarnik. Reliability and Validity of Commercially Available Low-Cost Bioelectrical Impedance Analysis. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 29(4): 406–410, July 2019. ISSN 1543-2742. doi: 10.1123/ijsem.2018-0283.
- [62] Martijn A. Spruit, Sally J. Singh, Chris Garvey, Richard ZuWallack, Linda Nici, Carolyn Rochester, Kylie Hill, Anne E. Holland, Suzanne C. Lareau, William D.-C. Man, Fabio Pitta, Louise Sewell, Jonathan Raskin, Jean Bourbeau, Rebecca Crouch, Frits M. E. Franssen, Richard Casaburi, Jan H. Vercoelen, Ioannis Vogiatzis, Rik Gosselink, Enrico M. Clini, Tanja W. Effing, François Maltais, Job van der Palen, Thierry Troosters, Daisy J. A. Janssen, Eileen Collins, Judith Garcia-Aymerich, Dina Brooks, Bonnie F. Fahy, Milo A. Puhan, Martine Hoogendoorn, Rachel Garrod, Annemie M. W. J. Schols, Brian Carlin, Roberto Benzo, Paula Meek, Mike Morgan, Maureen P. M. H. Rutten-van Mölken, Andrew L. Ries, Barry Make, Roger S. Goldstein, Claire A. Dowson, Jan L. Brozek, Claudio F. Donner, Emiel F. M. Wouters, and ATS/ERS Task Force on Pulmonary Rehabilitation. An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 188(8):e13–64, October 2013. ISSN 1535-4970. doi: 10.1164/rccm.201309-1634ST.
- [63] Lucy Yardley, Nina Beyer, Klaus Hauer, Gertrudis Kempen, Chantal Piot-Ziegler, and Chris Todd. Development and initial validation of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I). *Age and Ageing*, 34(6):614–619, November 2005. ISSN 0002-0729. doi: 10.1093/ageing/afi196. URL <https://doi.org/10.1093/ageing/afi196>.
- [64] Michael T. Morgan, Lauren A. Friscia, Susan L. Whitney, Joseph M. Furman, and Patrick J. Sparto. Reliability and Validity of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I) in Individuals with Dizziness and Imbalance. *Otology & neurotology : official publication of the American Otological Society, American Neurotology Society [and] European Academy of Otolaryngology and Neurotology*, 34(6):1104–1108, August 2013. ISSN 1531-7129. doi: 10.1097/MAO.0b013e318281df5d. URL <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3701738/>.
- [65] Claire Cleland, Sara Ferguson, Geraint Ellis, and Ruth F. Hunter. Validity of the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) for assessing moderate-to-vigorous physical activity and sedentary behaviour of older adults in the United Kingdom. *BMC Medical Research Methodology*, 18(1):176, December 2018. ISSN 1471-2288. doi: 10.1186/s12874-018-0642-3. URL <https://doi.org/10.1186/s12874-018-0642-3>.
- [66] Lise Crimière, Claire Lhomme, Agnès Caille, Bruno Giraudeau, Pierre Lecomte, Charles Couet, Jean-Michel Oppert, and David Jacobi. Reproducibility and Validity of the French Version of the Long International Physical Activity Questionnaire in Patients With Type 2 Diabetes. *Journal of Physical Activity and Health*, 8(6):858–865, August 2011. ISSN 1543-5474, 1543-3080. doi: 10.1123/jpah.8.6.858. URL <http://journals.humankinetics.com/view/journals/jpah/8/6/article-p858.xml>.
- [67] Cora L. Craig, Alison L. Marshall, Michael Sjöström, Adrian E. Bauman, Michael L. Booth, Barbara E. Ainsworth, Michael Pratt, Ulf Ekelund, Agneta Yngve, James F. Sallis, and Pekka Oja. International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(8):1381–1395, August 2003. ISSN 0195-9131. doi: 10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB.
- [68] P. W. Jones, G. Harding, P. Berry, I. Wiklund, W.-H. Chen, and N. Kline Leidy. Development and first validation of the COPD Assessment Test. *The European Respiratory Journal*, 34(3):648–654, September 2009. ISSN 1399-3003. doi: 10.1183/09031936.00102509.
- [69] Nisha Gupta, Lancelot M. Pinto, Andreea Morogan, and Jean Bourbeau. The COPD assessment test: a systematic review. *The European Respiratory Journal*, 44(4):873–884, October 2014. ISSN 1399-3003. doi: 10.1183/09031936.00025214.
- [70] Dionne E. Smid, Frits M. E. Franssen, Sarah Houben-Wilke, Lowie E. G. W. Vanfleteren, Daisy J. A. Janssen, Emiel F. M. Wouters, and Martijn A. Spruit. Responsiveness and MCID Estimates for CAT, CCQ, and HADS in Patients With COPD Undergoing Pulmonary Rehabilitation: A Prospective Analysis. *Journal of the American Medical Directors Association*, 18(1):53–58, January 2017. ISSN 1538-9375. doi: 10.1016/j.jamda.2016.08.002.
- [71] Henry Brodaty, Nicola M. Kemp, and Lee-Fay Low. Characteristics of the GPCOG, a screening tool for cognitive impairment. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 19(9):870–874, September 2004. ISSN 0885-6230. doi: 10.1002/gps.1167.
- [72] Philippe Thomas, Cyril Hazif-Thomas, François Viéban, Philippe Faugeron, Richard Peix, and Jean-Pierre Clément. Intérêt du GPCog pour le repérage d'une population âgée à risque élevé de démence. *Psychol NeuroPsychiatr*, 4(1):69–77, 2006.
- [73] Jennifer L. McGinley, Richard Baker, Rory Wolfe, and Meg E. Morris. The reliability of three-dimensional kinematic gait measurements: a systematic review. *Gait & Posture*, 29(3):360–369, April 2009. ISSN 1879-2219. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.09.003.
- [74] Lotte Janssens, Simon Brumagne, Alison K. McConnell, Kurt Claeys, Madelon Pijnenburg, Nina Goossens, Chris Burtin, Wim Janssens, Marc Decramer, and Thierry Troosters. Impaired postural control reduces sit-to-stand-to-sit performance in individuals with chronic obstructive pulmonary disease. *PLoS ONE*, 9(2):e82247, 2014. ISSN 1932-6203. doi: 10.1371/journal.pone.0088247.
- [75] Kirsti J. Loughran, Greg Atkinson, John Dixon, Denis Martin, and Samantha L. Harrison. Pain is associated with balance and gait impairment in people with Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD). *European Respiratory Journal*, 56(suppl 64), September 2020. ISSN 0903-1936, 1399-3003. doi: 10.1183/13993003.congress-2020.2451. URL [https://erj.ersjournals.com/content/56/suppl\\_64/2451](https://erj.ersjournals.com/content/56/suppl_64/2451).
- [76] Takeshi Kera, Hisashi Kawai, Junta Takahashi, Hirohiko Hirano, Yutaka Watanabe, Yoshinori Fujiwara, Kazushige Ihara, Hunkyung Kim, and Shuichi Obuchi. Development of a screening formula for

sarcopenia using ground reaction force during sit-to-stand motion. *Gait & Posture*, 93:177–182, March 2022. ISSN 0966-6362. doi: 10.1016/j.gaitpost.2022.02.001. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966636222000352>.

## **Annexe 9. Description détaillée du mGADL**

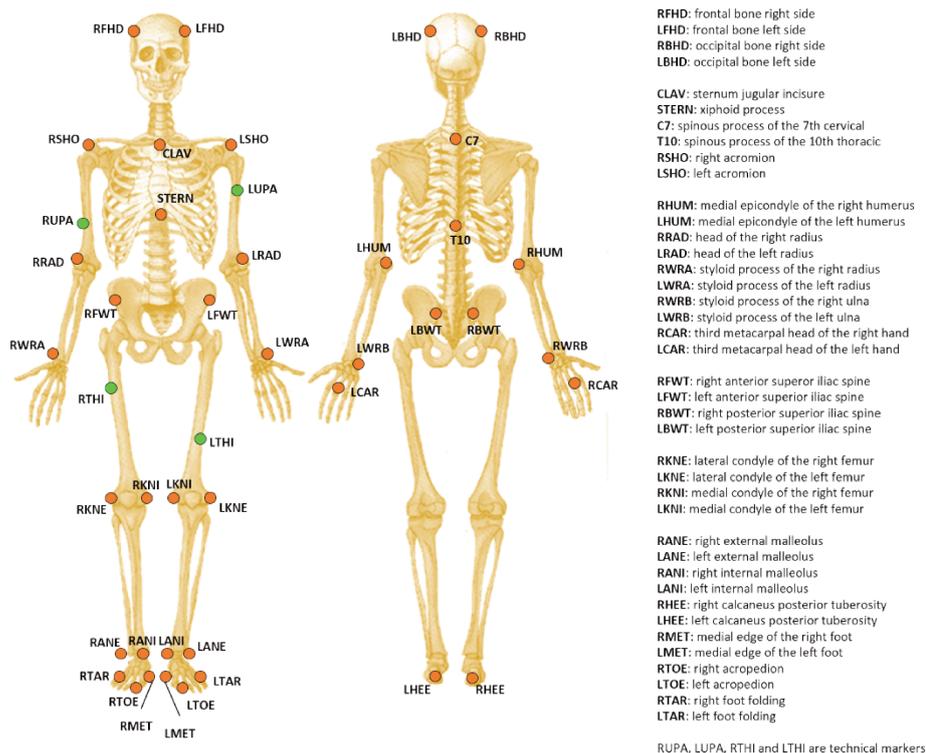
### *1. Réalisation du mGADL*

Le mGADL est une version modifiée et raccourcie du Glittre-ADL. Le Glittre-ADL est un test de terrain, développé pour évaluer les capacités fonctionnelles des individus avec BPCO au cours de tâches rencontrées dans leurs vies quotidiennes (Skumlien 2006). Il représente une évaluation clinique valide, et ses qualités métrologiques sont bien documentées (Bui 2017). Pour des raisons de faisabilité expérimentale, nous proposons ici une version raccourcie (3 tours au lieu de 5) et sans sac à dos. Ces modifications ont été précédemment validées chez les pBPCO (Mendes 2018, 2020).

Au début du test, le participant est assis sur une chaise. Il est demandé à l'individu de se lever de la chaise, de marcher en ligne droite de 10m, de monter et descendre deux marches pour atteindre une étagère. Le participant va ensuite déplacer trois objets (pesant chacun un kilo) de l'étagère à niveau d'épaule jusque l'étagère à niveau de hanche, puis jusqu'au sol. Ensuite le participant replace les objets sur l'étagère à hauteur de hanche, puis sur celle à hauteur d'épaule. Enfin, le participant retourne jusqu'à la chaise, en prenant le même chemin qu'à l'aller. Ce circuit est répété trois fois. Le participant est informé qu'il doit réaliser le test à « sa vitesse de confort, comme s'il était à la maison ».

### *2. Définitions des évènements*

Pour rappel, le *marker-set* est présenté sur la figure ci-dessous.



Tasks	Event	Definition of event
<b>STW</b>	Beginning	First frame where CLAV marker position is higher to 0 in anteroposterior (AP) direction
	End	First position of RTOE or LTOE in AP direction superior to two standard deviations of the mean position during the 100 first frames following the beginning of STW
<b>WALK 1 (first part of the lap)</b>	Beginning	Corresponds to End of STW
	End	First frame where the position of RTOE or LTOE marker exceed 9.3 meters in AP direction after the beginning of the WALK 1
<b>STAIRS 1 (first part of the lap)</b>	Beginning	Corresponds to End of WALK 1
	End	First frame where the position of RTOE or LTOE marker exceed 11.1 meters in AP direction after the beginning of the STAIRS 1
<b>SHELF</b>	Beginning	First frame where the position of RTOE or LTOE marker exceed 11.25 meters in AP direction after the end of STAIRS 1
	End	First frame where the position of RTOE or LTOE marker is below 12 meters in AP direction after the beginning of the SHELF

<b>STAIRS 2 (second part of the lap)</b>	Beginning	First frame where the position of RTOE or LTOE marker is below 11.25 meters in AP direction after the end of the SHELF
	End	First frame where the position of RTOE or LTOE marker is below 9.3 meters in AP direction after the beginning of the STAIRS 2
<b>WALK 2 (second part of the lap)</b>	Beginning	Corresponds to the end of STAIRS 2
	End	First frame where the position of RTOE or LTOE marker is below 1 meter in AP direction after the beginning of the WALK 2
<b>WTS</b>	Beginning	Corresponds to the end of WALK 2
	End	First frame where CLAV marker position is below 0 in AP direction

### References

Siri Skumlien, Turid Hagelund, Oystein Bjørtuft, and Morten SkredeRyg. A field test of functional status as performance of activities of daily living in COPD patients. *Respiratory Medicine*, 100(2):316–323, February 2006.

Kim-Ly Bui, André Nyberg, François Maltais, and Didier Saey. Functional Tests in Chronic Obstructive Pulmonary Disease, Part2: Measurement Properties. *Annals of the American Thoracic Society*, 14(5):785–794, February 2017.

Liliane Mendes, Lissa Spencer, Bill Za\_ropoulos, Veronica Parreira, and Jennifer Alison. Glittre-ADL test performed in 3 laps as an alternative to the 5 laps test. *European Respiratory Journal*, 52(suppl 62), September 2018.

Liliane P. de Souza Mendes, Verônica Franco Parreira, Lissa M.Spencer, Danielle Soares Rocha Vieira, and Jennifer Ailsey Alison. Validity and Responsiveness of the Glittre-ADL Test without a Backpack in People with Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *COPD: Journal of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 17(4):392–400, July 2020.

## **Annexe 10. Article *ATTRACTION 1***

**Title: Biomechanical analysis of postural control during tasks of daily living in people with moderate to severe COPD: an exploratory study.**

Romain Pichon, PT, MSc <sup>a,b</sup>, Mathieu Ménard, Dip.Ost, PhD <sup>b,c</sup>, Diane Haering PhD <sup>b</sup>, Graziella Brinchault, MD <sup>d 1</sup>, Arnel Crétual, PhD <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Institut de Formation en Pédiatrie-Podologie, Ergothérapie et Kinésithérapie (IFPEK), 12 rue Jean-Louis Bertrand, 35000 Rennes, France.

<sup>b</sup> University Rennes 2, M2S Laboratory - EA 7470, 14 avenue Robert Schumann, 35170 Bruz, France.

<sup>c</sup> Institut d'Ostéopathie de Rennes - Bretagne (IO-RB), 50 rue Blaise Pascal, 35170 Bruz, France.

<sup>d</sup> Pulmonology unit, Cardio-Respiratory Center, Pontchaillou University Hospital, 2 rue Henri Le Guilloux, 35000 Rennes, France

**Corresponding author:** Romain Pichon, Institut de Formation en Pédiatrie-Podologie, Ergothérapie et Kinésithérapie (IFPEK), 12 rue Jean Louis Bertrand, 35000 Rennes, France.  
r.pichon@ifpek.org ; +33 6 67 77 42 67

**Declaration of interest:** Romain Pichon, Mathieu Ménard, Diane Haering and Arnel Crétual have no conflict of interest to declare. Graziella Brinchault reports grants and personal fees from Boehringer Ingelheim, grants and personal fees from Novartis, personal fees and non-financial support from Chiesi, grants and personal fees from Sanofi grants and personal fees from Pulmon X grants and personal fees from GSK outside the submitted work.

---

<sup>1</sup> Present address for Dr.Brinchault is: AIR de Bretagne, 8 rue Jean-Louis Bertrand, 35000 Rennes

**Acknowledgements:** This research was supported by the IFPEK Rennes and the University of Rennes 2. Sponsors were not involved in the study design, in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the manuscript; and in the decision to submit the manuscript for publication. The authors would like to thank Dr. Stéphanie Guillot (MD), Sophie Jacques (PT) and Elena Le Collen (PT) for the help concerning the recruitment of the study, and Dr. Valerie Attali (MD, PhD) and Dr. Marc Beaumont (PT, PhD) for their expert inputs on the design of the study. Finally, the authors would like to thank all the participants in this study. The person on the figure 1 was designed by pikisuperstar / Freepik.

**Author contributions:** Romain Pichon, Conceptualization; Formal analysis; Investigation; Methodology; Project administration; Software; Visualization; Writing - original draft; Writing - review & editing. Mathieu Ménard, Conceptualization; Investigation; Methodology; Writing - original draft; Writing - review & editing. Diane Haering, Conceptualization; Formal analysis; Investigation; Methodology; Software; Writing - review & editing. Graziella Brinchault, Conceptualization; Investigation; Methodology; Resources; Writing - review & editing. Arnel Crétual, Conceptualization; Formal analysis; Investigation; Methodology; Project administration; Software; Supervision; Visualization; Writing - review & editing.

## **Abstract**

**Background:** Alterations in postural control have been identified as a common clinical manifestation in people with COPD. However, there is a lack of direct data on postural control of the latter during activities of daily living (ADL). Biomechanical analysis could represent a relevant and novel method for assessing postural control during ADL.

**Research question:** What are the characteristics of postural control in individuals with moderate-to-severe COPD during daily living tasks compared to sex- and age-matched individuals without COPD?

**Methods:** A cross-sectional was conducted with a group of people with COPD and a control group. Postural control was assessed during a modified Glittre-ADL (mGADL) test including five daily living tasks (sit-to-walk, walk, going up and down stairs, moving objects on a shelf, and walk-to-sit tasks) by center of mass (COM) parameters using three-dimensional motion capture.

**Results:** Sixteen people with COPD (mean age: 64.8 (9) years, seven females) and sixteen controls (mean age: 64.5 (8) years, seven females) were included in this study. For the entire mGADL, the COM mean velocities (in all directions) and velocity variability in the mediolateral and vertical directions were lower in the COPD group than those in the control group. Between-group differences were also found during specific-task analysis. The COM-related parameters were modified during the stairs, shelf, and walk-to-sit tasks, but no difference was noted during walking and sit-to-walk transfer.

**Significance:** People with moderate to severe COPD seem to present less movement and variability of their COM during daily tasks compared to non-COPD people. This alternative strategy could be a conservative adaptation related to the pathology and could have some metabolic and stability implications for the realization of daily tasks in people with COPD.

**Keywords:** chronic obstructive pulmonary disease, physical examination, postural balance, rehabilitation

**Manuscript word count:** 2970

### **Highlights**

- Highlight 1: Biomechanical analysis can help analyze postural control during ADL in PwCOPD.
- Highlight 2: PwCOPD seem to present conservative postural control modifications during ADL.
- Highlight 3: A more complex task can induce more important postural control modifications.

## 1. Introduction

Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is a common respiratory condition characterized by persistent respiratory symptoms and airflow limitation due to damage to the airways and/or lung alveoli [1]. According to the World Health Organization (WHO), this disease was the third leading cause of death worldwide in 2019 [2]. COPD therefore represents a major public health issue, and its socioeconomic impact is extremely important [3].

In addition to respiratory symptoms, the evolution of COPD is also associated with the presence of comorbidities [4]. Approximately 86 to 98% of people with COPD (PwCOPD) have at least one comorbidity and approximately 50% of patients have four or more comorbidities [5]. The presence of these comorbidities is associated with worsened quality of life and increased mortality [6,7]. The most common comorbidities are cardiovascular diseases, diabetes, osteoarthritis, and psychiatric conditions [7]. Among these non-respiratory alterations, postural control impairment could be considered another comorbidity in PwCOPD [8].

Postural control is a complex system that can be defined as the act of maintaining, achieving or restoring a state of balance during any posture or activity [9]. Several systematic reviews have been published on postural control impairment in the COPD population [8,10,11]. These systematic reviews highlight that postural control in PwCOPD is impaired compared to that in individuals without COPD. This impairment has been demonstrated through laboratory-based analyses and several validated functional tests for balance assessment [8,11]. Moreover, postural control impairment also has consequences for patients with an increased risk of falling in this population [12] and is associated with greater restrictions in activity and participation according to the International Classification of Health Functioning and Disability [13].

However, few studies have quantitatively assessed postural control in the activities of daily living (ADL) of PwCOPD [14]. Yet, these tasks are central to these patients' lives and are often difficult for them to perform [15]. An *ecological* assessment (in the sense of being closer to real-life situations)[16] would allow the assessment of postural control in these problematic tasks and to specify the role of postural control in the impairment of ADL. The inclusion of ADL assessment is already recommended in the care of PwCOPD, especially in pulmonary rehabilitation [17]. Among the available tools, the Glittre-ADL has been validated in this population and includes several relevant daily tasks (sit-to-walk and walk-to-sit transfers, walking, going up and down stairs, moving objects on a shelf)[18]. This test may provide an interesting basis for assessing postural control during ADL in PwCOPD.

Postural control can be assessed in variety of ways but biomechanical analysis using three-dimensional motion capture appears to be one of the most accurate and robust technique in this area [19]. This analysis allows the quantification of biomechanical and physiological parameters to objectively characterize human movements [20]. Biomechanical analysis has been increasingly employed with success in athletes [21,22] and in medical conditions [20,23–25]. Previous studies have used this methodology to assess kinematic gait parameters in PwCOPD [24], but it also offers the opportunity to collect relevant postural control parameters, such as center of mass (COM) variables [26]. Taken together, biomechanical analysis represents an interesting and performant solution for exploring postural control during daily tasks in COPD population.

The aim of this study is to characterize the postural control of people with moderate-to-severe COPD during daily living tasks using biomechanical analysis, and to compare it to that of people without COPD.

## **2. Methods**

### *2.1. Study settings*

A cross-sectional study was implemented in the Mouvement, Sport, Santé (M2S) Laboratory of Rennes 2 University, Rennes, France. The study received ethical approval from the *Comite de Protection des Personnes* SOOM-1 (ID-RCB 2021-A00482-39) and complied with the tenets of the declaration of Helsinki. The study was prospectively registered on ClinicalTrials.gov (NCT05211674) and the protocol was published elsewhere [27].

### *2.2. Participants*

Two groups of individuals were included in this study: a group of PwCOPD and a control group. For the COPD group, inclusion criteria was: Stage 2 and 3 (A-D) COPD with a confirmed diagnosis according to GOLD criteria. Exclusion criteria were: (1) Presence of long-term or exercise-based oxygen therapy, (2) Presence of a medically diagnosed pathology resulting in manifest disorders of balance, (3) Inability to walk 150 m without stopping and to climb or descend stairs, (4) History of pneumonectomy or lobectomy within the last six months, (5) Existence of an acute respiratory exacerbation within the last two months, (6) Presence of obvious cognitive impairment that impairs comprehension of instructions, (7) Body mass index less than 21 or more than 35 kg/m<sup>2</sup>.

The constitution of the control group was performed according to a frequency-matching procedure with age and sex-designated at birth as relevant parameters [28].

### *2.3. Experimental procedure*

Participants realized a functional test of ADL, that correspond to a modified version of the Glittre-ADL (mGADL) performed without a backpack, initially described by Skumlien et al.[18]. The mGADL consists of three laps of the following tasks (Figure 1): 1. Sit-to-walk transfer (STW); 2. Walking for ten meters (WALK); 3. Climbing up and down stairs (STAIRS); 4. Moving three objects of one kilogram each on a shelf (SHELF); 5. STAIRS; 6.

WALK; 7. Walk-to-sit transfer (WTS). The first part of the lap was defined as the part from the beginning of STW to the end of the shelf task, and the second one from the end of the shelf task to the end of the WTS. The complete description of the mGADL could be consulted in supplementary material.

#### *2.4. Data acquisition and processing*

A biomechanical analysis was performed during the mGADL. Whole-body kinematics were captured at 100 Hz using a 24-camera motion-capture system (Qualisys AB, Gothenburg, Sweden). A whole-body set of 44 reflective markers were positioned according to the International Society of Biomechanics recommendations (see supplementary material for details concerning the marker set) [29,30]. For each mGADL, markers trajectories were identified by custom models, followed by a systematic visual inspection and corrections if necessary. Gap-filling of missing parts was performed using markers relational models. For each file and each trajectory, a spike detection was run out and in case of detection, a moving average filter was applied to the concerned frames [31]. C3D files obtained from the capture system were exported to MATLAB (Mathworks, Natick, USA) and the CusTom toolbox [32] was used to determine COM position combining anthropometric data and a 13-segment model.

#### *2.5. Outcomes parameters*

The COM parameters used as outcomes were the following:

COM mean velocity was determined as the sum of the absolute displacements of COM divided by task duration. COM velocity variability was calculated as the standard deviation of the COM velocities measured during the tasks. Peak COM velocity was determined as the maximum velocity measured during the tasks. All these parameters were calculated in the

anteroposterior (AP), mediolateral (ML) and vertical directions, for the whole mGADL, and during each STW, STAIRS, SHELF, and WTS.

During the WALK, margins of stability (MOS) in AP and ML were calculated at each heel strike. MOS were determined as the difference between the extremity of the base of support and the extrapolated COM [33]. The extremity of the base of support was defined as: in AP, the position of the first toe marker, and in ML, the position of the lateral marker of the forefoot.

The completion time for the whole mGADL and the different sub-tasks were also calculated.

### *2.6. Sample size calculation*

According to the exploratory nature of the study, the sample size calculation was performed using two different outcomes with a power of 80% and alpha risk fixed at 5%. A first calculation was made with MOS in ML direction: based on a previous study [34], a number of sixteen participants per group was required to detect a between-group difference. The second sample size calculation was established on the duration of the WTS: based on the previous work of Janssens et al.[35], it was determined that two groups of nine participants would be needed. Finally, a total sample size of thirty-two participants with two groups of sixteen, was planned for this study.

### *2.7. Statistical analysis*

The descriptive variables were presented as mean (standard deviation), median [interquartile range] or number of occurrences, as appropriate. Visual graphical analysis and Shapiro and Wilk tests were used to assess data normality. The homogeneity of variances was assessed by Levene's test and the sphericity by the Mauchly's test. Independent Student t test, Mann-Whitney test or Chi<sup>2</sup> test were performed for the between-group comparisons. Repeated-measures analysis of variance (ANOVA) or non-parametric ANOVA-type models (available

from `npardl` R-package [36]) were employed to assess the effect of group (COPD, controls), laps or part of the lap, and the potential interaction effects. Post hoc analyses were performed using Bonferroni's correction. Significance level was fixed for all test at 0.05. When available, effect sizes were calculated using Cohen's  $d$  [37], rank biserial correlation ( $r$ ) [38], generalized eta squared ( $\eta^2_G$ ) [39] or Relative Treatment Effect (RTE) [36] as appropriate. Statistical analyses were realized using Jamovi (v.2.3; The Jamovi Project) and R Statistical Software (v.4.2.2; R Core Team).

### 3. Results

Thirty-two participants (sixteen people with moderate to severe COPD and sixteen controls) completed the study (Table 1).

PwCOPD took a longer time to complete the mGADL (median time: 219 [64] vs 184 [43] seconds,  $p = 0.047$ ;  $d = 0.41$ ). Concerning the sub-tasks, completion duration was higher for PwCOPD for the WTS ( $F = 4.56$ ;  $p = 0.041$ ;  $\eta^2_G = 0.112$ ), duration of breaks ( $U = 94.0$ ;  $p = 0.003$ ;  $r = 0.58$ ) and a trend was noted for STAIRS ( $F = 3.75$ ;  $p = 0.053$ ; RTE = 0.18). There was no significant difference in the time taken to complete the other sub-tasks.

#### 3.1. mGADL

The between-group comparisons and corresponding effect sizes for the COM parameters during the whole mGADL are detailed in Table 2. PwCOPD presented significant smaller values for COM mean velocity in AP, ML and vertical directions, COM velocity variability in ML and vertical directions and COM peak velocity in vertical direction.

#### 3.2. Sub-tasks

The summary of the analyses of the COM parameters for the STW, WALK, STAIRS, SHELF and WTS is presented in the Table 3. The details of these analyses are available in supplementary material.

### 3.2.1. STW

During the STW, no effect of the group was observed on any of the COM parameters. An effect of the lap on the COM mean velocity ML ( $F = 3.74$ ;  $p = 0.029$ ;  $\eta^2_G = 0.043$ ) was observed but post hoc tests did not reveal significant differences between laps.

### 3.2.2. WALK

During the WALK, no group effect was observed for mean nor variability of MOS in AP and ML directions. A significant effect for the part of the lap was found for almost all the MOS parameters (excepted for COM peak velocity in ML and there was a trend for COM peak velocity in vertical direction ( $F = 3.70$ ;  $p = 0.054$ ;  $RTE = 0.15$ )), indicating higher values in the second part of each lap. A group by part of the lap interaction was found for mean MOS in the ML direction ( $F = 5.32$ ;  $p = 0.028$ ;  $\eta^2_G = 0.021$ ), but post-hoc tests only revealed an increase of this parameter in the second part of the test, regardless of the group.

### 3.2.3. STAIRS

During the STAIRS, a group effect was found for the COM mean velocity in the vertical direction ( $F = 5.64$ ;  $p = 0.017$ ;  $RTE = 0.21$ ), indicating smaller values in the COPD group. A trend towards smaller values in COPD group existed for the COM mean velocity in AP ( $F = 3.58$ ;  $p = 0.058$ ;  $RTE = 0.18$ ) and for the COM peak velocity in vertical direction ( $F = 2.93$ ;  $p = 0.087$ ;  $RTE = 0.15$ ).

### 3.2.4. SHELF

During the SHELF, a group effect was found for the COM mean velocity in AP ( $F = 4.31$ ;  $p = 0.047$ ;  $\eta^2_G = 0.106$ ), for the COM peak velocity in the vertical direction ( $F = 7.50$ ;  $p = 0.010$ ;

$\eta^2_G = 0.181$ ) and for the COM velocity variability in the vertical direction ( $F = 5.28$ ;  $p = 0.029$ ;  $\eta^2_G = 0.141$ ), always indicating smaller values in PwCOPD. A trend towards smaller values in COPD group was observed for the COM mean velocity in ML ( $F = 4.13$ ;  $p = 0.051$ ;  $\eta^2_G = 0.110$ ) and for the COM velocity variability in ML ( $F = 3.12$ ;  $p = 0.077$ ; RTE = 0.16).

### 3.2.5. WTS

An effect of group was observed during the WTS for the COM mean velocity in ML ( $F = 5.62$ ;  $p = 0.024$ ;  $\eta^2_G = 0.069$ ) and in vertical direction ( $F = 4.05$ ;  $p = 0.044$ ; RTE = 0.19), indicating significantly smaller values in COPD group. There was a trend towards smaller values in COPD group for COM velocity variability in vertical direction ( $F = 3.13$ ;  $p = 0.087$ ;  $\eta^2_G = 0.084$ ) and for COM peak velocity in AP ( $F = 3.38$ ;  $p = 0.066$ ; RTE = 0.17).

## 4. Discussion

PwCOPD showed changes in postural control parameters (lower COM mean velocity, lower COM velocity variability in the ML and vertical directions and lower COM peak velocity in the vertical direction) during a sequence of ADL compared to controls. This study also pointed out postural control differences during specific daily tasks (i.e., ascending and descending stairs, moving objects on a shelf or walk-to-sit transfers). These findings can contribute to comprehension, future research, assessment, and interventions related to postural control modifications in PwCOPD.

### 4.1. Postural control of PwCOPD during a sequence of ADL

The results of this study showed that COM mean velocities were reduced in PwCOPD, indicating greater control of COM movements during ADL performed in this study. To our knowledge, this study is the first to explore the postural control of PwCOPD during a realistic sequence of ADL using three-dimensional motion capture. Consistent with our results, a study

by Fallatafti et al.[34] reported greater MOS in the ML direction for PwCOPD, reflecting a cautious strategy during gait. Taken together, these findings may reflect a more conservative postural control regulation in PwCOPD. COPD reduces the capacity and efficiency of many human systems (such as cardiopulmonary, muscular and central nervous systems) [40], leading to an increased resting energy expenditure [41]. Thus, it is necessary for the central nervous system to optimize and regulate the actions of body systems to ensure that daily tasks are carried out properly. Consequently, a more conservative postural control strategy may be adopted by PwCOPD, as they have less operational energy reserve to perform ADL.

In this study, PwCOPD also presented smaller values for variability parameters in the ML and vertical directions. The scientific literature is divided on the role variability of such parameters on good postural control performance [42]. Some authors have suggested that higher variability may be associated with an increased instability [43,44]. On the other hand, studies have shown that higher variability signs a necessary exploratory compoment that lead to better stability [42,45]. It can be hypothesized that a high-performance postural control system will allow for precise, frequent, and rapid adaptations in response to both internal and external perturbations [46,47]. In the case of the PwCOPD included in this study, the decrease in variability could be consistent with the potential conservative postural control strategy discussed above. COPD could impose to people to perform daily tasks with an energy-efficient strategy, reducing overall COM displacements as well as micro-adaptations required to anticipate, react, and act in real life.

With regard to the sub-tasks analyses, we observed significant between-group differences during SHELF, STAIRS and WTS. Previous research has shown that SHELF and STAIRS are among the more physiologically demanding tasks proposed in the Glittre-ADL [48,49]. Additionally, SHELF, WTS and STAIRS implicate multiple biomechanical constraints (e.g., level change, lifting objects, decelerating, turning, coordinating the limbs, implicating an

important number of muscle groups) that could suggest that they are the more biomechanically complex tasks of mGADL[50–53]. Thus, it can be hypothesized that complex ADL tasks induce more pronounced changes in postural control in PwCOPD.

#### *4.2. Study Limitations*

This was an exploratory study, and numerous postural control parameters were analyzed. Even if a sample size calculation had been performed, it is probable that this study was underpowered for several outcomes used for analyses. It is also not possible to extrapolate the results to the entire COPD population. Indeed, only people with moderate-to-severe COPD were included in this study. Another limitation is that the ADL sequence was performed in a laboratory environment and the participants were equipped with numerous markers. This is far from real life and could induce some changes in participants' movements patterns compared to what they do in their daily lives.

#### *4.3. Research perspectives and clinical implications*

To draw firm conclusions about postural control parameters in PwCOPD during ADL, replication, and confirmation of the results of the current study with a larger sample size are needed together with PwCOPD of all stages. During these ADL, the inclusion of metabolic assessments could help the comprehension of postural control modifications in PwCOPD. In addition, future research will need to include real-life assessments in people's own environments to close the gap between laboratory analyses and what is really happening in daily life. Moreover, the association between postural control modifications in ADL and symptoms (mainly dyspnea) should be clarified in the future. Finally, this study reinforces the need for implicated healthcare professionals to include this potential alteration in their clinical reasoning (in their a priori assumptions as well as in assessments and interventions).

## 5. Conclusion

People with moderate-to-severe COPD seem to present modified postural control during tasks that are close to ADL. This alternative strategy could be a conservative adaptation related to the pathology and could have some metabolic and stability implications for the realization of daily tasks. These findings highlight the need to assess postural control in PwCOPD and to specify the potential interaction between these modifications and the respiratory symptoms experienced by the latter during ADL.

## References

- [1] Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease, Global Strategy for the diagnosis, Management, and prevention of COPD, 2023 report, 2023. <https://goldcopd.org/2023-gold-report-2/>
- [2] World Health Organization, Global health estimates: Leading causes of death, *Www.Who.Int.* (2020). <https://www.who.int/data/gho/data/themes/mortality-and-global-health-estimates/ghe-leading-causes-of-death>
- [3] I. Iheanacho, S. Zhang, D. King, M. Rizzo, A.S. Ismaila, Economic Burden of Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD): A Systematic Literature Review, *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis.* 15 (2020) 439–460. <https://doi.org/10.2147/COPD.S234942>.
- [4] A. Cavallès, G. Brinchault-Rabin, A. Dixmier, F. Goupil, C. Gut-Gobert, S. Marchand-Adam, et al., Comorbidities of COPD, *Eur Respir Rev.* 22 (2013) 454–475. <https://doi.org/10.1183/09059180.00008612>.
- [5] L.E.G.W. Vanfleteren, M.A. Spruit, M. Groenen, S. Gaffron, V.P.M. van Empel, P.L.B. Bruijnzeel, et al., Clusters of comorbidities based on validated objective measurements and systemic inflammation in patients with chronic obstructive pulmonary disease, *Am J Respir Crit Care Med.* 187 (2013) 728–735. <https://doi.org/10.1164/rccm.201209-1665OC>.
- [6] M.B. Huber, M.E. Wacker, C.F. Vogelmeier, R. Leidl, Comorbid Influences on Generic Health-Related Quality of Life in COPD: A Systematic Review, *PLoS One.* 10 (2015) e0132670. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132670>.
- [7] N.C. dos Santos, M. Miravittles, A.A. Camelier, V.D.C. de Almeida, R.R.B.T. Maciel, F.W.R. Camelier, Prevalence and Impact of Comorbidities in Individuals with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review, *Tuberc Respir Dis (Seoul).* 85 (2022) 205–220. <https://doi.org/10.4046/trd.2021.0179>.

- [8] K.J. Loughran, G. Atkinson, M.K. Beauchamp, J. Dixon, D. Martin, S. Rahim, et al., Balance impairment in individuals with COPD: a systematic review with meta-analysis, *Thorax*. 75 (2020) 539–546. <https://doi.org/10.1136/thoraxjnl-2019-213608>.
- [9] A.S. Pollock, B.R. Durward, P.J. Rowe, J.P. Paul, What is balance?, *Clin Rehabil*. 14 (2000) 402–406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>.
- [10] E. Porto, A. Castro, V. Schmidt, H. Rabelo, C. Kümpel, O. Nascimento, et al., Postural control in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review, *Int J Chron Obstruct Pulmon Dis*. 10 (2015) 1233–1239. <https://doi.org/10.2147/COPD.S63955>.
- [11] B. Chuatrakoon, S.P.C. Ngai, S. Sungkarat, S. Uthaikhup, Balance Impairment and Effectiveness of Exercise Intervention in Chronic Obstructive Pulmonary Disease-A Systematic Review, *Arch Phys Med Rehabil*. 101 (2020) 1590–1602. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2020.01.016>.
- [12] C.C. Oliveira, R. Annoni, A.L. Lee, J. McGinley, L.B. Irving, L. Denehy, Falls prevalence and risk factors in people with chronic obstructive pulmonary disease: A systematic review, *Respir Med*. 176 (2021) 106284. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2020.106284>.
- [13] J. Cruz, A. Marques, C. Jácome, R. Gabriel, D. Figueiredo, Global Functioning of COPD Patients With and Without Functional Balance Impairment: An Exploratory Analysis Based on the ICF Framework, *COPD*. 12 (2015) 207–216. <https://doi.org/10.3109/15412555.2014.933793>.
- [14] R. Pichon, O. Van Hove, M. Ménard, D. Haering, A. Crétual, Impairment and characteristics of postural control sub-components in people with COPD: a scoping review, *Disability and Rehabilitation*. 0 (2022) 1–16. <https://doi.org/10.1080/09638288.2022.2107083>.
- [15] J. Annegarn, K. Meijer, V.L. Passos, K. Stute, J. Wiechert, H.H.C.M. Savelberg, et al., Problematic activities of daily life are weakly associated with clinical characteristics in COPD, *J Am Med Dir Assoc*. 13 (2012) 284–290. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2011.01.002>.
- [16] A. McKeon, M. McCue, E. Skidmore, M. Schein, J. Kulzer, Ecological momentary assessment for rehabilitation of chronic illness and disability, *Disabil Rehabil*. 40 (2018) 974–987. <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1280545>.
- [17] M.A. Spruit, S.J. Singh, C. Garvey, R. ZuWallack, L. Nici, C. Rochester, et al., An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation, *Am J Respir Crit Care Med*. 188 (2013) e13-64. <https://doi.org/10.1164/rccm.201309-1634ST>.
- [18] S. Skumlien, T. Hagelund, O. Bjørtuft, M.S. Ryg, A field test of functional status as performance of activities of daily living in COPD patients, *Respir Med*. 100 (2006) 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2005.04.022>.

- [19] T. Paillard, F. Noé, Techniques and Methods for Testing the Postural Function in Healthy and Pathological Subjects, *BioMed Research International*. 2015 (2015) 1–15. <https://doi.org/10.1155/2015/891390>.
- [20] J. Rhodes, A. Tagawa, A. McCoy, D. Bazett-Jones, A. Skinner, L. Leveille, et al., Using Motion Analysis in the Evaluation, Treatment & Rehabilitation of Pediatric & Adolescent Knee Injuries: A Review of the Literature, *Clinics in Sports Medicine*. 41 (2022) 671–685. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2022.07.001>.
- [21] C. Martin, P. Touzard, N. Horvais, P. Puchaud, R. Kulpa, B. Bideau, et al., Influence of shoe torsional stiffness on foot and ankle biomechanics during tennis forehand strokes, *Eur J Sport Sci*. (2022) 1–11. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2153232>.
- [22] M. Ménard, A. Sorel, R. Boumpoutou, R. Kulpa, H.A. Kerhervé, B. Bideau, A musculoskeletal modelling approach of the assessment of the risk of hamstring injuries in professional soccer players: a pilot study, *Science and Medicine in Football*. 5 (2021) 55–58. <https://doi.org/10.1080/24733938.2020.1786765>.
- [23] T. Van Crieginge, W. Saeys, A. Halleman, S. Velghe, P.-J. Viskens, L. Vereeck, et al., Trunk biomechanics during hemiplegic gait after stroke: A systematic review, *Gait Posture*. 54 (2017) 133–143. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.03.004>.
- [24] M. Zago, C. Sforza, D.R. Bonardi, E.E. Guffanti, M. Galli, Gait analysis in patients with chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review, *Gait Posture*. 61 (2018) 408–415. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.02.007>.
- [25] M. Coca-Tapia, A. Cuesta-Gómez, F. Molina-Rueda, M. Carratalá-Tejada, Gait Pattern in People with Multiple Sclerosis: A Systematic Review, *Diagnostics (Basel)*. 11 (2021) 584. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11040584>.
- [26] G.F. Devetak, R.C.D. Bohrer, A.L.F. Rodacki, E.F. Manffra, Center of mass in analysis of dynamic stability during gait following stroke: A systematic review, *Gait Posture*. 72 (2019) 154–166. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.06.006>.
- [27] R. Pichon, M. Ménard, D. Hearing, G. Brinchault, A. Crétual, Quantitative analysis of postural control of COPD patients during activities of daily living (ATTRACTION): a study protocol, *European Rehabilitation Journal*. 2 (2022). <https://doi.org/10.52057/erj.v2i1.19>.
- [28] M.H. Gail, Frequency Matching, in: *Wiley StatsRef: Statistics Reference Online*, John Wiley & Sons, Ltd, 2014. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat05163>.
- [29] G. Wu, S. Siegler, P. Allard, C. Kirtley, A. Leardini, D. Rosenbaum, et al., ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion--part I: ankle, hip, and spine. *International Society of Biomechanics, J Biomech*. 35 (2002) 543–548. [https://doi.org/10.1016/s0021-9290\(01\)00222-6](https://doi.org/10.1016/s0021-9290(01)00222-6).
- [30] G. Wu, F.C.T. van der Helm, H.E.J.D. Veeger, M. Makhsous, P. Van Roy, C. Anglin, et al., ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for

- the reporting of human joint motion--Part II: shoulder, elbow, wrist and hand, *J Biomech.* 38 (2005) 981–992. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.05.042>.
- [31] F. Crenna, G.B. Rossi, M. Berardengo, Filtering Biomechanical Signals in Movement Analysis, *Sensors (Basel)*. 21 (2021) 4580. <https://doi.org/10.3390/s21134580>.
- [32] A. Muller, C. Pontonnier, P. Puchaud, G. Dumont, CusToM: a Matlab toolbox for musculoskeletal simulation, *Journal of Open Source Software*. 4 (2019) 927. <https://doi.org/10.21105/joss.00927>.
- [33] A.L. Hof, M.G.J. Gazendam, W.E. Sinke, The condition for dynamic stability, *Journal of Biomechanics*. 38 (2005) 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2004.03.025>.
- [34] F. Fallahtafti, C. Curtze, K. Samson, J.M. Yentes, Chronic obstructive pulmonary disease patients increase medio-lateral stability and limit changes in antero-posterior stability to curb energy expenditure, *Gait Posture*. 75 (2020) 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2019.10.025>.
- [35] L. Janssens, S. Brumagne, A.K. McConnell, K. Claeys, M. Pijnenburg, N. Goossens, et al., Impaired postural control reduces sit-to-stand-to-sit performance in individuals with chronic obstructive pulmonary disease, *PLoS One*. 9 (2014) e88247. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088247>.
- [36] K. Noguchi, Y.R. Gel, E. Brunner, F. Konietzschke, nparLD: An R Software Package for the Nonparametric Analysis of Longitudinal Data in Factorial Experiments, *Journal of Statistical Software*. 50 (2012) 1–23. <https://doi.org/10.18637/jss.v050.i12>.
- [37] D. Lakens, Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs, *Frontiers in Psychology*. 4 (2013). <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2013.00863>.
- [38] D.S. Kerby, The Simple Difference Formula: An Approach to Teaching Nonparametric Correlation, *Comprehensive Psychology*. 3 (2014) 11.IT.3.1. <https://doi.org/10.2466/11.IT.3.1>.
- [39] S. Olejnik, J. Algina, Generalized Eta and Omega Squared Statistics: Measures of Effect Size for Some Common Research Designs, *Psychological Methods*. 8 (2003) 434–447. <https://doi.org/10.1037/1082-989X.8.4.434>.
- [40] K.F. Rabe, H. Watz, Chronic obstructive pulmonary disease, *The Lancet*. 389 (2017) 1931–1940. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)31222-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)31222-9).
- [41] B.R. Ramires, E.P. de Oliveira, G.D. Pimentel, K.C.P. McLellan, D.M. Nakato, M.M. Faganello, et al., Resting energy expenditure and carbohydrate oxidation are higher in elderly patients with COPD: a case control study, *Nutrition Journal*. 11 (2012) 37. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-11-37>.
- [42] M.G. Carpenter, C.D. Murnaghan, J.T. Inglis, Shifting the balance: evidence of an exploratory role for postural sway, *Neuroscience*. 171 (2010) 196–204. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.08.030>.

- [43] K. Le Clair, C. Riach, Postural stability measures: what to measure and for how long, *Clinical Biomechanics*. 11 (1996) 176–178. [https://doi.org/10.1016/0268-0033\(95\)00027-5](https://doi.org/10.1016/0268-0033(95)00027-5).
- [44] B.E. Maki, Gait Changes in Older Adults: Predictors of Falls or Indicators of Fear?, *Journal of the American Geriatrics Society*. 45 (1997) 313–320. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1997.tb00946.x>.
- [45] R. Rajachandrakumar, J. Mann, A. Schinkel-Ivy, A. Mansfield, Exploring the relationship between stability and variability of the centre of mass and centre of pressure, *Gait Posture*. 63 (2018) 254–259. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.05.008>.
- [46] R. Bartlett, J. Wheat, M. Robins, Is movement variability important for sports biomechanists?, *Sports Biomech*. 6 (2007) 224–243. <https://doi.org/10.1080/14763140701322994>.
- [47] M. Mukherjee, J.M. Yentes, Movement variability: A perspective on success in sports, health, and life, *Scand J Med Sci Sports*. 28 (2018) 758–759. <https://doi.org/10.1111/sms.13038>.
- [48] V. Cavalheri, L. Donária, T. Ferreira, M. Finatti, C.A. Camillo, E.M. Cipulo Ramos, et al., Energy expenditure during daily activities as measured by two motion sensors in patients with COPD, *Respir Med*. 105 (2011) 922–929. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2011.01.004>.
- [49] A.A. Gulart, A.B. Munari, K. Dos Santos, C. Tressoldi, M. Karloh, A.F. Mayer, Physiological Responses and Dynamic Hyperinflation Induced by Unsupported Arm Activities Involved in Multiple-Task Activities of Daily Living Test in Patients With COPD, *J Cardiopulm Rehabil Prev*. 38 (2018) E12–E15. <https://doi.org/10.1097/HCR.0000000000000339>.
- [50] D. Stambolian, M. Eltoukhy, S. Asfour, Development and validation of a three dimensional dynamic biomechanical lifting model for lower back evaluation for careful box placement, *International Journal of Industrial Ergonomics*. 54 (2016) 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2015.12.005>.
- [51] T.P. Andriacchi, G.B. Andersson, R.W. Fermier, D. Stern, J.O. Galante, A study of lower-limb mechanics during stair-climbing, *J Bone Joint Surg Am*. 62 (1980) 749–757.
- [52] D.S. Jevsevar, P.O. Riley, W.A. Hodge, D.E. Krebs, Knee Kinematics and Kinetics During Locomotor Activities of Daily Living in Subjects with Knee Arthroplasty and in Healthy Control Subjects, *Physical Therapy*. 73 (1993) 229–239. <https://doi.org/10.1093/ptj/73.4.229>.
- [53] M.T. Thigpen, K.E. Light, G.L. Creel, S.M. Flynn, Turning Difficulty Characteristics of Adults Aged 65 Years or Older, *Physical Therapy*. 80 (2000) 1174–1187. <https://doi.org/10.1093/ptj/80.12.1174>.

## Annexe 11. Résultats des analyses statistiques ATTRACTION partie 1

Analyses of group, lap (and part of lap if relevant) effects and interactions for STW, Stairs, Shelf and WTS tasks.

Variables	STW	STAIRS	SHELF	WTS	
<b>Mean COM velocity AP</b>	Group: p = 0.116 Lap: p = 0.841 Group*Lap: p = 0.402	Group: p = 0.052 <b>Lap: p &lt; 0.001</b> <b>Part: p &lt; 0.001</b>	Group*Lap: p = 0.061 Group*Part: p = 0.621 Group*Part*Lap: p = 0.154 <b>Lap*Part: p = 0.005</b>	<b>Group: p = 0.047</b> Lap: p = 0.121 Group*Lap: p = 0.928	Group: p = 0.163 Lap: p = 0.123 Group*Lap: p = 0.274
<b>Mean COM velocity ML</b>	Group: p = 0.746 <b>Lap: p = 0.029</b> Group*Lap: p = 0.221	Group: p = 0.537 Lap: p = 0.458 <b>Part: p = 0.010</b>	Group*Lap: p = 0.317 Group*Part: p = 0.959 Group*Part*Lap: p = 0.670 Lap*Part: p = 0.822	Group: p = 0.051 <b>Lap: p = 0.049</b> Group*Lap: p = 0.578	<b>Group: p = 0.024</b> Lap: p = 0.300 Group*Lap: p = 0.797
<b>Mean COM velocity Z</b>	Group: p = 0.741 Lap: p = 0.075 Group*Lap: p = 0.723	<b>Group: p = 0.017</b> <b>Lap: p &lt; 0.001</b> Part: p = 0.758	Group*Lap: p = 0.062 Group*Part: p = 0.227 Group*Part*Lap: p = 0.144 Lap*Part: p = 0.227	Group: p = 0.216 <b>Lap: p &lt; 0.001</b> Group*Lap: p = 0.052	<b>Group: p = 0.044</b> <b>Lap: p = 0.008</b> Group*Lap: p = 0.347
<b>VAR COM velocity AP</b>	Group: p = 0.525 Lap: p = 0.255 Group*Lap: p = 0.797	Group: p = 0.502 Lap: p = 0.288 <b>Part: p = 0.012</b>	Group*Lap: p = 0.990 Group*Part: p = 0.147 Group*Part*Lap: p = 0.384 Lap*Part: p = 0.327	Group: p = 0.347 Lap: p = 0.060 Group*Lap: p = 0.527	Group: p = 0.364 Lap: p = 0.436 Group*Lap: p = 0.138
<b>VAR COM velocity ML</b>	Group: p = 0.293 Lap: p = 0.834 Group*Lap: p = 0.850	Group: p = 0.817 Lap: p = 0.342 <b>Part: p = 0.002</b>	Group*Lap: p = 0.121 Group*Part: p = 0.797 Group*Part*Lap: p = 0.811	Group: p = 0.077 Lap: p = 0.824 Group*Lap: p = 0.140	Group: p = 0.152 Lap: p = 0.332 Group*Lap: p = 0.920

			Lap*Part: p = 0.597		
<b>VAR COM velocity Z</b>	Group: p = 0.341 Lap: p = 0.588 Group*Lap: p = 0.943	Group: p = 0.437 <b>Lap: p = 0.029</b> Part: p = 0.064	Group*Lap: p = 0.430 Group*Part: p = 0.455 Group*Part*Lap: p = 0.667 Lap*Part: p = 0.475	<b>Group: p = 0.029</b> <b>Lap: p = 0.008</b> <b>Group*Lap: p = 0.039</b>	Group: p = 0.087 Lap: p = 0.561 <b>Group*Lap: p = 0.038</b>
<b>Peak COM velocity AP</b>	Group: p = 0.116 Lap: p = 0.711 Group*Lap: p = 0.905	Group: p = 0.087 <b>Lap: p = 0.002</b> Part: p = 0.730	<b>Group*Lap: p &gt; 0.001</b> Group*Part: p = 0.391 Group*Part*Lap: p = 0.821 Lap*Part: p = 0.657	Group: p = 0.245 Lap: p = 0.058 Group*Lap: p = 0.613	Group: p = 0.066 Lap: p = 0.496 Group*Lap: p = 0.572
<b>Peak COM velocity ML</b>	Group: p = 0.521 Lap: 0.692 Group*Lap: p = 0.368	Group: p = 0.959 Lap: p = 0.611 <b>Part: p &lt; 0.001</b>	Group*Lap: p = 0.238 Group*Part: p = 0.990 Group*Part*Lap: p = 0.762 Lap*Part: p = 0.374	Group: p = 0.191 Lap: p = 0.261 Group*Lap: p = 0.458	Group: p = 0.289 Lap: p = 0.742 Group*Lap: p = 0.938
<b>Peak COM velocity Z</b>	Group: p = 0.431 Lap: p = 0.628 Group*Lap: p = 0.892	Group: p = 0.086 <b>Lap: p = 0.002</b> Part: p = 0.730	<b>Group*Lap: p &lt; 0.001</b> Group*Part: p = 0.391 Group*Part*Lap: p = 0.821 Lap*Part: p = 0.657	<b>Group: p = 0.010</b> Lap: p = 0.602 Group*Lap: p = 0.607	Group: p = 0.123 Lap: p = 0.543 Group*Lap: p = 0.244

## Résumé des analyses pour les tâches de marche durant le mGADL

Variables	Statistical parameters
Mean MOS AP	Group: $p = 0.155$ ; Lap: $p = 0.737$ ; <b>Part: <math>p &lt; 0.001</math></b> ; Group*Lap: $p = 0.608$ ; Group*Part: $p = 0.161$ ; Lap*Part: $p = 0.604$ ; Group*Part*Lap: $p = 0.203$
Mean MOS ML	Group: $p = 0.457$ ; Lap: $p = 0.841$ ; <b>Part: <math>p &lt; 0.001</math></b> ; Group*Lap: $p = 0.965$ ; <b>Group*Part: <math>p = 0.028</math></b> ; Lap*Part: $p = 0.947$ ; Group*Part*Lap: $p = 0.170$
VAR MOS AP	Group: $p = 0.398$ ; Lap: $p = 0.976$ ; <b>Part: <math>p = 0.048</math></b> ; Group*Lap: $p = 0.697$ ; Group*Part: $p = 0.829$ ; Lap*Part: $p = 0.126$ ; Group*Part*Lap: $p = 0.151$
VAR MOS ML	Group: $p = 0.301$ ; Lap: $p = 0.565$ ; <b>Part: <math>p &lt; 0.001</math></b> ; Group*Lap: $p = 0.019$ ; Group*Part: $p = 0.344$ ; Lap*Part: $p = 0.481$ ; Group*Part*Lap: $p = 0.356$
Peak COM vel AP	Group: $p = 0.087$ ; Lap: $p = 0.052$ ; <b>Part: <math>p = 0.003</math></b> ; Group*Lap: $p = 0.109$ ; Group*Part: $p = 0.576$ ; <b>Lap*Part: <math>p = 0.049</math></b> ; Group*Part*Lap: $p = 0.666$
Peak COM vel ML	Group: $p = 0.570$ ; Lap: $p = 0.700$ ; Part: $p < 0.914$ ; Group*Lap: $p = 0.451$ ; Group*Part: $p = 0.699$ ; Lap*Part: $p = 0.508$ ; Group*Part*Lap: $p = 0.510$
Peak COM vel z	Group: $p = 0.050$ ; Lap: $p = 0.422$ ; Part: $p = 0.054$ ; Group*Lap: $p = 0.879$ ; <b>Group*Part: <math>p = 0.038</math></b> ; Lap*Part: $p = 0.517$ ; Group*Part*Lap: $p = 0.401$

## Annexe 12. Matrices de corrélations ATTRACTION partie 2

	Vmoy CDM AP		
	Tous	BPCO	CTRL
Age	-0.46 **	-0.64 **	-0.25
PiMAX	0.33	0.33	0.10
nFFMI	-0.02	-0.08	-0.05
Fat Mass %	-0.18	-0.03	-0.25
IMC	-0.12	-0.03	-0.19
Dyspnée fin mGADL	-0.65 ***	-0.64 **	-0.18
Régions douloureuses	-0.29	-0.06	-0.52 *
DLR actuelle	0.06	0.33	-0.22
DLR moy 7jr	-0.33	-0.17	-0.59 *
FES-I	-0.34	-0.27	-0.37
GP-COG	0.43 *	0.36	0.50 *
IPAQ mod	0.30	0.30	0.24
IPAQ sed	-0.27	-0.43	0.05
Charlson index	-0.46 **	-0.21	-0.44

	varV CDM AP		
	Tous	BPCO	CTRL
Age	-0.54 **	-0.65 **	-0.40
PiMAX	0.42 *	0.49	0.23
nFFMI	-0.11	-0.21	-0.00
Fat Mass %	-0.32	-0.28	-0.29
IMC	-0.26	-0.26	-0.19
Dyspnée fin mGADL	-0.59 ***	-0.55 *	-0.15
Régions douloureuses	-0.29	-0.05	-0.60 *
DLR actuelle	0.06	0.31	-0.13
DLR moy 7jr	-0.35	-0.12	-0.66 **
FES-I	-0.36 *	-0.29	-0.35
GP-COG	0.49 **	0.40	0.59 *
IPAQ mod	0.35 *	0.50 *	0.10
IPAQ sed	-0.23	-0.39	0.09
Charlson index	-0.46 **	-0.21	-0.51 *

	Vmoy CDM ML		
	Tous	BPCO	CTRL
Age	-0.20	-0.41	-0.03
PiMAX	0.21	-0.04	0.04
nFFMI	0.23	0.10	0.40
Fat Mass %	0.07	0.49	0.15
IMC	0.19	0.26	0.40
Dyspnée fin mGADL	-0.63 ***	-0.38	-0.34
Régions douloureuses	-0.17	0.03	-0.34
DLR actuelle	-0.02	0.39	-0.46
DLR moy 7jr	0.08	0.22	-0.06
FES-I	-0.06	0.20	-0.32
GP-COG	0.14	0.00	0.05
IPAQ mod	0.25	0.40	-0.00
IPAQ sed	-0.20	-0.27	-0.11
Charlson index	-0.38 *	-0.35	0.02

	varV CDM ML		
	Tous	BPCO	CTRL
Age	-0.26	-0.41	-0.27
PiMAX	0.22	0.04	0.14
nFFMI	0.14	-0.04	0.38
Fat Mass %	0.21	0.22	0.39
IMC	0.21	0.45	0.63 **
Dyspnée fin mGADL	-0.20	-0.38	-0.06
Régions douloureuses	-0.07	0.12	-0.19
DLR actuelle	-0.04	0.08	-0.15
DLR moy 7jr	0.07	0.05	-0.09
FES-I	-0.08	0.20	-0.21
GP-COG	-0.05	-0.29	0.11
IPAQ mod	-0.01	0.02	-0.28
IPAQ sed	-0.11	0.09	-0.33
Charlson index	-0.32	-0.44	0.01

	Vmoy CDM Z		
	Tous	BPCO	CTRL
Age	-0.42 *	-0.62	-0.22
PiMAX	0.40 *	0.38	0.19
nFFMI	-0.02	-0.11	-0.03
Fat Mass %	-0.28	-0.13	-0.33
IMC	-0.19	-0.11	-0.23
Dyspnée fin mGADL	-0.71***	-0.65 **	-0.49
Régions douloureuses	-0.28	0.03	-0.68 **
DLR actuelle	0.15	0.43	-0.08
DLR moy 7jr	-0.08	0.10	-0.12
FES-I	-0.26	-0.21	-0.25
GP-COG	0.34	0.50*	0.17
IPAQ mod	0.42 *	0.35	0.51*
IPAQ sed	-0.20	-0.59 *	0.36
Charlson index	-0.54 **	-0.09	-0.54*

	varV CDM Z		
	Tous	BPCO	CTRL
Age	-0.36 **	-0.49	-0.26
PiMAX	0.48 *	0.54 *	0.21
nFFMI	-0.09	-0.20	-0.11
Fat Mass %	-0.44 *	-0.47	-0.29
IMC	-0.37 *	-0.40	-0.31
Dyspnée fin mGADL	-0.60 ***	-0.54 *	-0.28
Régions douloureuses	-0.29	0.02	-0.63 **
DLR actuelle	0.05	0.02	0.04
DLR moy 7jr	-0.07	-0.09	-0.06
FES-I	-0.37 *	-0.48	-0.32
GP-COG	0.34	0.57 *	0.10
IPAQ mod	0.21	-0.09	0.46
IPAQ sed	-0.09	-0.27	0.26
Charlson index	-0.59 ***	-0.03	-0.53*

**Titre :** Atteinte du contrôle postural chez les personnes avec BPCO : modifications, caractéristiques et activités de la vie quotidienne.

**Mots clés :** activités de la vie quotidienne, BPCO, capture du mouvement, contrôle postural, facteurs cliniques

**Résumé :** La Broncho-Pneumopathie Chronique Obstructive (BPCO) est une pathologie respiratoire à la prévalence élevée. Des travaux antérieurs ont mis en évidence que le contrôle postural des personnes avec BPCO (pBPCO) était altéré. Cette thèse s'est d'abord attachée à préciser les caractéristiques de cette modification du contrôle postural, puis s'est articulée autour de quatre objectifs : identifier les facteurs discriminants d'un contrôle postural réduit dans cette population, étudier les liens entre contrôle postural et facteurs cliniques, caractériser le contrôle postural des pBPCO au cours d'activités de la vie quotidienne (AVQ) et étudier l'influence d'une tâche cognitive sur le contrôle postural des pBPCO.

Les résultats principaux de ce travail tendent à montrer que l'atteinte du contrôle postural est présente chez environ 60% des pBPCO et que de nombreux composants du contrôle postural peuvent être altérés.

Les pBPCO avec un contrôle postural réduit se caractérisent par une qualité de vie liée aux symptômes faible, une pression partielle en oxygène basse, une force des muscles inspirateurs faible et un indice de masse corporelle élevé. D'autre part, l'analyse biomécanique d'une séquence d'AVQ a mis en évidence des modifications des paramètres de contrôle postural (réduction des vitesses moyennes du centre de masse dans les trois directions, de variabilité de sa vitesse en médio-latéral et vertical, et de sa vitesse pic verticale) chez les pBPCO comparativement aux participants contrôles. L'analyse des associations a principalement montré un lien entre la dyspnée éprouvée lors des AVQ réalisées et les paramètres de contrôle postural évalués. Enfin, nos résultats suggèrent qu'une tâche cognitive a un effet similaire sur le contrôle postural de pBPCO et de participants contrôles.

**Title :** Postural control impairment in people with COPD : modifications, characteristics and activities of daily living

**Keywords :** activities of daily living, COPD, clinical factors, motion capture, postural control

**Résumé :** Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) is highly prevalent respiratory pathology. Previous research has shown that postural control is impaired in people with COPD (PwCOPD). The first aim of this thesis was to identify the characteristics of this postural control modification, then focused on four objectives : to identify the discriminating factors of reduced postural control in this population, to study the associations between postural control and clinical factors, to characterise the postural control of PwCOPD during activities of daily living (ADL) and to study the influence of a cognitive task on the postural control of PwCOPD. The main result of this work tend to show that postural control is impaired in around 60% of PwCOPD and that many components of postural control can be impaired. PwCOPD with a reduced postural control are characterised by a low symptom-related quality of life, a low arterial pressure in oxygen, a reduced inspiratory muscle strength and a high body mass index.

Biomechanical analysis of a sequence of ADL revealed some changes in postural control parameters (reduction in mean center of mass velocities in the three directions, in the variability of its medio-lateral and vertical velocity, and in its peak vertical velocity) in PwCOPD compared with control participants. The association analysis mainly showed a link between dyspnea during performed ADL and assessed postural control parameters. Finally, our results suggest that a cognitive task has a similar influence on postural control parameters of PwCOPD and control participants.