



HAL
open science

Peur de chuter, contrôle supraspinal de la marche et personne âgée : quelle relation ?

Farah El Mir El Ayoubi

► **To cite this version:**

Farah El Mir El Ayoubi. Peur de chuter, contrôle supraspinal de la marche et personne âgée : quelle relation?. Médecine humaine et pathologie. Université d'Angers, 2015. Français. NNT : 2015ANGE0038 . tel-01525082

HAL Id: tel-01525082

<https://theses.hal.science/tel-01525082>

Submitted on 19 May 2017

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.

Thèse de Doctorat

Farah EL MIR EL AYOUBI

*Mémoire présenté en vue de l'obtention du
grade de Docteur de l'Université d'Angers
sous le label de L'Université Nantes Angers Le Mans*

École doctorale : Biologie Santé

Discipline : Santé publique

Unité de recherche : LEEST, UPRES EA 4336
Laboratoire d'Ergonomie et d'Epidémiologie en Santé au travail

Soutenue le 30 Mars 2015
Thèse N° : 1458

Peur de chuter, contrôle supraspinal de la marche et personne âgée : quelle relation ?

JURY

Rapporteurs :	M. Gilles ALLALI , Docteur en Sciences, Praticien Hospitalier, Albert Einstein College of Medicine M. Christophe CORNU , Professeur d'université, Université de Nantes
Examineurs :	M. Roland JOUVENT , Professeur d'université, Praticien Hospitalier, Université Paris VI M. Yves ROQUELAURE , Professeur d'université, Praticien Hospitalier, Université d'Angers Mme Laure DEDECKER , Chercheur, Praticien Hospitalier, Université de Nantes M. Thibaud DESCHAMPS , Maître de conférences, Université de Nantes
Directeur de Thèse :	M. Olivier BEAUCHET , Professeur d'université, Praticien Hospitalier, Université d'Angers
Co-directeur de Thèse :	M. Cédric ANNWEILER , Maître de conférences, Praticien Hospitalier, Université d'Angers

A mon papa, A ma maman,

Merci pour tout les sacrifices consentis pour mon éducation et ma formation,

Je vous aime.

A ma sœur Fida,

*Ta présence, ton soutien et tes encouragements m'ont été d'un grand secours
pour mener à bien mes études : Un Grand Merci.*

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, je voudrai remercier tous ceux qui m'ont soutenue et aidée à réaliser cette thèse.

Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur le Professeur **Olivier Beauchet** pour m'avoir accordée l'opportunité de mener ce travail de recherche sous sa direction sur un sujet aussi intéressant. Merci pour vos encouragements, vos conseils avisés et votre confiance.

Mes remerciements s'adressent au Monsieur le Professeur **Yves Roquelaure**, Directeur du Laboratoire d'Ergonomie et d'Epidémiologie en Santé au Travail, de m'avoir accueillie au sein du laboratoire, et de me faire l'honneur de participer au jury de thèse.

Mes plus sincères remerciements à Monsieur le Professeur **Christophe Cornu** et à Monsieur le Docteur **Gilles Allali** qui ont accepté avec beaucoup de gentillesse d'être les rapporteurs de mon travail de thèse.

Je tiens à remercier particulièrement Monsieur le Professeur **Roland Jouvent**, qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être examinateur de ma thèse. Un très grand Merci pour m'avoir guidée et encouragée.

Je voudrai également remercier Madame le Docteur **Laure De Decker** et Monsieur Le Docteur **Thibault Deschamps** d'avoir accepté spontanément d'être examinateur de mon travail.

Je tiens à remercier Monsieur le Docteur **Cédric Annweiler** pour son aide, ses conseils et sa précieuse confiance.

Merci à tous les membres de l'équipe CeRAL:

Merci au Docteur **Cyril Launay**, pour son aide et sa gentillesse.

A **Anastasiia**, tu m'as accompagnée dans ce projet de thèse. Tu n'es pas pour moi uniquement une formidable collègue mais aussi une très chère amie. Merci d'être là.

A ma chère **Mélinda**, merci pour tes encouragements permanents, pour ton sourire, et ta bonne volonté. Ton aide au cours de la correction de ma thèse était indispensable. Encore une fois merci.

A ma belle voisine **Jennifer**, merci pour ton aide, tes conseils et surtout ta bonne humeur.

A **Romain**, merci pour ta gentillesse et pour la bonne ambiance que tu fais régner dans l'équipe.

A **Marie** et **Nathan**, merci pour votre sympathie et votre gentillesse.

Je tiens à remercier Madame **Nadine Huot**, pour son aide précieuse et sa disponibilité.

Merci à **Samuel**, pour son aide et sa gentillesse.

Je voudrais également remercier tous les membres du service de gérontologie du CHU d'Angers. Merci à **Véronique** pour son beau sourire et son hospitalité, nous avons passé de très beaux moments chez toi. Merci à **Marie Paul**, pour sa gentillesse et ses bons gâteaux. Et merci à **karine**, pour sa bonne humeur.

Ce travail de thèse n'aurait pas abouti sans les encouragements de mes amis et de ma famille.

Merci à **Rida**, pour tout ces moments partagés qui me sont si chers.

Merci à **Parina**, pour sa gentillesse et son amitié.

Je ne saurais manquer de remercier mon amie d'enfance et de toujours **Nadine**, pour son soutien malgré la distance.

Merci à **Fida** et **Nawar**, qui m'ont accompagnée dès mon arrivée en France. La réalisation de ce travail n'aurait pas été possible sans votre soutien moral et affectif. Je vous aime.

A mes chères sœurs, **Souad**, **Rima** et à mon cher frère **Mohamad**, vos encouragements m'étaient indispensables. Je vous aime. A ma petite nièce **Aya**, je t'aime encore plus fort !

A ma belle cousine **Sahar**, merci pour ton soutien, ta gentillesse et ton beau sourire.

Ma très chère tante **Waad**, tu as toujours été à mes côtés. Merci pour ton amour et tes encouragements. Ma **grande mère**, merci pour ton immense amour et pour ta tendresse.

A **mes parents**, sans qui je ne serais pas arrivée là où je suis aujourd'hui. Merci à vous de m'avoir encouragée à aller toujours plus loin. Je vous dédie cette thèse.

RESUME

Les modifications de la marche liées à la peur de chuter sont généralement classées comme des troubles du contrôle de la marche supraspinaux, dits « de haut niveau » car rapportées à une déficience dans le contrôle cortical de la marche. Il est maintenant bien établi que l'étude de la variation des caractéristiques du pas, et notamment celle du temps du pas, est un moyen d'appréhender la désorganisation du caractère automatique de la marche. En effet, la variabilité du temps du cycle de marche qui semble être un marqueur du contrôle cortical de la marche est inversement reliée à la stabilité de la marche.

Très peu d'études se sont intéressées à l'association entre la variabilité du temps du cycle de marche et la peur de chuter chez la personne âgée. Ces études ont montré des résultats divergents principalement en raison de la non-prise en compte de potentiels facteurs de confusion.

Le travail de thèse que nous présentons a pour objectif principal d'étudier l'association entre la variabilité de la marche et la peur de chuter chez des personnes âgées en tenant compte des potentiels facteurs pouvant influencer la relation entre ces deux variables, afin d'appréhender la relation de causalité qui peut les unir.

Nos résultats montrent que la peur de chuter est associée significativement à une augmentation de la variabilité de la marche. En effet, la combinaison peur de chuter et antécédent de chutes augmente la variabilité du temps du cycle de marche. Cependant, l'effet de cette combinaison dépend du niveau de la vitesse de la marche.

Mots clés

Peur de chuter, chute, variabilité de la marche, personnes âgées

ABSTRACT

Changes in gait performance related to fear of falling (FOF) are usually classified as supraspinal gait control disorders called “higher-level gait disorders” due to impairment in cortical gait control. It is now well established that the study of the variability in stride characteristics and in particular the variability of stride time, provide information on the impairment of the automatic character of gait. In fact, gait variability, which is a biomarker of higher-level gait disorders, is inversely related to gait stability.

A limited number of studies have examined the association between FOF and higher stride time variability (STV), and have showed mixed results mainly due to the non-consideration of potential factors that may influence the relationship between STV and FOF.

Thus, the main objective of this thesis was to examine the association between STV and FOF in elder people taking into account the potential factors influencing the relationship between these two variables.

Our results show that FOF is significantly associated with an increase in STV. Indeed, the combination of FOF and history of previous falls increases STV. The adverse gait effect of this combination depends on the level of the walking speed.

Key Words

Fear of falling, falls, stride time variability, older people

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE I – INTRODUCTION.....	12
CHAPITRE II – REVUE DE LA LITTERATURE.....	15
I. La peur de chuter chez les personnes âgées.....	16
I.1 Définitions de la peur de chuter.....	16
I.2 Prévalence de la peur de chuter et facteurs influençant.....	18
I.3 Conséquences de la peur de chuter.....	22
I.4 Evaluation de la peur de chuter.....	23
II. Les chutes chez les personnes âgées.....	32
II.1 Définition.....	32
II.2 Conséquences des chutes.....	33
II.3 Facteurs de risque.....	34
III. La marche humaine.....	35
III.1 Définitions et repères sémantiques.....	35
III.2. Mouvement volontaire et équilibre dynamique.....	39
IV. Vieillissement de la population : Effets et conséquences sur la marche.....	46
IV.1 Vieillissement des afférences sensorielles.....	47
IV.2 Vieillissement des effecteurs.....	48
IV.3 Vieillissement du système nerveux central.....	49
IV.4 Vieillissement cognitif.....	50
IV.5 Vieillissement psychoaffectif.....	53
IV.6 Modifications des paramètres spatio-temporels de la marche avec le vieillissement physiologique.....	55
V. Problématique et hypothèse.....	60
VI. Objectif de la thèse.....	60

CHAPITRE III – METHODOLOGIE GENERALE	61
I. Types d'études	62
II. Population étudiée	63
III. Analyse spatio-temporelle de la marche	63
III.1 Systèmes de mesure utilisés	63
III.2 Le tapis de marche GaitRite®	64
III.3 Les semelles SMTEC®	65
III.4 Conditions générale de mesure de la marche	66
IV. Facteurs étudiés	66
IV.1 La variabilité du temps du cycle de marche	68
IV.2 La peur de chuter	68
IV.3 Les antécédent de chutes	68
V. Considérations éthiques	69
CHAPITRE IV – RESULTATS	71
I. Fear of falling, falls and gait variability in older community-dwellers: is there an association?	72
II. The influence of fear of falling on gait variability: results from a large elderly population based cross-sectional study	78
III. Fear of Falling and Gait Variability in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis	103
CHAPITRE V – DISCUSSION GENERALE	132
CHAPITRE VI – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES	141
BIBLIOGRAPHIE	142
ANNEXES	165

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Evolution de la définition de la peur de chuter avec le temps	18
Tableau 2. Survey of activities and fear of falling in the elderly	25
Tableau 3. Falls efficacy scale	27
Tableau 4. L'activities specific balance confidence scale	29
Tableau 5. Principaux instruments de mesure de la peur de chuter	31
Tableau 6. Questionnaire d'évaluation de l'antécédent de chutes	69

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Représentation des différentes phases d'un cycle de marche	36
Figure 2. Les paramètres spatiaux du pas	37
Figure 3. Principales structures impliquées dans l'organisation de la marche	45
Figure 4. Fluctuations temporelles des durées de cycle et d'appui uni et bipodal	57
Figure 5. Système d'analyse de marche Gaitrite®	65
Figure 6. Système d'analyse de marche SMTEC® footswitch	66

LISTE DES PRINCIPALES ABREVIATIONS UTILISEES

ABC: Activities-specific Balance Confidence

AMS : Aire motrice supplémentaire

ATCD : Antécédent

BS : Base de support

CM : Centre de masse

CoV: Coefficient of variation

DNF : Dégénérescence neurofibrillaire

FES : Falls efficacy scale

FNM: Fuseaux neuromusculaires

FOF: Fear of falling

GDB: Ganglions de la base

GSM : Générateur spinal de la marche

SAFE: Survey of Activities and Fear of Falling in the Elderly

SD: Standard deviation

SNC: Système nerveux central

STV: Stride time variability

CHAPITRE I – INTRODUCTION

La peur de chuter qui peut se définir de manière générique comme une réaction phobique à la station debout ou à la marche a été rapportée comme étant la peur la plus fréquente des personnes âgées de 65 ans et plus avec une prévalence qui varie entre 12 et 92% ¹. Cette grande variation de la prévalence de la peur de chuter est principalement liée aux antécédents de chutes : calculée entre 29 et 92 % chez les personnes âgées ayant déjà chuté et vivant dans la communauté, bien que toujours élevée elle est moindre chez les personnes n'ayant pas chuté et est comprise entre 12 et 65 %.

Cette donnée issue de l'épidémiologie descriptive souligne la relation complexe qui existe entre peur de chuter et chute et qui n'est pas qu'une simple relation de causalité. En effet, la chute n'entraîne pas nécessairement une peur de chuter, cette dernière pouvant être indépendante de l'évènement chute. Par contre, chute et peur de chuter ont en commun le fait d'être associées à des troubles de la marche ^{2,3}.

Les anomalies les plus souvent rapportées portent sur la valeur moyenne des paramètres spatio-temporels de la marche et montrent dans les deux cas une altération non spécifique des performances de la marche associant une diminution de la vitesse de marche, une diminution de la longueur du pas, une augmentation du temps de double appui et une augmentation de la variabilité du pas ⁴. La décennie passée dans le domaine de la compréhension des troubles de la marche de la personne âgée a mis en lumière que certaines anomalies spatio-temporelles étaient plus en rapport avec des troubles du contrôle supraspinal de la marche telles que l'augmentation de la variabilité du pas ⁵. En effet, l'étude de la variation des caractéristiques du pas, d'un pas à l'autre, et notamment celle du temps du pas (reflétant le contrôle du rythme de la marche) est un moyen d'appréhender la désorganisation du caractère automatique de la marche ⁴. Une faible variabilité est interprétée comme l'indice d'une marche automatique et stable dépendant d'un contrôle sous-cortical et spinal. A l'inverse, une forte variabilité est le témoin de la mise en jeu du cortex sous la forme de ressources attentionnelles. Par ailleurs, la variabilité du temps du cycle de la marche qui semble être un marqueur du contrôle cortical de la marche est inversement reliée à la stabilité de la marche : une faible variabilité reflète une marche stable alors qu'une haute variabilité caractérise une marche instable.

Il a été suggéré que les modifications de la marche liées à la peur de chuter sont généralement classées comme des troubles du contrôle de la marche supraspinaux dits « de haut niveau » car rapportés à une déficience dans le contrôle cortical de la marche ^{6,7}. Ainsi, l'augmentation de la variabilité du temps du cycle de la marche pourrait être directement la conséquence de la peur de chuter. Cependant des précautions doivent être prises dans l'interprétation de la valeur de la variabilité du pas chez des personnes âgées ayant peur de chuter car de nombreux facteurs peuvent influencer cette relation de causalité tels que les antécédents de chutes, l'âge ou la vitesse de marche ^{5,8}.

Puisque très peu d'études se sont intéressées à l'association entre la variabilité du temps du cycle de marche et la peur de chuter chez la personne âgée et que ces études ont montré des résultats divergents principalement en raison de la non prise en compte de potentiels facteurs pouvant influencer la relation variabilité du pas et peur de chuter, le travail de thèse que nous présentons a pour objectif principal d'étudier l'association entre la variabilité du temps du cycle de marche et la peur de chuter chez des personnes âgées en tenant compte des potentiels facteurs pouvant influencer la relation entre ces deux variables, afin d'appréhender la relation de causalité qui peut les unir. La perspective d'une telle recherche est de montrer que la peur isolément peut rendre la marche instable par un trouble du contrôle cortical de la marche.

CHAPITRE II – REVUE DE LA LITTERATURE

I. La peur de chuter chez les personnes âgées

I.1 Définitions de la peur de chuter

La peur de chuter dans les années 1980 était appelée « ptophobie », c'est-à-dire une réaction phobique à la station debout ou à la marche ⁹. Plusieurs appellations de la peur de chuter apparaissent dans la littérature depuis cette date telles que peur de chuter, diminution de l'auto-efficacité, diminution de l'efficacité relative aux chutes, perte de confiance en son équilibre ¹⁰, préoccupations face à la chute, inquiétude ou anxiété face à la chute ¹¹, crainte de chuter ¹², défaut de contrôle perçu sur les chutes ¹³ ou syndrome de la peur de chuter ^{14,15}.

La description et la définition de la peur de chuter ont évolué avec le temps. En 1982, Murphy et Isaacs la décrivaient comme étant l'une des pierres angulaires du syndrome post-chute ¹⁶. En effet, ils constataient que les personnes âgées qui avaient déjà fait une chute développaient une grande anxiété en position debout et lors de la marche.

Plus tard en 1990, Tinetti, Richman et Powell ont souligné l'importance de cette relation chronologique entre peur de chuter et chute, la première étant la conséquence de la deuxième ¹⁷. Plus spécifiquement, ces auteurs parlaient du sentiment d'efficacité relative aux chutes, qu'ils définissaient comme étant la perte de la confiance en soi pour éviter les chutes conduisant à une restriction des activités quotidiennes. De même, Buchner et al. (1993), définissaient la peur de chuter comme une préoccupation face à la chute qui conduisait la personne à éviter des activités qu'elle était capable d'accomplir auparavant ¹⁸. Ces définitions mettaient en avant le rôle de la peur de chuter qui était de protéger l'individu d'une nouvelle chute. Elles s'appuyaient sur la théorie de l'auto-efficacité qui a été développée par Bandura (1997, 2003), selon laquelle le sentiment d'efficacité personnelle est un facteur prédictif du comportement ^{19,20}. Ainsi selon cette approche, une personne exprimant une perte de confiance en son équilibre lors de certaines activités quotidiennes a tendance à réduire ces activités afin d'éviter la survenue d'une chute. Selon Arfken et al. (1994), la peur de chuter est un traumatisme psychologique qui peut conduire à une détérioration des capacités physiques ²¹. Ce concept a été repris par Chandler et al. (1996), qui ont montré que la peur de chuter

augmente la dépendance et qu'elle est peut être un symptôme de fragilité ²². Selon Howland et al. (1998), la peur de chuter est une peur anormale, c'est-à-dire qui n'est pas objectivement liée à une anomalie importante de la marche et/ou de l'équilibre, qui se caractérise par une restriction des activités. Cette approche contrebalançait la vision positive de l'effet de la peur de chuter, soulignant que la restriction d'activité si elle pouvait protéger de nouvelles chutes était un comportement néfaste de la personne âgée pouvant la conduire vers la grabatisation ²³.

Yardley (1998) affirmait de son côté que la peur de chuter était une forme d'anxiété spécifique éprouvée par une personne et causée par un déclencheur particulier, à savoir la chute ²⁴. Cette vision a été confirmée par Tennstedt et al. (1998) qui ont montré que des personnes âgées se décrivaient elles-mêmes comme étant non pas peureuses mais inquiètes ²⁵. Jorstad et al. (2005) considéraient que seule la forme la plus grave de la peur de chuter est une expression de l'anxiété ¹⁰.

De leur côté, Cumming et al. (2000) considéraient la peur de chuter comme un sentiment d'incapacité à éviter la chute ²⁶. Enfin, Huang (2005) a montré dans une recherche qualitative que, pour les personnes âgées, la peur de chuter constitue une dimension particulière du processus de vieillissement ²⁷.

Le tableau ci-dessous (Tableau 1) résume l'évolution des principaux éléments retenus dans la définition de la peur de chuter avec le temps :

Etudes	Peur de chuter
Murphy et Isaacs, 1982	Composante principale du syndrome post-chute
Tinetti et al., 1990	Conséquence de la chute
Buchner et al., 1993	Préoccupation face à la chute
Arfken et al., 1994	Traumatisme psychologique

Chandler et al., 1996	Symptôme de fragilité
Howland et al., 1998	Peur irrationnelle
Yardley, 1998 Tennstedt et al., 1998 Jorstad et al., 2005	Forme d'anxiété
Cumming et al., 2000	Perte de confiance en soi
Huang, 2005	Signe particulier du processus de vieillissement

Tableau 1. Evolution de la définition de la peur de chuter avec le temps

Au travers de la diversité de toutes ces définitions qui ont évolué avec le temps, une définition générique de la peur de chuter peut être formalisée. La peur peut ainsi se définir comme la perception subjective par un individu d'un état d'instabilité de l'équilibre, qu'il soit statique à la station bipodal debout et/ou dynamique tels lors des transferts du corps d'une position assise à une position debout et vice versa, faisant craindre la survenue d'une chute ²⁸. Cette peur peut-être justifiée au sens qu'il existe réellement des troubles importants de l'équilibre et/ou de la mobilité ou pas car elle peut être présente en l'absence de troubles d'équilibre, son intensité étant indépendante des troubles moteurs ¹⁴. Par ailleurs, elle peut précéder la survenue de chutes.

I.2 Prévalence de la peur de chuter et facteurs influençants

Selon une revue systématique de 20 études, la prévalence de la peur de chuter parmi les personnes âgées vivant dans la communauté varie grandement, allant de 20% à 85% ²⁹. Il existe peu de recherches portant sur la peur de chuter chez les personnes âgées qui sont institutionnalisées, les prévalences qui sont rapportées se situent entre 50% et 65 % ³⁰⁻³².

Plusieurs facteurs ont été identifiés comme des facteurs influençant la prévalence de la peur de chuter. Ils peuvent être répartis en trois groupes : les facteurs sociodémographiques ; les facteurs physiques; les facteurs psychologiques et perception de l'état de santé.

I.2.1 Facteurs sociodémographiques

Les caractéristiques sociodémographiques qui ont été associées à la peur de chuter sont : l'âge, le sexe féminin et le degré de soutien social.

De nombreuses recherches ont montré que la peur de chuter augmente avec l'âge ^{14,21,33-36}. Cependant, il faut noter qu'un nombre plus restreints d'études n'a pas retrouvé cette relation entre ces deux variables ^{11,32,37}.

Le sexe féminin constitue également un des facteurs principaux associé à la peur de chuter. La presque totalité des recherches montre une association positive entre la peur de chuter et le sexe féminin ^{12,14,21,23,35,36,38,39}. En effet, les femmes ont tendance à surestimer les risques tandis que les hommes les sous-estiment, ce qui explique l'augmentation de la peur de chuter chez le sexe féminin ⁴⁰. Il existe peu de recherches qui n'ont pas trouvé une relation entre le sexe et la peur de chuter ⁴¹⁻⁴³. Toutefois, selon Jorstad et al. (2005) les hommes sont sous-représentés à travers les études ¹⁰.

De plus, la peur de chuter peut être influencée par le degré de soutien social et le sentiment de solitude ⁴⁴. D'après Mann et al. (2006), les personnes âgées qui vivent seules sont plus susceptibles d'avoir peur de chuter que celles qui vivent avec d'autres personnes ³⁷.

I.2.2 Facteurs physiques

Les facteurs physiques qui ont été associés à la peur de chuter sont les chutes, les problèmes liés à l'équilibre et à la marche, la diminution de la fonctionnalité, la fragilité, la présence de maladies chroniques et la comorbidité.

La chute est un événement fréquemment relié à la peur de chuter. Parmi les personnes âgées sans histoire de chute, la prévalence de la peur de chuter va de 12 à 65%. Parmi les personnes âgées ayant déjà chuté, la prévalence de la peur de chuter varie de 29 à 92% ¹. Les premières

recherches envisageaient la peur de chuter comme une conséquence directe des chutes^{10,22,35,39,45,46}. En effet, un certain nombre d'études montrent que la peur de chuter est significativement liée au nombre et à la gravité des chutes expérimentées^{21,26,33,47}.

Cependant, des études ultérieures ont montré l'existence d'une peur de chuter chez des sujets qui n'ont jamais chuter^{14,26,48,49}. Parmi les rares recherches longitudinales portant sur le lien de causalité entre la peur de chuter et l'antécédent de chutes, une étude menée par Friedman et al. (2002) montre que la présence de la peur de chuter permet de prédire les chutes et vice versa¹⁴. La personne âgée chez laquelle une de ces deux conditions est présente risque fort de développer l'autre.

Les problèmes liés à l'équilibre et à la démarche constituent également un facteur majeur associé à la peur de chuter. Quelques études montrent que les personnes qui ont peur de chuter présentent des altérations de l'équilibre statique et dynamique et des altérations du contrôle postural^{3,11,33,35,50-52}. Certaines caractéristiques de la marche semblent corrélées à la peur de chuter. En effet, les personnes ayant peur de chuter ont une marche dite précautionneuse caractérisée par un léger déséquilibre, un discret élargissement du polygone de sustentation, un raccourcissement des pas, et un ralentissement de la marche^{22,35,38,42,49,53-57}. Cette façon de marcher semble être une adaptation biomécanique stabilisatrice qui est liée à la peur de chuter^{32,58}.

D'autres facteurs en rapport avec la peur de chuter sont la diminution de la fonctionnalité et des performances physiques basses. La peur de chuter peut entraîner une détérioration de la santé physique par réduction de la fonctionnalité tant dans les activités de la vie quotidienne que dans les activités de la vie domestique. Elle peut conduire ainsi à développer un processus de fragilité physique^{22,39}. La diminution des activités causée par la peur de chuter est associée au passage à la fragilité physique, ce qui entraîne la mise en place d'un cercle vicieux : peur de chuter, diminution de la fonctionnalité, inactivité, augmentation de la fragilité et diminution de la qualité de vie et plus de peur de chuter.

Un autre facteur physique associé à la peur de chuter est la présence de maladies surtout chroniques. Les maladies qui sont le plus fréquemment associées à la peur de chuter sont le

vertige et les étourdissements suivies par les fractures et les lésions causées par des chutes et l'accident vasculaire cérébral. D'une manière générale, il a pu être montré qu'une morbidité, surtout lorsqu'elle retentissait sur le système locomoteur telle que la polyarthrite rhumatoïde, était un autre facteur souvent associé à la peur de chuter^{54,56}.

Enfin, parmi les facteurs sensoriels, les troubles de vision constituent le facteur sensoriel le plus associé à la peur de chuter^{40,59-61}. La conséquence la plus importante de la déficience visuelle est la diminution de la mobilité et le manque d'assurance dans les déplacements.

I.2.3 Facteurs psychologiques

Les facteurs psychologiques qui sont reliés à la peur de chuter sont principalement la dépression, l'anxiété et la perte de confiance en soi.

Plusieurs recherches ont montré que la dépression est associée à la peur de chuter^{12,22,41,43,57,59,60,62}. La dépression provoque une diminution de la performance dans les conduites automatiques, une augmentation du besoin d'aide de la personne et une restriction de la participation de la personne aux activités physiques et sociales. La sévérité des symptômes dépressifs n'a pas été directement associée à la peur de chuter⁶³.

Le deuxième facteur psychologique associé à la peur de chuter est l'anxiété. Yardley (1998, 2003) a défini la peur de chuter comme étant un type d'anxiété spécifique qui est éprouvée par une personne et dirigée vers un facteur déclencheur particulier, à savoir la chute^{24,52}.

Le troisième facteur psychologique associé à la peur de chuter chez les personnes âgées est la perte de confiance. Cette association est basée sur l'approche cognitive-sociale de la confiance en soi élaborée par Bandura en 1997²⁰. En effet, les personnes âgées qui ont peur de chuter expriment un manque de confiance en leur capacité d'éviter une chute lors de certaines activités quotidiennes et limitent ainsi ces activités.

I.2.4 Perception de l'état de santé

La perception ou l'autoévaluation de la santé constitue un indicateur important de l'état de santé de la population. Elle reflète l'appréciation globale que l'individu fait de son propre état de santé. Ainsi, la mauvaise perception de l'état de santé constitue un facteur relié à la peur de chuter^{23,33,53,64}. Les études montrent que la majorité des gens associe surtout la santé à des facteurs physiques, biologiques et physiologiques, tels que la présence ou non de problèmes de santé ou de maladies, la capacité fonctionnelle (notamment la mobilité), la condition physique en général et, dans une moindre mesure, à l'état de santé mentale et sociale. La perception des personnes âgées est davantage basée sur la présence ou l'absence de problèmes de santé. La perception de l'état de santé est influencée par l'âge, la scolarité et le revenu. Elle est également influencée par le degré de soutien de la part de l'entourage et par la satisfaction quant à la vie sociale. Enfin, Miller (1995) mentionne qu'une santé qui est perçue comme étant bonne ou excellente constitue un facteur protecteur contre la peur de chuter⁶⁵.

I.3 Conséquences de la peur de chuter

I.3.1 Conséquences positives

La peur de chuter peut être considérée comme une réponse raisonnable à un risque réel et potentiel, permettant d'éviter les chutes en développant des stratégies qui améliorent la performance. On parle ainsi d'une peur désirable qui est interprétée comme une « conséquence positive »^{27,66,67}.

Les conséquences positives peuvent être résumées par quatre mots : protection, précaution, prudence et prévention. En effet, il s'agit de faire preuve de prudence afin de conserver l'autonomie⁶⁷.

Cependant, dans la plupart des situations la peur de chuter semble être inappropriée et dysfonctionnelle entraînant une restriction des capacités physiques et une diminution de la qualité de vie. La peur de chuter devient ainsi un problème majeur « conséquences négatives »^{17,21,23,27,32,35-38,46,48,57,60,66}.

I.3.2 Conséquences négatives

Les conséquences négatives de la peur de chuter peuvent être physiques, psychologiques et sociales. De manière générale, les personnes exprimant une peur de chuter présentent une diminution des aptitudes d'équilibre et de marche ³⁵. Par ailleurs, plusieurs études ont observé une corrélation entre peur de chuter et altération des capacités fonctionnelles avec pour conséquence essentielle la restriction des activités et un impact négatif sur la qualité de vie ^{39,64,68}. Ce déconditionnement augmente chez les sujets âgés le risque de faire une nouvelle chute et entraîne l'isolement social, un désengagement dans les activités, la dépression, les fractures, l'institutionnalisation, et même, dans certains cas, le décès ⁶⁹.

I.4 Evaluation de la peur de chuter

De nombreuses recherches ont montré que la peur de chuter est intimement liée à une diminution du sentiment d'efficacité personnelle, une diminution de l'activité physique et une augmentation de la vulnérabilité ⁷⁰. Ainsi, de nombreux instruments utilisant ces différentes dimensions ont été élaborés pour évaluer la peur de chuter. Ces instruments peuvent être classés en quatre grands groupes : les outils évaluant la peur de chuter proprement dite, ceux qui évaluent le sentiment dit d'efficacité relative aux chutes, les outils évaluant la confiance dans son équilibre et, enfin, une quatrième catégorie outils divers.

I.4.1 Instruments d'évaluation de la peur de chuter

L'instrument le plus connu et le plus employé pour évaluer la peur de chuter est un instrument à un seul item qui consiste en une simple question : « *Avez-vous peur de chuter ?* » dont la réponse est binaire Oui versus Non ^{13,17,38,66,71}.

Cet outil a l'avantage de fournir une information rapide, il permet aussi de faire l'évaluation dans un but de criblage dans une très grande population et permet ainsi d'évaluer la prévalence et l'incidence de la peur de chuter à une échelle populationnelle ⁵⁹. La fiabilité de

cet outil a été établie ^{17,36} ainsi que sa validité ^{66,72}. Par ailleurs, cet outil permet de préserver la confiance en soi de la personne qui peut répondre à la question sans crainte d'être jugée ¹⁷.

Cependant ce système de mesure a été critiqué car il manque de graduation dans la mesure de l'intensité de l'appréhension, amenant à confondre le syndrome anxieux généralisé et la peur de chuter. Ainsi, Legters (2002) et Huang (2006) ont estimé que l'emploi de cette question unique ne permettait pas de déterminer les différents niveaux de la peur dans différentes circonstances ou les effets de la peur de chuter sur le fonctionnement et les activités de la vie quotidienne des personnes âgées ^{1,73}.

De ce fait, des instruments de mesure plus complexes sont apparus. Parmi eux, un instrument multi-items a été proposé par Lachman et al. (1998) pour évaluer la peur de chuter ⁶⁶. Il s'agit de *Survey of Activities and Fear of Falling in the Elderly (SAFE)*. Cet instrument évalue les conséquences négatives de la peur de chuter à savoir la restriction des activités sociales et le retentissement sur la qualité de vie. Il comporte 11 items qui mesurent les activités de la vie quotidienne, les activités fonctionnelles, la mobilité et les activités sociales. Pour chaque item plusieurs questions sont posées. Les questions (1), (2), et (6) déterminent le niveau de peur de chuter et de restriction d'activités, alors que les questions (3), (4), et (5) examinent le nombre d'activités qui ne sont pas faites pour des raisons particulières. Une échelle de type Likert de quatre points (de 0 à 3) pour chaque item est utilisée afin de donner un score de peur de chuter. Le score varie entre 0 et 33. Un score élevé indique une augmentation de la peur de chuter.

Survey of Activities and Fear of Falling in the Elderly (SAFE)	
1) Do you currently do the activity? (yes/no)	
2) If you do the activity, when you do it how worried are you that you might fall? (not at all, a little, somewhat, or very worried)	
3) If you do not do the activity, do you not do it because you are worried that you might fall? (not at all, a little, somewhat, or very worried)	
4) If you do not do the activity because of worry, are there also other reasons that you do not do it? (specify)	
5) If you are not worried, what are the reasons you do not do it? (specify)	
6) Compared to five years ago, would you say that you do it more, about the same or less than you used to?	
Activities of Daily Living Assessed	
Go to the store	Visit a friend or relative
Prepare simple meals	Reach for something over your head
Take a tub bath	Go to a place with crowds
Get out of bed	Walk several blocks outside
Take a walk for exercise	Bend down to get something
Go out when it is slippery	

Tableau 2. Survey of Activities and Fear of Falling in the Elderly ⁶⁶

Le SAFE a l'avantage de prendre en considération les conséquences négatives de la peur de chuter. Il permet ainsi de distinguer les différents niveaux de la peur de chuter ainsi que les niveaux de restriction des activités ¹. Cependant, SAFE est compliqué et n'est pas facile à administrer aux personnes âgées. En plus, le calcul de son score est difficile ⁷³. En outre, les instructions sur la mesure et le calcul du score de SAFE n'expliquent pas s'il faut séparer les activités fonctionnelles des activités sociales. Enfin, il n'existe pas un score seuil permettant de séparer les sujets qui ont peur de chuter de ceux qui n'ont pas peur de chuter.

A noter qu'il existe un instrument dérivé, Le *mSAFE* ³⁶. Cet outil inclut 17 items et utilise une échelle de type Likert de trois points (de 1 à 3).

Un autre instrument multi-items d'évaluation de la peur de chuter est l'*University of Illinois at Chicago Fear of Falling Measure (UIC FFM)* ⁷⁴. Cet instrument contient des items sur les

activités de la vie quotidienne. Il comporte 16 items avec une échelle de type Likert de quatre points (de 0 à 3). Toutefois, sa fiabilité est faible et aucune information concernant sa validité n'a été signalée.

Le *Geriatric Fear of Falling Measure (GFFM)*⁷³ constitue le seul outil qui a été construit pour mesurer la signification perçue de la peur de chuter. L'instrument comporte 15 items, pour chacun, un score de 1 à 5 est attribué, évaluant certaines dimensions positives et négatives de la peur de chuter. La fiabilité et la validité de cet instrument ont été établies, cependant ces données correspondent aux sujets âgés vivant à Taiwan.

I.4.2 Instruments évaluant le sentiment d'efficacité relative aux chutes (Falls Efficacy)

Le *Falls Efficacy Scale (FES)* est un instrument qui a été proposé par Tinetti et al. (1990)¹⁷, construit à partir d'une définition de la peur de chuter fondée sur le sentiment d'efficacité personnelle issu de la théorie de l'auto-efficacité de Bandura (1997)²⁰. Le sentiment d'efficacité relative aux chutes est la perception de la personne de ses propres capacités dans un domaine d'activité spécifique. Le FES permet d'évaluer l'effet de la peur de chuter sur la fonctionnalité et l'indépendance des personnes âgées. Cet instrument évalue le degré de confiance ou de sécurité que ressent l'individu au cours de dix activités habituelles de la vie courante (ex : prendre un bain, se lever ou se coucher au lit, s'habiller). Chaque item est coté dix points, le score le plus élevé témoignant d'une sensation d'insécurité majeure. Le score total variait donc de 10, pour les individus parfaitement assurés, à 100 pour ceux présentant une insécurité majeure ressentie dans l'action. Un score inférieur à 70 représente une peur de chuter.

Activity	Score 1 very confident 10 not confident at all
Take a bath or shower	
Reach into cabinets or closets	
Walk around the house	
Prepare meals not requiring carrying heavy or hot objects	
Get in and out of bed	
Answer the door or telephone	
Get in and out of a chair	
Getting dressed and undressed	
Personal grooming (i.e. washing your face)	
Getting on and off of the toilet	
Total Score	

Tableau 3. Falls Efficacy Scale¹⁷

La FES a subi plusieurs modifications avec l'apparition de différentes variantes depuis sa création. Ainsi, le *Revised Falls Efficacy Scale (rFES)*⁴⁶ inverse simplement l'échelle d'évaluation, le score le plus faible témoignant d'une insécurité majeure.

Par la suite, Hill et al. ont modifié l'instrument initial en ajoutant quatre questions supplémentaires concernant des activités extérieures au domicile et ont élaboré ainsi le *Modified Falls Efficacy Scale (mFES)*⁷⁵. Ces activités sont les premières à être limitées en présence d'un trouble d'équilibre.

Les autres version du FES sont l'*Adapted FES (aFES)*⁷⁶ dotée d'une échelle numérique à 4 points et l'*Amended FES (amFES)*³² dotée d'une échelle de type Likert à 4 points.

Le *FES-UK*⁷⁷, et le *FES(S)*^{78,79} représentent respectivement les versions anglaise et suédoise du FES.

Finale­ment, l'*International FES (FES-I)*^{80,81} représente la dernière version du FES. Le FES-I évalue la préoc­cupation liée aux activités sociales et comporte 16 activités qui sont plus exigeantes en termes d'équilibre avec une cotation qui repose sur quatre niveaux (1 : pas du tout inquiet ; 4 : très inquiet).

Le FES a l'avantage d'être basé sur la théorie sociocognitive de l'auto-efficacité. Sa définition est claire et précise et sa sensibilité pour détecter des changements cliniques significatifs s'avère adéquate^{79,82-84}.

Malgré ses qualités, cet instrument a été critiqué. Certains auteurs affirment que le FES évalue non pas la peur, mais plutôt la confiance perçue dans l'accomplissement de certaines activités^{2,85}. En effet, l'auto-efficacité est plutôt influencée par l'évaluation générale de la capacité fonctionnelle que par l'anxiété et la peur⁸¹. D'autre part, le FES peut être difficile à administrer en particulier aux personnes âgées présentant un faible niveau de scolarité²¹.

I.4.3 Instruments évaluant la confiance en son équilibre (Balance confidence)

L'*Activities-specific Balance Confidence Scale (ABC)* est un instrument qui a été proposé par Powell et Myers (1995)⁸⁶ et constitue le deuxième instrument qui se base sur la théorie de l'auto efficacité élaborée par Bandura. Cet instrument évalue le sentiment d'efficacité relatif à l'évitement de la chute à travers 16 items portant sur des activités de la vie quotidienne. Chaque item est coté de 0% (« pas confiant du tout ») à 100% (« complètement confiant »).

The Activities-specific Balance Confidence (ABC) Scale

For each of the following activities, please indicate your level of self-confidence by choosing a corresponding number from the following rating scale:

0% 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100%
no confidence completely confident

“How confident are you that you will not lose your balance or become unsteady when you...

- ...walk around the house? ____%
- ...walk up or down stairs? ____%
- ...bend over and pick up a slipper from the front of a closet floor
____%
- ...reach for a small can off a shelf at eye level? ____%
- ...stand on your tiptoes and reach for something above your head?
____%
- ...stand on a chair and reach for something? ____%
- ...sweep the floor? ____%
- ...walk outside the house to a car parked in the driveway? ____%
- ...get into or out of a car? ____%
- ...walk across a parking lot to the mall? ____%
- ...walk up or down a ramp? ____%
- ...walk in a crowded mall where people rapidly walk past you?
____%
- ...are bumped into by people as you walk through the mall? ____%
- ...step onto or off an escalator while you are holding onto a railing?
____%
- ...step onto or off an escalator while holding onto parcels such that
you cannot hold onto the railing? ____%
- ...walk outside on icy sidewalks? ____%

Tableau 4. L'Activities specific Balance Confidence Scale⁸⁶

Il existe plusieurs versions de l'ABC scale, une version anglaise l'ABC-UK⁷⁷, une version chinoise l'ABC-C⁸⁷, une version néerlandaise l'ABC-NL⁸⁸, une version canadienne-française l'ABC-CF⁸⁹, de même que deux versions simplifiées de l'instrument, à savoir l'ABC-6⁹⁰ et l'ABC-S⁹¹.

L'ABC scale a l'avantage d'évaluer des activités plus précises que le FES⁶⁶ et de mesurer en plus de l'auto-efficacité la confiance en l'équilibre associée à la performance réelle¹⁰.

Cependant, l'ABC scale a été critiqué par certains auteurs. Il a été considéré comme inadéquat pour prédire la restriction d'activités et ses résultats ne sont pas corrélés aux chutes ⁹².

Il existe deux autres instruments pour évaluer la confiance en son équilibre pendant la réalisation des activités de la vie quotidienne chez des personnes âgées fragiles, le *Balance Confidence Scale (CONFbal)* ⁹³ et le *Confidence in Maintaining Balance Scale (CONSfall)* ⁹⁴.

I.4.4 Autres instruments d'évaluation de la peur de chuter

Il existe une série d'autres instruments permettant d'évaluer la peur de chuter, mais ils sont moins connus et peu utilisés.

Le *Concerns About Falling Questionnaire* ¹¹ évalue le niveau de préoccupation de chuter par rapport à l'accomplissement des activités de la vie quotidienne.

Le *Perceived Control over Falling* ainsi que le *Perceived Ability to Manage Falls and Falling* ¹³ sont des instruments qui permettent d'évaluer l'habileté des personnes à contrôler leur environnement et leur mobilité d'une part et à prévenir et à gérer les chutes d'autre part.

Le *Concern about Falling Measure (CaF)* ⁹⁵ est un instrument d'évaluation de la peur de chuter axé sur l'anxiété relative aux chutes.

Le *Consequences of Falling Scale (CoF)* ³⁶ est un instrument qui permet d'évaluer les croyances sur les conséquences des chutes. Cet instrument comprend 14 items et utilise une échelle de type Likert (de 1 à 4 points).

Le *Subjective Fear of Falling in Nursing Home Residents* ⁹⁶ est un instrument qui permet d'évaluer la peur de chuter, les fardeaux psychologiques et physiques et les limitations de la mobilité.

Enfin, l'*Activities-specific Fall Caution Scale (AFC Scale)*^{97,98} est un instrument qui s'appuie sur la théorie de l'auto-efficacité de Bandura. Il évalue l'ampleur de la précaution ou du soin face à l'inquiétude ou à la préoccupation de tomber.

Evaluation de la peur de chuter			
Instruments	Auteurs	Nombre d'items	Score
Simple question (oui/non)	Boyd et Stevens, 2009 Howland et al., 1993 Lachman et al.,1998 Lawrence et al.,1998 Tinetti et al., 1990	1	1= Oui, 2= Non
SAFE- Survey of Activities and Fear of Falling in the Elderly	Lachman et al., 1998	11	0-3 pour chaque item
UIC-FFM- University of Illinois at Chicago Fear of Falling Measure	Veloza et Peterson, 2001	16	0-3 pour chaque item
FES- Falls Efficacy Scale	Tinetti et al., 1990	10	0-100 < 70= peur de chuter
ABC- Activities- specific Balance Confidence Scale	Powell et Myers, 1995	16	0-100 0= pas de confiance 100= confiance complète

Tableau 5. Principaux instruments de mesure de la peur de chuter

II. Les chutes chez les personnes âgées

Les chutes sont des événements très fréquents chez les personnes âgées ⁹⁹. Un tiers des personnes âgées de plus de 65 ans et la moitié de ceux de plus de 85 ans chutent au moins une fois par an ¹⁰⁰. En France, les chutes sont responsables de 12 000 décès par an et constituent un facteur fréquent d'entrée en institution. En effet, 40 % des sujets hospitalisés pour chute sont orientés ensuite vers un établissement spécialisé.

II.1 Définition

D'une manière générale, la chute est définie comme l'action de tomber, c'est-à-dire de perdre son équilibre et d'être attiré vers le sol par son poids sous l'effet de la force de pesanteur ¹⁰⁰.

Plusieurs définitions de la chute ont été proposées, cependant ces définitions changent d'une étude à l'autre. Malgré ce manque d'homogénéité, les principales définitions identifiées sont celles de:

- L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), qui définit la chute comme « tout événement au cours duquel une personne se retrouve, par inadvertance, au sol ou autre niveau inférieur ». Cette définition met l'accent sur le caractère involontaire de la chute sans tenir compte des conséquences.
- La Société française de documentation et de recherche en médecine générale (SFDRMG), qui est centrée sur la chute dite « accidentelle » et la définit comme « tout glissement ou trébuchement aboutissant à une blessure ». Cette définition inclut à la fois le concept de mécanisme de la chute et le concept de conséquence.
- Kellogg international working group, qui définit la chute comme « tout événement au cours duquel la personne se retrouve involontairement au sol ou sur tout autre niveau inférieur. Cela peut inclure un événement au cours duquel la personne se retrouve au sol, trébuche dans les escaliers, glisse ou perd l'équilibre et heurte un objet (table, lit, etc.) ».
- La Yale Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Trials (FICSIT) collaboration, qui définit la chute comme « le fait de se retrouver involontairement au sol

ou tout autre niveau inférieur ». Le fait de se retrouver appuyé contre un meuble, un mur ou toute autre structure, ne compte pas comme une chute.

II.2 Conséquences des chutes

Les chutes sont associées à de multiples conséquences touchant à la fois directement l'individu et le système de santé en raison principalement de la mobilisation de ressources pour leur prise en charge et du coût qui en résulte. Les conséquences au niveau de l'individu peuvent se schématiser de la manière suivante avec :

- un excès de morbi-mortalité lié le plus souvent aux conséquences traumatiques et psychologiques représentées principalement par l'anxiété et la peur de tomber ¹⁰¹,
- et à la perte d'autonomie et d'indépendance qui en découlent ¹⁰²⁻¹⁰⁴.

Il est important de noter que :

- La majorité des chutes, soit 95 %, ne se complique pas de traumatismes physiques dits "sérieux", c'est-à-dire entraînant une fracture, un traumatisme crânien et des lacérations cutanées de grande taille et/ou profondes dépassant l'hypoderme ¹⁰⁵.
- La manière dont la personne âgée chute détermine le plus souvent le type de traumatisme. A titre d'exemple, il a pu être montré que les chutes en arrière sont associées à un taux moindre de fracture que les chutes en avant, quel que soit l'âge de la personne ¹⁰⁶.
- Le type de fracture dépend de l'âge, les fractures du col fémoral étant plus fréquente chez les personnes de plus de 75 ans que chez les moins de 75 ans ¹⁰⁵.
- Le coût financier des chutes est élevé. A titre d'exemple, en 1985 aux Etats-Unis, il a pu être calculé que \$10 milliards des \$158 milliards des coûts de santé étaient attribuables aux chutes des personnes âgées. Par ailleurs, les chutes expliquaient 70 % de tous les coûts engendrés par la vieillesse. Le coût par personne blessée était de \$4226, ce qui était presque le double du coût moyen par personne blessée tout âge confondu ^{107,108}. A partir de ces chiffres, Englander et al. ont pu estimer l'évolution de ces coûts de 1994 à 2020 ¹⁰⁹.

C'est ainsi qu'ils ont pu faire l'hypothèse d'une augmentation régulière des coûts financiers de la chute avec une multiplication des coûts par deux pour 1994, soit \$20.2 milliards (avec un coût par personne blessée de \$7399), et par trois pour 2020, soit \$32.4 milliards.

II.3 Facteurs de risque

Le mécanisme de la chute est plurifactoriel. Classiquement, on distingue trois grandes catégories de facteurs de risque de chute:

- *Les facteurs de risque intrinsèques*, qui sont liés directement aux personnes et reflètent leur état de santé, ce sont les principaux facteurs de risque de chute des personnes âgées. Ils concernent les troubles visuels, les troubles articulaires et musculaires des membres inférieurs, les troubles cognitifs, les troubles de l'humeur et la prise de médicaments.
- *Les facteurs de risque comportementaux*, qui dépendent de l'activité physique de la personne au moment de la chute et qui sont le plus souvent des activités de la vie quotidienne au cours desquelles la personne âgée se déplace.
- *Les facteurs de risque extrinsèques ou environnementaux*, qui correspondent aux caractéristiques du lieu de chute. Ils concernent le mobilier, l'agencement de l'habitat (présence d'obstacles, sols glissants, éclairage inadéquat), et l'habillement du sujet (port de chaussures inadaptées).

Pour mieux appréhender l'évaluation du mécanisme de la chute en pratique courante, les cliniciens ont développé une segmentation complémentaire des facteurs conduisant à la chute en distinguant deux grandes catégories de facteurs :

- *Les facteurs prédisposant de la chute*, qui correspondent au cumul des facteurs de risque de chutes prédisposant le sujet à la survenue d'une chute en raison du trouble de l'équilibre et/ou de la marche qu'ils entraînent. Les principaux facteurs prédictifs de chutes sont : les antécédents (ATCD) de chutes, un âge ≥ 80 ans, être une femme, avoir des troubles de la marche et de l'équilibre, présence d'une diminution de la force

musculaire des membres inférieurs, une baisse d'acuité visuelle, des troubles de la sensibilité proprioceptive des membres inférieurs, l'existence d'une pathologie neurologique, rhumatismale (ostéoporose, arthrose) ou orthopédique, la polymédication (> 4 médicaments/jour), et la prise de psychotropes.

- **Les facteurs précipitant de la chute**, qui correspondent aux facteurs intervenant ponctuellement dans le mécanisme de la chute. Ces facteurs peuvent être : cardiovasculaires (rechercher les notions de malaise et/ou de perte de connaissance et une hypotension orthostatique); neurologiques (rechercher l'existence d'un déficit neurologique sensitivomoteur de topographie vasculaire constitué ou transitoire, et d'une confusion mentale); vestibulaires (rechercher la notion de vertige à l'interrogatoire et une latérodéviation au test de Romberg); et métaboliques (rechercher une hyponatrémie, une hypoglycémie et la prise de médicaments hypoglycémifiants).

III. La marche humaine

III.1 Définitions et repères sémantiques

La marche humaine peut être définie comme un acte moteur volontaire permettant le maintien de l'équilibre debout et la propulsion. Elle résulte de la combinaison dans le temps et l'espace de mouvements plus ou moins complexes de différents segments du corps aboutissant au déplacement de l'individu dans le plan horizontal. La marche humaine est une activité motrice fondamentale qui apparaît d'être simple pour une personne valide en raison de son caractère automatique prédominant, mais qui s'avère d'une grande complexité liée à la multitude des structures et des mécanismes mis en jeu lors de sa réalisation.

III.1.1 Analyse spatio-temporelle et paramètres de la marche

L'analyse spatio-temporelle permet de décrire le déroulement de la marche dans le temps et l'espace en la décomposant en cycles unitaires. Chaque cycle est déterminé à partir de deux repères temporels; l'attaque du talon au sol et le décollement du gros orteil du sol. Un cycle

de marche débute par le contact initial du talon et se termine lors du nouveau contact de ce même talon au sol.

Chaque cycle de marche est constitué par l'alternance de deux phases distinctes (**Figure 1**):

- **Une phase d'appui** qui correspond à la période où le pied est en contact avec le sol. Cette phase représente 60% du cycle complet de la marche et elle est composée de trois périodes : un temps de double appui antérieur de réception, suivi d'un temps d'appui unipodal puis de double appui postérieur de propulsion.
- **Une phase d'oscillation** qui correspond à la période où le pied n'est plus en contact avec le sol. Cette phase représente 40% du cycle complet de la marche. Elle débute à la fin de la phase de double appui postérieur de propulsion et se termine avec le début du double appui antérieur de réception.

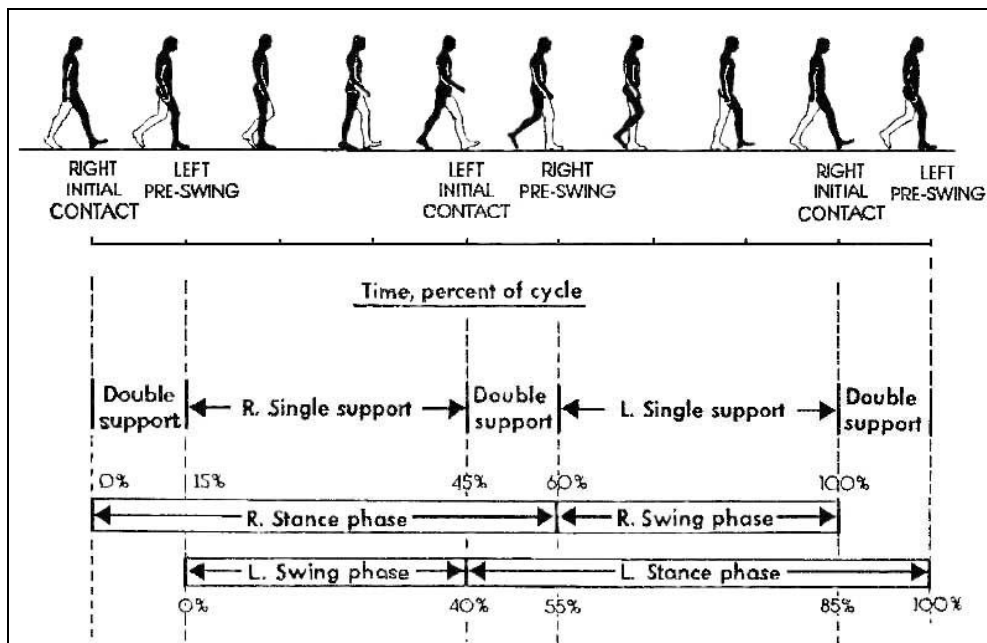


Figure 1. Représentation des différentes phases d'un cycle de marche

Les paramètres spatio-temporels sont couramment utilisés pour étudier les caractéristiques de la marche.

Les principaux paramètres **spatiaux** sont (**Figure 2**):

- **La longueur du pas** : distance séparant 2 contacts consécutifs avec le sol du même pied ;
- **La longueur du demi-pas** : distance séparant 2 contacts consécutifs avec le sol des pieds droit et gauche ;
- **La largeur du pas** : distance séparant le talon de la ligne médiane de marche lors de la phase de double-appui ;
- **L'angle du pas** : correspond à l'angle formé par la ligne médiane de marche et l'axe longitudinal du pied.

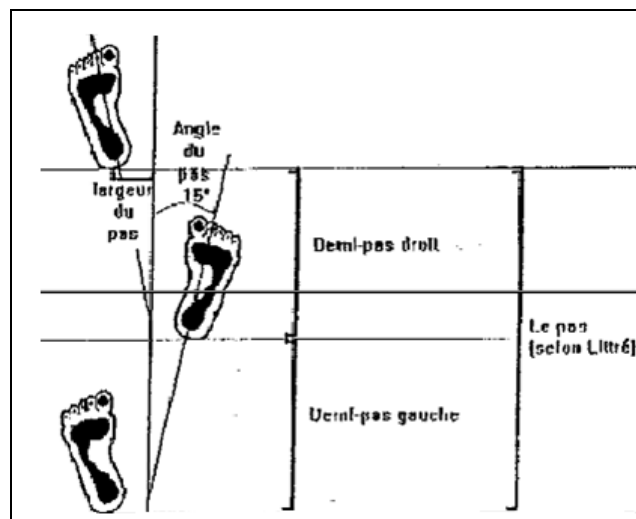


Figure 2. Les paramètres spatiaux du pas

Les paramètres **temporels** sont : **le temps d'appui bipodal**, **le temps d'appui unipodal**, et **la durée du cycle de marche**.

Ces différents paramètres permettent de calculer trois autres paramètres qui sont: **la vitesse de marche** (distance totale parcourue / temps total nécessaire pour parcourir la même distance) et **la vitesse instantanée du pas** (longueur du pas / durée du cycle de marche) exprimées en mètres ou centimètres par seconde, et **la cadence** de marche (nombre de pas pour parcourir une certaine distance / temps total pour parcourir cette même distance) exprimée en nombre de pas par minute.

A côté de l'approche spatio-temporelle, l'analyse quantifiée de la marche peut être effectuée d'un point de vue :

- **Cinématique** qui définit les caractéristiques des trajectoires, des angles, des vitesses et des accélérations (linéaires et angulaires) des différents segments corporels en mouvement dans les 3 plans de l'espace.
- **Cinétique** qui permet de caractériser les forces et les moments de forces générées au cours des mouvements des segments corporels lors de la marche.
- **Electromyographique** qui étudie les séquences d'activation musculaire, c'est-à-dire la chronologie et la durée de contraction des muscles activés au cours de la marche.
- **Energétique** qui caractérise la consommation d'énergie au cours de la marche à partir de l'étude de la quantité de chaleur produite ou de la consommation d'oxygène et de la quantité de gaz carbonique éliminée.

III.1.2 Outils de mesure

Les outils de mesure permettant d'obtenir certains ou l'ensemble des paramètres spatio-temporels du cycle de marche sont:

- **Le chronométrage** : il permet d'obtenir la vitesse de marche du sujet sur une distance donnée. La consigne donnée au sujet (ex : « marchez lentement », « marchez à votre

rythme habituel », « marchez rapidement ») est très importante puisqu'elle détermine l'allure. On distingue essentiellement la vitesse spontanée et la vitesse maximale.

- **Le système baropodométrique par capteurs plantaires:** il s'agit de semelles disposées dans les chaussures, munies de capteurs qui donnent des informations précises sur le profil des pressions plantaires durant les phases d'appui. Ce système permet d'étudier les caractéristiques du déroulement du pas au sol et de déterminer d'éventuelles zones d'hyper-appuis.
- **Le tapis de marche électronique:** il permet l'analyse de l'ensemble des paramètres spatio-temporels du cycle de marche. Le tapis de marche le plus utilisé est le système GAIT-Rite®. Ce système correspond à un tapis de marche dans lequel sont disposés de très nombreux capteurs de force.
- **L'accéléromètre tri-axial :** cette méthode d'évaluation est basée sur l'utilisation d'accéléromètres, pour détecter respectivement les accélérations linéaires, angulaires et les inclinaisons, en différents points du corps.
- **L'analyse optocinétique, ou 3D:** cette technique d'évaluation associe plusieurs systèmes d'acquisition : le dispositif d'analyse cinématique composé de 6 caméras infrarouges, les plates-formes de force et l'électromyogramme qui renseigne sur l'activité musculaire.

III.2. Mouvement volontaire et équilibre dynamique

III.2.1 Organisation du mouvement volontaire

L'organisation neuro-anatomique et fonctionnelle des structures impliquées dans les différentes étapes du mouvement volontaire a été développé à partir du modèle de Allen et Tsukahara (1974)¹¹⁰. En se basant sur ce modèle, on peut distinguer quatre étapes dans le déroulement de l'acte moteur : l'intention, la planification, la programmation et l'exécution.

La première étape est celle de l'*intention* du mouvement volontaire. Elle est directement liée à la notion de comportement adapté et correspond ainsi à la capacité de modifier volontairement ou non la chaîne des commandes motrices d'un mouvement donné en vue de maintenir sa fonctionnalité, en dépit des modifications internes et/ou externes pouvant entraver son exécution. Les mécanismes intentionnels dépendent d'un contrôle cortical et impliquent l'intervention de processus cognitifs plus ou moins complexes. L'origine des mécanismes intentionnels du mouvement peut être localisée au niveau : (1) du cortex préfrontal formé uniquement d'aires associatives qui est une vaste zone d'association représentant 1/4 de la masse corticale totale, et (2) du cortex pariétal postérieur.

La *planification* est la seconde étape nécessaire à la réalisation d'un mouvement. Elle correspond à l'élaboration du plan moteur. Elle consiste à spécifier les caractéristiques générales cinématiques et dynamiques du mouvement, à partir des expériences motrices antérieures. Les trois temps de son élaboration sont :

- La définition du but, c'est-à-dire l'identification et la focalisation de l'attention sur la cible à atteindre.
- L'analyse perceptive, c'est-à-dire la localisation de la cible dans l'espace, l'analyse de ses caractéristiques (détermination de sa forme, sa taille, son poids, sa consistance), l'analyse du contexte environnemental, l'analyse de la position du corps dans l'espace et de ses rapports avec la cible.
- Le choix de la stratégie motrice, c'est-à-dire le choix des différents programmes moteurs qui formeront le plan moteur en fonction des deux étapes ci-dessus.

Les structures impliquées sont principalement les aires associatives frontales et pariétales, le néocervelet et les ganglions de la base.

La *programmation* est la troisième étape de la séquence des phénomènes qui aboutissent à la réalisation d'un mouvement. Elle correspond à l'élaboration des programmes moteurs correspondant au plan moteur fixé pour un mouvement donné. Le programme moteur se

définit comme une représentation interne détaillée de tous les paramètres élémentaires du mouvement (direction, force, vitesse, amplitude, la séquence des contractions musculaires du mouvement) avant sa réalisation. Il définit aussi l'intervention des antagonistes et assure l'équilibre postural mis en péril par le mouvement. Cette programmation comporte trois temps avec un versant efférent et un versant afférent : 1) la sélection des programmes moteurs spécifiant les paramètres élémentaires du mouvement et leur organisation harmonieuse séquentielle spatio-temporelle ; 2) la sélection des réseaux neuronaux dont l'activation permettra l'exécution du mouvement ; 3) et parallèlement à ces deux temps, il y a une sélection des afférences sensorielles qui assistent l'exécution du mouvement. La sélection des afférences sensorielles a deux finalités : d'une part, elle ne retient que les signaux sensoriels significatifs pour l'acte moteur entrepris, et d'autre part, elle distingue les réafférences liées à l'exécution du mouvement et les afférences signalant une anomalie survenant pendant son exécution. Les structures impliquées sont principalement le cortex moteur, le néocervelet et les ganglions de la base.

Enfin, la dernière étape est celle de l'*exécution* du mouvement. Elle correspond à la transformation des programmes moteurs en mouvement. Les commandes organisées du cortex moteur sont transmises à la moelle épinière. En sachant qu'il existe un rétrocontrôle, permettant une correction éventuelle du mouvement, par les afférences visuelles et proprioceptives qui viennent réalimenter les programmes moteurs et les renseignent sur l'exécution et les effets du mouvement. Ce contrôle de l'exécution du mouvement dépend d'informations issues de l'appareil musculo-ligamento-articulaire (boucle de rétroaction externe) et de la moelle (boucle de rétroaction interne) qui parviennent au cortex moteur par l'intermédiaire du paléocortex, du thalamus ou du cortex pariétal.

III.2.2 Concept de la représentation motrice

Le domaine de la génération du mouvement volontaire a été renouvelé par l'approche des neurosciences cognitives. Il existe de nombreuses données expérimentales qui suggèrent une certaine équivalence fonctionnelle entre réaliser intentionnellement un mouvement, le

préparer, l'imaginer et même jusqu'à un certain niveau l'observer^{111,112}. Au cœur de cette problématique se trouve la conception des représentations motrices et l'idée d'une continuité entre les différentes étapes qui aboutissent à la réalisation d'un mouvement volontaire.

De manière générique, on peut considérer que nos mouvements sont commandés par une représentation interne de leur but. Un mouvement correspond alors à l'aboutissement de plusieurs étapes de traitement de l'information. Le concept de représentation motrice est donc utilisé pour, d'une part, décrire le contenu mental lié au but et aux conséquences d'un mouvement et, d'autre part, désigner les opérations neuronales qui sont supposées être réalisées par le cerveau avant que le mouvement soit exécuté.

III.2.3 Marche et équilibre dynamique

Même en position orthostatique, le corps n'est jamais parfaitement immobile. Le corps est en mouvement constant et oscille autour d'une position d'équilibre. Ainsi, l'équilibre est considéré comme dynamique et se définit comme un état au cours duquel les forces qui agissent sur le corps sont contrôlées de façon à ce qu'il puisse se déplacer. L'orientation des segments les uns par rapport aux autres permet de faire face aux contraintes physiques, assurant le maintien de l'équilibre. Le centre de masse du corps (CM) correspond à son point d'équilibre. Il est localisé approximativement au niveau du bassin, haut situé sur une base de support (BS) étroite appelée également polygone de sustentation. En position debout, l'équilibre du corps est assuré lorsque le CM exerce au sol une force de réaction égale et opposée à la force de pesanteur passant par sa verticale située au milieu de la BS¹¹³.

La marche est une activité motrice complexe qui requiert une coordination et une interaction entre mouvement et posture. Le mouvement des segments corporels permet de déplacer le corps d'un point à un autre. Ces mouvements dits focaux, correspondent aux mouvements de flexion et d'extension des membres inférieurs. La posture, permet d'assurer la stabilisation d'autres segments corporels et de maintenir l'équilibre. Ces mouvements dits posturaux, correspondent aux mouvements du tronc, de la tête et des membres supérieurs.

Le maintien de la posture et de l'équilibre lors de la marche implique la réception et l'intégration de multiples afférences sensorielles. Les afférences sensorielles regroupent les afférences extéroceptives (cutanées plantaires et visuelles) et les afférences proprioceptives.

Les afférences cutanées plantaires, sont issues de trois types de récepteurs : les mécanorécepteurs sensibles à la pression et aux vibrations, les thermorécepteurs et les nocicepteurs de la peau.

Les afférences visuelles, renseignent principalement sur la position et les mouvements de la tête par rapport à l'environnement permettant ainsi l'orientation par rapport à la verticale ¹¹⁴. Les informations visuelles peuvent provenir du champ visuel central ou périphérique qui semble plus sollicité lors du contrôle de la posture ¹¹⁵.

Les afférences proprioceptives provenant des muscles, des tendons et des articulations, donnent des renseignements relatifs à la posture et aux mouvements. Les récepteurs d'origine musculaire sont localisés au niveau des fuseaux neuromusculaires (FNM). Les FNM, innervés par des fibres nerveuses de type Ia et II, renseignent principalement sur la longueur et la vitesse d'étirement des muscles. Les organes tendineux de Golgi, informent sur la tension et la raideur musculaire par l'intermédiaire des fibres Ib. Les récepteurs d'origine articulaire sont localisés au niveau capsulo-ligamentaire. Les corpuscules de Ruffini pour les capsules articulaires, sont responsables de la détection de la vitesse angulaire et la direction du mouvement. Les accélérations des mouvements sont quant à elle détectées par les corpuscules de Pacini. Les corpuscules de Golgi pour le tissu ligamentaire, renseignent sur la direction du mouvement et la perception de la position de l'articulation.

Les afférences proprioceptives vestibulaires, renseignent sur la position et les déplacements de la tête en détectant les accélérations linéaires via l'utricule et le saccule avec les otolithes et les accélérations angulaires via les canaux semi-circulaires.

La réception et le traitement de l'ensemble des informations sensorielles sont assurés par le système nerveux central (SNC) qui joue un rôle central dans le contrôle de la marche.

III.2.4 Structures du système nerveux mises en jeu dans la marche

La marche est une activité rythmique volontaire, automatique et réflexe. Elle fait intervenir de nombreuses structures du système nerveux central et périphérique et nécessite par ailleurs l'intégrité de l'appareil ostéoarticulaire (Figure 3).

Les mécanismes neurologiques responsables de la coordination de l'activité musculaire des différents segments corporels pendant la marche ont été associés à des centres spinaux, qui constituent le « générateur spinal de la marche » (GSM). L'existence du générateur de la marche au niveau spinal a notamment été montrée chez le chat et la tortue ^{116,117}. Le GSM, sous l'influence de signaux descendants et périphériques, régule l'activité rythmique de la marche, en contrôlant l'organisation spatio-temporelle des segments corporels. Il implique un réseau de neurones d'un centre générant une activité rythmique et d'un réseau de neurones pour la formation du modèle de motricité coordonnée ¹¹⁸. L'activité rythmique générée consiste en l'alternance d'activités musculaires entre les groupes fléchisseurs et les groupes extenseurs des segments des membres inférieurs.

Les structures supra-spinales impliquées dans la régulation de la marche sont: les ganglions de la base (GDB), le cervelet et le cortex visuel.

Les ganglions de la base constituent un groupe de noyaux sous-corticaux richement interconnectés en plusieurs circuits fonctionnels modulant l'activité corticale. Les GDB sont impliqués essentiellement dans la programmation et l'exécution du mouvement volontaire. Les noyaux de la base, notamment le striatum ventral, ont un rôle important dans l'initiation de la marche.

Le cervelet est une structure essentielle dans la motricité. L'étude de son rôle fonctionnel est indissociable de celle de son anatomie. Il est essentiellement impliqué dans le contrôle de l'équilibre et des mouvements oculaires pour le vermis ; la programmation et l'initiation des mouvements rapides pour le cortex hémisphérique latéral ; l'exécution des mouvements lents pour le cortex hémisphérique intermédiaire et les mouvements oculaires pour le cortex flocculo-nodulaire.

Le cortex visuel, intervient dans les tâches d'équilibre. En effet, les aires les plus impliquées dans la locomotion sont les aires du cortex visuel droit (aires de Broadmann 18/19) lors d'une posture érigée en condition bipodale, les aires du cortex latéral du côté de la jambe de support lors d'une position unipodale, et les aires de Broadman (8/9) lorsque les yeux sont fermés.

Au niveau supra médullaire, on distingue une région particulièrement importante pour la marche, appelée zone locomotrice. Cette zone est localisée au niveau mésencéphalique et comprend, entre autres, le noyau pédonculo-pontin (PPN). En effet, parmi les structures de la zone locomotrice, le PPN est un site terminal de sortie à partir des ganglions de la base et, de ce fait, a probablement un rôle clé dans la modulation de la marche.

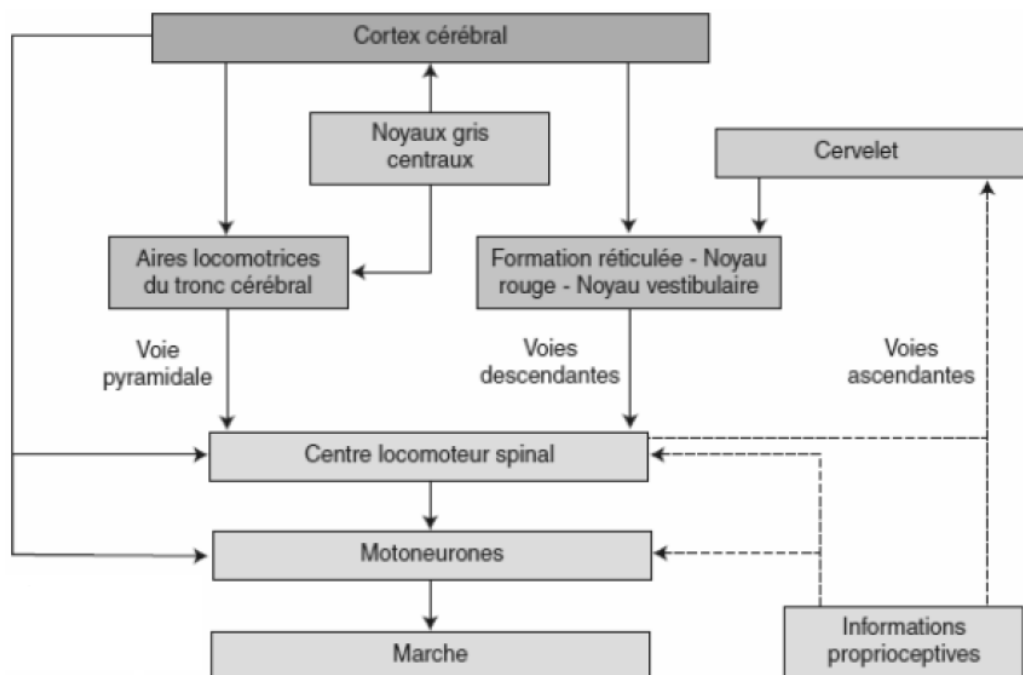


Figure 3. Principales structures impliquées dans l'organisation de la marche (D'après Defebvre L, 2010) ¹¹⁹

IV. Vieillissement de la population : Effets et conséquences sur la marche

Le vieillissement de la population représente un des enjeux majeurs de notre société en termes de santé publique pour les prochaines décennies. La population française continue de vieillir sous le double effet de l'augmentation de l'espérance de vie et de l'avancée en âge des générations du baby-boom. Selon l'INSEE (2014), les habitants âgés d'au moins 65 ans représentent 18 % de la population, soit une progression de 3,4 points en vingt ans. Cette progression est plus forte depuis 2011, année au cours de laquelle la première génération nombreuse du baby-boom (1946) a atteint 65 ans.

Le vieillissement augmente les facteurs de risque de perte d'indépendance, notamment par les pathologies chroniques et les troubles de la marche. La caractéristique principale des populations âgées est de présenter une prévalence élevée de pathologies chroniques, physiques et mentales. Certaines de ces maladies particulièrement fréquentes et combinées aux effets du vieillissement physiologique ont un retentissement soit au niveau fonctionnel, soit sur l'espérance de vie ¹²⁰.

Les troubles de la marche sont une source importante de morbi-mortalité chez les personnes âgées, tant à cause de la réduction ou de l'inactivité physique que des chutes qu'ils entraînent ^{121,122}. La prévalence des troubles de la marche dans le groupe des personnes âgées est élevée. Plus d'un tiers des personnes âgées de 70 ans ou plus, vivant à domicile présentaient des troubles de la marche, la prévalence allant de 24% chez les 70-74 ans à 46% chez les 85 ans ou plus ¹²³. En résidence, où l'état de santé de la population âgée est plus altéré, quel que soit l'âge, les troubles de la marche peuvent atteindre une personne âgée sur deux ¹²⁴.

Le vieillissement s'accompagne de changements dans les structures anatomiques, physiologiques et cognitives, en l'absence de toute pathologie. Une lente dégradation des systèmes musculo-squelettiques et neurologiques qui contribuent à l'équilibre et au contrôle postural s'opère progressivement ^{125,126} et induit un déficit vestibulaire, une baisse d'acuité visuelle, une altération de la proprioception et sensibilité, une perte de force musculaire, ou une augmentation du temps de réaction. Ce processus de vieillissement n'est ni linéaire pour

un individu ni uniforme à travers les individus ¹²⁷, mais les modifications qui ont lieu peuvent plus ou moins altérer la stabilité dynamique des sujets et augmenter à terme le risque de chute.

IV.1 Vieillessement des afférences sensorielles

Le contrôle de la marche par les centres supérieurs dépend des afférences et réafférences sensorielles (visuelles, proprioceptives et vestibulaires). Cependant, l'âge, la pathologie et l'environnement influencent l'implication relative de ces trois systèmes sensoriels dans le maintien de la posture et de l'équilibre lors de la marche.

Les troubles de la vision augmentent avec l'âge, elles apparaissent vers 40 ans et progressent lentement jusqu'à 85 ans, âge à partir duquel leur prévalence croit de façon exponentielle ¹²⁸. Certaines pathologies associées au vieillissement telles que la cataracte, la dégénérescence maculaire liée à l'âge et le glaucome peuvent entraîner un déclin visuel. Ce déclin visuel se caractérise par une diminution de l'acuité visuelle, une baisse de la distinction des couleurs, une dégradation de la sensibilité au contraste et de la perception de la profondeur du champ visuel, ainsi qu'une réduction du champ visuel ¹²⁹.

La déficience de la vision est souvent impliquée dans le mécanisme de la chute de la personne âgée survenant en marchant. La diminution de l'acuité visuelle avec l'âge est à l'origine de l'augmentation du risque de chute chez la personne âgée. Plusieurs études ont montré le rôle et l'importance du système visuel dans le maintien de l'équilibre. Maki et al. (1994) ont démontré qu'en position statique la suppression ou l'altération des entrées visuelles augmentait de façon significative les oscillations antéropostérieures chez les sujets âgés sains et médio-latérales chez les sujets âgés chuteurs ¹³⁰.

Les informations proprioceptives informent le SNC sur la position et les mouvements des segments corporels. Elles renseignent également sur l'état d'un segment par rapport à un autre ou par rapport au reste du corps. Le système somatosensoriel comprend les récepteurs cutanés extéroceptifs et les récepteurs proprioceptifs localisés au niveau articulaire, musculaire et

tendineux. La qualité et la quantité de ces entrées sensorielles diminuent significativement avec le vieillissement¹³¹⁻¹³⁶.

Il existe au cours du vieillissement des changements au niveau de la constitution des muscles, avec une diminution du nombre de récepteurs ligamentaires et capsulaires associée à une raréfaction des récepteurs tendineux de Golgi et ceux des fuseaux musculaires. Ces modifications entraînent une altération de la perception du positionnement articulaire et de la sensibilité vibratoire, ainsi qu'une diminution de la sensibilité tactile des membres inférieurs¹³⁷. De même, les caractéristiques physiques de la peau et de ses différents composants se modifient au cours du temps, ainsi que la qualité et la quantité d'informations reçues dans l'espace de manipulation du sujet âgé.

Les afférences vestibulaires informent le SNC sur la position et les mouvements de la tête par rapport à la verticale. Il existe au cours du vieillissement des changements anatomiques importants du système vestibulaire qui justifient la terminologie de presbyvestibulie. En effet, le nombre de cellules ciliées diminue de 20 % dans les macules et de 40 % dans les crêtes ampullaires après l'âge de 70 ans¹³⁸.

IV.2 Vieillessement des effecteurs

Le vieillissement est communément associé à une importante diminution de la masse musculaire « la sarcopénie ». On estime à 5 % la perte de masse musculaire par décennie après 40 ans avec une perte majorée après 65 ans¹³⁹. La sarcopénie est définie comme étant l'amyotrophie du vieillissement, l'altération des performances musculaires et son importante fatigabilité¹⁴⁰.

La perte de masse musculaire s'associe à l'altération des propriétés fonctionnelles du muscle. Ces altérations se traduisent par une réduction de la force et de la puissance musculaire. Au delà de 65 ans, on estime que la force des membres inférieurs diminue de 1.5% par an, alors que la diminution de la puissance musculaire (produit de force et de la vitesse de contraction) est plus importante et estimée à 3.5% par an¹⁴¹. La diminution de la force est liée à une perte

associant une atrophie des fibres musculaires ¹⁴² et une réduction de la puissance musculaire est due à une réduction de la proportion des fibres de type II ¹⁴³. Ces altérations musculaires des membres inférieurs liés à l'âge affectent la marche. Certaines études ont pu évaluer l'effet de ces modifications sur la marche via l'événement de la chute. Il a été démontré que :

- La diminution de la force musculaire dans les membres inférieurs, particulièrement au niveau des muscles assurant l'extension et la flexion du genou et de la cheville était plus importante chez les sujet âgés chuteurs que les non chuteurs, et était associée à un équilibre instable ¹⁴⁴.
- La diminution de la force des quadriceps était reliée à un risque élevé de chute ¹⁴⁵.

Au niveau du système articulaire, le vieillissement se caractérise par une diminution de l'amplitude articulaire active, liée à une augmentation de la résistance passive du muscle ¹⁴⁶. Les différences entre sujets jeunes et âgés sont peu importantes pour la hanche et le genou, cependant elles sont plus importantes pour la cheville. Il a été montré que la résistance passive à l'étirement au niveau de la cheville a tendance à augmenter avec l'âge ¹⁴⁷. Par ailleurs, il a été montré que l'amplitude articulaire de la cheville diminue significativement chez les sujets âgés chuteurs par rapport aux non-chuteurs ¹⁴⁸.

Concernant le système osseux, les principaux effets du vieillissement associent des modifications de la statique rachidienne avec une attitude scoliotique avec projection antérieure de la tête, une flexion des membres inférieurs avec réduction des amplitudes articulaires. Ces anomalies sont liées principalement aux conséquences de l'arthrose et de l'ostéoporose. L'ensemble associé aux atteintes sensorielles aboutit à un déplacement du centre de gravité vers l'arrière et à une majoration des oscillations du corps, surtout dans le plan sagittal ¹⁴⁴.

IV.3 Vieillessement du système nerveux central

De nombreuses modifications neurobiologiques ont été associées au vieillissement du SNC. Parmi ces modifications, on note la perte neuronale qui peut selon certaines études atteindre

15 % correspondant à une perte de poids du cerveau de l'ordre de 200 g¹⁴⁹⁻¹⁵¹. Cette diminution du poids survient à partir de la 6^{ème} décennie à raison en moyenne de 2% par décennie¹⁴⁹.

La perte neuronale n'est pas uniforme. Elle touche particulièrement la substance grise qui joue un rôle essentiel dans le métabolisme de la dopamine et donc dans la motricité¹⁵². Les pertes cellulaires observées au cours du vieillissement normal pourraient être responsables de certains troubles moteurs fréquemment observés chez la personne âgée tels qu'une certaine rigidité extrapyramidale et une posture voûtée^{149,153}. En revanche, au niveau du cortex les pertes neuronales ont été moins clairement démontrées.

Le cerveau de la personne âgée est également atteint par d'autres anomalies regroupées sous le terme de lésions de la sénescence cérébrale et qui associent les plaques séniles et la dégénérescence neurofibrillaire (DNF)^{149,153-155}.

Les DNF représentent une altération des neurones caractérisée par la présence de neurofilaments anormaux appariés de façon hélicoïdale. Lors de la sénescence normale, le nombre de DNF s'accroît progressivement en fonction de l'âge. Entre 55 et 70 ans, elles sont relativement rares, tandis qu'à partir de la 7^{ème} décennie elles sont observées chez presque tous les individus^{149,153}.

L'une des caractéristiques du cerveau âgé la plus anciennement connue est la présence de plaques séniles. L'aire 20, l'hippocampe et le cortex entorhinal sont considérés comme les plus vulnérables aux plaques séniles. Il faut noter qu'il n'existe pas nécessairement de corrélation entre le statut cognitif et l'atteinte de l'hippocampe et le cortex entorhinal¹⁵³. Par contre, quand l'aire temporale 20 est envahie par le processus neurodégénératif, les fonctions cognitives sont atteintes¹⁴⁹.

IV.4 Vieillessement cognitif

Le vieillissement cognitif est caractérisé par une diminution avec l'âge des performances cognitives dans la plupart des domaines de la cognition. La majorité des troubles cognitifs se

rencontrent après l'âge de 70 ans. Ils désignent la détérioration des processus mentaux de la mémoire, du jugement, de la compréhension, et du raisonnement. Quelque soit leur nature et leur degré de sévérité, les troubles cognitifs peuvent s'accompagner de troubles du comportement.

D'une manière générale, un ralentissement global du traitement de l'information et notamment des facultés de mémorisation est constaté avec l'avance en âge¹⁵⁶. Tout autre déficit cognitif rencontré chez la personne âgée rend compte d'une situation pathologique.

Le vieillissement cognitif affecte différemment les capacités et les individus. Au niveau théorique, deux approches du vieillissement cognitif apparaissent jusqu'à récemment relativement incompatibles, l'approche globale du vieillissement cognitif qui s'oppose à l'approche analytique. Selon l'approche globale du vieillissement cognitif, il est possible d'interpréter la majorité des différences liées à l'âge dans le fonctionnement cognitif en postulant l'existence d'un petit nombre de facteurs généraux qui interviennent entre la variable âge et les composantes de traitement impliquées dans les différentes tâches cognitives. Ces facteurs généraux seraient représentés par la diminution des capacités attentionnelles, l'altération de la mémoire de travail, la réduction de la vitesse de traitement de l'information et la difficulté d'inhiber une information non pertinente. L'approche analytique postule qu'il est possible de scinder la performance cognitive en ses différents éléments constituants (structures et processus), et que les différences dans le fonctionnement cognitif liées à l'âge peuvent être expliquées en termes d'efficacité relative de sous-composants spécifiques de traitement. A titre d'exemple, dans le domaine de la mémoire, de nombreux travaux ont tenté de déterminer si les problèmes mnésiques associés au vieillissement étaient la conséquence d'un déficit touchant sélectivement un processus tels que l'encodage, le stockage ou la récupération, ou un système de mémoire particulier tel que la mémoire à court ou long terme, la mémoire sémantique, épisodique ou procédurale.

Des recherches récentes suggèrent que la diminution de l'efficacité des fonctions exécutives avec l'âge joue un rôle important dans le déclin cognitif associé au vieillissement. En effet, l'évolution des fonctions exécutives affecte la diminution des performances cognitives au

cours du vieillissement par l'influence que les performances exécutives ont sur les variations stratégiques. Ainsi, l'évolution des dimensions stratégiques (le répertoire, la distribution, l'exécution et la sélection stratégique) au cours du vieillissement peut être expliquée par le déclin des fonctions exécutives ¹⁵⁷.

Les fonctions exécutives sont des processus cognitifs qui contrôlent et régulent les autres activités cognitives. Plusieurs études ont observé un lien entre l'intégrité des fonctions exécutives et les performances de marche, particulièrement sous condition de double-tâche ¹⁵⁸⁻¹⁶³. En effet, les performances obtenues à cette épreuve vont dépendre en grande partie selon les principaux modèles attentionnels de la capacité à gérer les ressources attentionnelles entre la tâche attentionnelle et la marche. Cette capacité d'allocation adaptée des ressources attentionnelles dépend directement des fonctions exécutives.

La marche est un acte moteur automatisé et contrôlé essentiellement à un niveau sous-cortical, laissant supposer qu'une atteinte corticale ne peut entraîner que peu de conséquences sur la marche. Pourtant, de nombreuses observations chez les sujets âgés présentant un déclin cognitif, qu'il soit de niveau démentiel ou non, révèlent des perturbations de la marche ou de l'équilibre statique directement relié au degré d'atteinte des fonctions supérieures ^{164,165}.

De plus en plus d'auteurs considèrent que les anomalies de la marche de la personne âgée démente relèvent d'une atteinte de niveau cortical responsable d'un défaut d'intégration et de traitement des informations nécessaires à la réalisation d'une marche efficace ¹⁶⁵. Ces anomalies sont superposables d'un point de vue qualitatif à celles rencontrées chez les personnes âgées non démentes mais plus intenses. Elles associent une réduction de la vitesse de marche, une réduction de la longueur du pas, une augmentation du temps de double appui et une plus grande variabilité du pas ^{165,166}.

Des travaux ont démontré que certaines anomalies de la marche pouvaient être reliées à un déficit des fonctions exécutives. Ble et al. (2005) ont montré que la réduction de la vitesse de marche, dans un groupe de 926 personnes âgées vivant dans la communauté lors d'une condition de franchissement d'obstacle considérée comme une tâche attentionnelle, était reliée

à de faibles performances au Trail making test qui est un test neuropsychologique évaluant les fonctions exécutives ¹⁵⁸. Sheridan et al. (2003) ont mis en évidence, chez des sujets atteints d'une maladie d'Alzheimer à un stade de démence modérée qui présentaient des troubles des fonctions exécutives, une variabilité du pas, et notamment du temps du cycle, particulièrement élevée ¹⁶². Ce paramètre est un marqueur sensible et spécifique du contrôle cortical frontal de la marche. En effet, Hausdorff et al. (2005) ont montré que le degré d'efficacité des fonctions exécutives était corrélé à celui de la variabilité du temps du cycle ¹⁶⁰. Dubost et al. (2006) ont également décrit que l'augmentation de la variabilité du temps du cycle sous double tâche était due à la réalisation de la tâche attentionnelle et non à la réduction de la vitesse de marche ¹⁶⁷. Par ailleurs, Beauchet et al. (2005) ont identifié la tâche de décompte de 1 en 1 comme la tâche attentionnelle à l'origine de la plus forte variation du temps du cycle par comparaison avec les autres tâches attentionnelles telles que la fluence verbale chez des sujets âgés ayant un déclin cognitif débutant à modéré ¹⁶⁸.

Très peu d'études se sont intéressées aux relations qui unissent les troubles de la marche et la survenue d'une démence. Toutefois, il a pu être mis en évidence que certains troubles moteurs pouvaient précéder le déclin cognitif chez la personne âgée via l'utilisation des tâches motrices rythmiques telles que le « finger tapping » et la marche. En effet, les sujets qui allaient développer un déclin cognitif réalisaient plus lentement ces deux tâches motrices que ceux qui ne développaient pas d'altération cognitive ¹⁶⁹.

Par ailleurs, certaines études ont montré que les troubles de la marche sont des marqueurs permettant de prédire la survenue d'un déclin cognitif de niveau démentiel. En effet, les modifications de la marche sont les plus discriminantes parmi les anomalies motrices qui permettent de prédire la survenue d'une démence ^{170,171}.

IV.5 Vieillesse psychoaffectif

Le terme « psychoaffectif » représente tout processus mental faisant intervenir l'affect, c.à.d. qui relève des sentiments et des émotions. Le vieillissement place la personne en situation de

remaniements psychoaffectifs secondaires à la confrontation avec la perte touchant les représentations de soi et du monde.

Les états dépressifs du sujet âgé sont fréquents et de diagnostic difficile du fait de leur hétérogénéité clinique. Les taux de prévalence de la dépression du sujet âgé sont très variables, avec des extrêmes, au-delà de 65 ans, en population générale à 3 % et en institution entre 15 et 40 %¹⁷². Dans une méta-analyse récente, la prévalence de l'épisode dépressif majeur chez les sujets âgés de 75 ans et plus variait entre 4,6 et 9,3 % et pour les états dépressifs dans leur ensemble entre 4,5 % et 37,4 %¹⁷².

Il est démontré depuis longtemps que l'état thymique d'une personne conditionne ses comportements moteurs. Une thymie dépressive s'accompagne d'une manière générale d'un ralentissement moteur qui fait partie à part entière de la symptomatologie dépressive expliquant que ces signes moteurs font partie de la classification DSMIV et ICD-10 qui caractérise la dépression. Ces modifications « psychomotrices » affectent différents types d'actes moteurs allant de la mimique faciale à la marche¹⁷³. Leur présence est directement associée à l'intensité des signes dépressifs¹⁷⁴.

Très peu d'études ont caractérisé les anomalies spatio-temporelles de la marche chez les dépressifs, alors que paradoxalement la dépression est un facteur de risque de chutes de la personne âgée très fréquemment cité¹⁷⁵. Sloman et al. (1982) ont été les premiers à montrer l'existence d'une association entre thymie dépressive et altération des patterns de marche¹⁷⁶. Ils ont montré que les dépressifs comparés aux personnes contrôles ont une vitesse de marche plus lente, une longueur du pas plus courte et un temps de double appui ainsi qu'un temps du cycle plus long. Enfin, il a été montré qu'à la différence des personnes contrôles, il existe chez les dépressifs une corrélation entre la diminution de la vitesse et la réduction de la cadence du pas. Ce type d'anomalie a également été retrouvé chez les personnes parkinsoniennes¹⁷⁷.

Les anomalies de la marche observées chez les dépressifs ont été reliées à un dysfonctionnement localisé au niveau des ganglions de la base¹⁷⁸, de l'aire motrice supplémentaire (AMS)¹⁷⁹ et du cortex préfrontal¹⁸⁰.

IV.6 Modifications des paramètres spatio-temporels de la marche avec le vieillissement physiologique

Plusieurs études se sont intéressées à l'identification des modifications des paramètres de la marche liées à l'âge. Ces modifications commencent dès l'âge de 50-55 ans et s'accroissent après 60-65 ans, mais ce n'est que chez les sujets plus âgés (75 ans et plus) qu'elles sont systématiquement visibles.

D'une manière générale, les modifications de la marche liées à l'âge se caractérisent par une : réduction de la vitesse de marche, augmentation des temps d'appui uni et bipodal, diminution de la longueur du pas et un élargissement de la base de support. Ces modifications sont souvent interprétées comme l'adoption d'un pattern de marche plus stable et plus sûr, mis en place pour compenser la réduction des capacités physiques ^{181,182}.

La réduction de la vitesse de marche est la modification la plus couramment observée ^{183,184}. Il a été démontré que la réduction de la vitesse de marche dite « confortable » ou naturelle décline régulièrement à un taux de 0.2% par an avant 63 ans et de 1.6% par an après 63 ans ¹⁸³. Cette réduction de la vitesse est le résultat principalement d'une diminution de la longueur du pas, la cadence du pas restant relativement constante avec l'âge.

IV.6.1 Variabilité des paramètres spatio-temporels

Même dans des conditions standardisées, la reproductibilité parfaite d'un mouvement, d'une trajectoire, d'une intensité musculaire n'est pas possible à cause des variations physiologiques des systèmes neuromusculaire et squelettique ¹⁸⁵. Les paramètres de la marche, comme la plupart des signaux biologiques sont soumis à des fluctuations indépendamment des influences extérieures. Chez un sujet sain, la valeur de la variabilité de ces paramètres varie de quelques pourcents.

La variabilité intra-sujet d'un paramètre cinématique reflète à la fois le degré d'habileté motrice, et les effets de la pratique. Cependant, pour un mouvement appris depuis l'enfance comme la marche, et dont la réalisation est automatisée, la variabilité est souvent utilisée

comme un facteur permettant de discriminer les individus sains et ceux atteints de pathologies neurologiques ou ostéo-articulaires.

La variabilité peut être perçue comme positive ou négative pour la performance motrice selon le paramètre de marche étudié : alors que la variabilité des paramètres du pas (temps du pas, longueur du pas...) est vue comme un élément négatif par rapport à la stabilité de la marche¹⁸⁶, d'autres études ont démontré que la variabilité dans la coordination articulaire était un élément essentiel permettant la flexibilité et l'adaptabilité nécessaire à l'exécution de la tâche¹⁸⁷⁻¹⁸⁹.

Il a été démontré que la signification de la variabilité était différente selon les paramètres spatio-temporels de la marche : la largeur du pas et le temps de double-appui sont des paramètres reliés au contrôle de l'équilibre lors de la marche, alors que la longueur du pas et le temps du pas sont des marqueurs du contrôle de la génération des mouvements rythmiques de la marche¹⁸⁶. La variabilité d'un paramètre spécifique, qui est le temps du cycle de marche semble être associée au contrôle cortical de la marche. Plusieurs études ont montré qu'une faible variabilité du temps du cycle de marche d'un cycle à l'autre, mesurée par l'écart-type ou le coefficient de variation (coefficient de variation = [écart-type/moyenne] x 100), était associée à un contrôle de la marche efficient et à un faible risque de chute chez la personne âgée^{6,58,190}.

Gabell et Nayak (1984) sont les premiers à avoir étudié la variabilité du pas en s'intéressant à la variabilité de la largeur du pas et du temps de double-appui, ainsi qu'à celle de la longueur du pas et du temps du cycle¹⁸⁶. Les auteurs n'ont pas observé de variations significatives pour la variabilité de ces 4 paramètres entre les sujets jeunes et les sujets âgés. Ils en concluaient qu'une augmentation de la variabilité d'un pas à l'autre n'était pas liée à l'âge, mais serait plus en relation avec un processus pathologique.

La variabilité du pas est interprétée comme un indice de régularité (ou de stabilité) d'un pas à l'autre, néanmoins de nombreux facteurs sont susceptibles de l'influencer tels que : l'âge, le sexe, les antécédents de chute et la vitesse de la marche.

Dans une étude portant sur l'effet de la vitesse de la marche sur la variabilité du pas, les auteurs ont montré grâce à un protocole sur tapis roulant que la vitesse de la marche est associée à la variabilité du temps du cycle de la marche. En revanche, ils n'observent pas d'influence de la vitesse de marche sur la variabilité du temps de simple appui ¹⁹¹.

Au cours de la vie, la variabilité du cycle de marche change selon un modèle en U : élevée chez l'enfant, faible chez l'adulte, élevée chez le sujet très âgé ¹⁹². Cependant, l'analyse dynamique des fluctuations démontre que les personnes âgées ne retournent pas simplement à un pattern de marche immature ¹⁹³. En effet, et contrairement à l'enfant, la marche du sujet âgé montre moins de corrélation à long terme et devient plus aléatoire, comme c'est notamment le cas dans certaines pathologies.

Dans une étude rétrospective, Hausdorff et al. (1997) ont montré que les sujets âgés aux antécédents de chutes se distinguaient des sujets jeunes et des sujets âgés non chuteurs par une plus forte variabilité de la durée du cycle, et de la phase d'appui uni et bipodal ¹⁹⁴ (Figure 4).

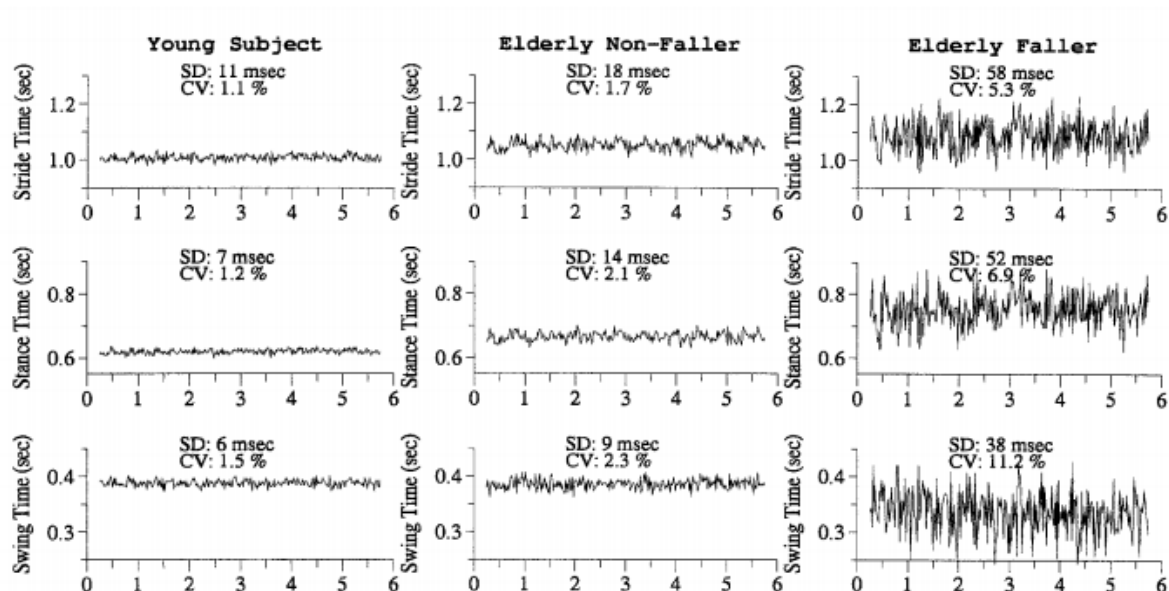


Figure 4. Fluctuations temporelles des durées de cycle et d'appui uni et bipodal chez un sujet jeune, un individu âgé non chuteur et un chuteur âgé ¹⁹⁴.

De manière prospective, Maki (1997) a démontré dans une population de personnes âgées suivie sur une période d'un an que les chuteurs étaient les sujets qui avaient une plus grande variabilité de la longueur et de la vitesse du pas, ainsi que du temps d'appui bipodal ⁵⁸.

L'instabilité de la marche n'est pas toujours discernable en conditions de marche préférentielle, elle n'est révélée que dans des conditions plus déstabilisantes (e.g. surface irrégulière) ou faisant appel au paradigme de la double tâche. Le principe de ces paradigmes est de réaliser en marchant une tâche attentionnelle et d'étudier les modifications de la marche qui en résultent ainsi que leur relation avec la chute. Parmi ces études, Beauchet et al. (2003) ont été les premiers à rapporter une augmentation de la variabilité du pas sous double-tâche chez des sujets âgés, alors qu'aucune modification n'était observée chez les sujets jeunes testés, suggérant une implication des structures corticales les plus élevées dans le contrôle de la marche des sujets âgés ¹⁹⁵.

IV.6.2 Variabilité du pas et peur de chuter

La variabilité du mouvement est considérée comme un marqueur de la coordination motrice et de ce fait est le reflet du contrôle du système sensori-moteur. Il a été démontré que la variabilité du temps du cycle de marche était un marqueur du contrôle de la génération des mouvements rythmiques de la marche et du contrôle cortical de la marche ¹⁸⁶. De manière générale, il existe une association inverse entre la variabilité de la marche et la stabilité. En effet, une faible variabilité du temps du cycle de marche reflète un contrôle de marche plus efficient et une marche plus stable.

De nombreuses recherches ont montré que le contrôle postural n'est pas un processus automatique, il exige l'implication du cortex sous la forme de ressources attentionnelles ¹⁹⁶⁻²¹¹. Lajoie et al. (1996) ont montré que indépendamment de l'âge, la difficulté de la tâche posturale modifie les exigences cognitives associées ²⁰¹. Par exemple, chez les sujets jeunes et les sujets plus âgés, la position debout est cognitivement plus exigeante que la position assise, et la marche est cognitivement plus exigeante que la position debout. Toutefois, l'importance de l'effet de l'âge sur les exigences attentionnelles liées au contrôle postural a été soulignée

dans plusieurs études. Ces études ont montré que le contrôle postural durant la position debout et la marche est cognitivement plus exigeant chez les personnes âgées que chez les sujets jeunes^{201,205,208,209}. En effet, il a été déjà démontré que les sujets âgés consacrent davantage de ressources attentionnelles dans le contrôle postural afin de compenser les réductions de la performance du système nerveux central et périphérique liées à l'âge²¹². Bien que la marche des sujets âgés demande plus de ressources attentionnelles que celle des sujets jeunes, les exigences attentionnelles de la marche chez les sujets jeunes varient entre les différentes phases du cycle de la marche mais pas chez les sujets âgés. Dans son étude, Lajoie (1996) a montré que contrairement aux sujets âgés, les sujets jeunes consacrent plus d'attention pour le contrôle de la phase d'appui unipodal de la marche que celle de la phase d'appui bipodal²⁰¹. Ils suggèrent que les modifications cinématiques de la marche liées à l'âge peuvent réduire les exigences attentionnelles dans le contrôle de la marche. En effet, Li et al. (2001) ont montré que les modifications cinématiques de la marche (ralentissement de la vitesse) réduisent les exigences attentionnelles de cette tâche chez les personnes âgées²⁰³. Donc, selon ces auteurs, les modifications de la marche tels qu'un ralentissement de la vitesse, une diminution de la longueur du pas et une augmentation du temps d'appui bipodal peuvent contribuer à réduire les exigences attentionnelles de la phase d'appui unipodal de la marche et expliquer ainsi l'absence d'une différence dans les exigences attentionnelles entre les différentes phases de la marche du sujet âgé. Par ailleurs, les différences des exigences attentionnelles liées à l'âge pour la marche et l'absence de différence entre les différentes phases de la marche peuvent être expliquées par la présence d'une peur de chuter. En effet, il a été montré que la peur de chuter altère les ressources attentionnelles requises pour la marche²¹³. De nombreuses études ont montré des modifications des paramètres spatio-temporels de la marche liées à la peur de chuter^{4,42,58}. Ces changements ont été définis par une diminution de la vitesse de marche, une diminution de la longueur du pas, une augmentation du temps de double appui et une augmentation de la variabilité du pas.

Les modifications de la marche liées à la peur de chuter sont généralement classées comme des troubles de haut niveau liés à une déficience dans le contrôle cortical de la marche. Ainsi,

l'augmentation de la variabilité du temps de cycle de la marche a été associée à la peur de chuter.

V. Problématique et hypothèse

La peur de chuter et la chute sont très fréquentes chez les personnes âgées et à l'origine d'un excès de morbi-mortalité entraînant des surcoûts financiers pesant sur notre système de santé. Leur association n'est pas simplement liée à leur forte prévalence respective, et il existe des données de la littérature qui suggère une relation de causalité qui pourrait passer par l'altération des performances de la marche à l'origine d'une instabilité et par conséquent de chutes. Cette altération des performances de la marche pourrait être la conséquence d'un défaut de contrôle supraspinal de la marche, et plus précisément une désorganisation du contrôle cortical de la marche engendrée par la peur de chuter.

Nous formulons l'hypothèse générale que la peur de chuter est à l'origine d'une augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche qui est le marqueur périphérique d'un trouble du contrôle cortical de la marche, indépendamment de la chute et de potentiels autres facteurs pouvant influencer cette relation.

VI. Objectif de la thèse

Très peu d'études se sont intéressées à l'association entre la variabilité du temps du cycle de marche et la peur de chuter. Ces études ont montré des résultats divergents soulignant une interaction complexe entre la peur de chuter et la variabilité du temps du cycle de marche. Le travail de thèse que nous présentons a pour objectif principal d'étudier l'association entre la variabilité du temps du cycle de marche et la peur de chuter chez des personnes âgées en tenant compte des potentiels facteurs pouvant influencer la relation entre ces deux variables, afin d'appréhender la relation de causalité qui peut les unir. La perspective d'une telle recherche est de montrer que la peur isolément peut rendre la marche instable par un trouble du contrôle cortical de la marche.

CHAPITRE III – METHODOLOGIE GENERALE

I. Types d'études

Ce travail de thèse a fait l'objet de 3 études différentes :

- **Etude 1.** Fear of falling, falls and gait variability in older community-dwellers: is there an association?
- **Etude 2.** The influence of fear of falling on gait variability: results from a large elderly population based cross-sectional study.
- **Etude 3.** Fear of falling and gait variability in older adults: a systematic review and meta-analysis.

Les études 1 et 2 sont basées sur un plan d'étude transversal, alors que l'étude 3 consiste en une méta-analyse.

Une étude transversale est une étude d'observation épidémiologique qui examine une photographie à un instant donné d'une population avec ses morbidités et ses facteurs de risque²¹⁴. Ce type de schéma d'étude est utile pour déterminer la prévalence d'une maladie à un moment déterminé, ou examiner une association entre deux variables. Ce plan d'étude transversal était donc adapté à notre question de recherche qui était d'étudier l'association entre la peur de chuter et la variabilité du temps du cycle de la marche chez les personnes âgées. Pour déterminer l'indépendance vis-à-vis d'autres paramètres de la relation entre ces deux variables et en raison des contraintes liées au plan d'étude choisi, les analyses statistiques ont été ajustées sur l'ensemble des potentiels facteurs pouvant influencer la relation. .

Une méta-analyse consiste à rassembler les données issues d'études comparables et à les réanalyser au moyen d'outils statistiques adéquats. Elle regroupe les études pertinentes qui essaient de répondre à une question précise de manière critique et quantitative. Ce type de schéma d'étude était donc adapté à notre 3ème étude qui avait pour objectif d'effectuer une analyse qualitative de toutes les études publiées sur la variabilité du pas liée à la peur de chuter grâce à une revue systématique et de synthétiser quantitativement la variabilité de la marche liée à la peur de chuter.

II. Population étudiée

Notre recherche a concerné des personnes âgées de plus de 65 ans, vivant à domicile ou en institution non médicalisée.

Les études 1 et 2 sont issues d'une étude transversale prospective monocentrique effectuée au centre d'examen de santé de Lyon intitulé « Prévention des chutes – Réseau 4 » PCR4 (voir annexes). Les critères d'exclusion dans cette étude étaient une mauvaise maîtrise de la langue française orale ou écrite, une maladie aiguë au cours du mois passé, un diagnostic de démence, une rigidité extrapyramidal des membres supérieurs (score supérieur à 2 pour l'item 22 de l'UPDRS « Unified Parkinson's Disease Rating Scale motor score »), une affection neurodégénérative ou pathologie locomotrice sévère, une incapacité de marcher 6 mètres sans aide.

Dans le cadre de notre question de recherche et des études 1 et 2, nous avons regroupé les participants de PCR4 en se basant sur la présence ou non d'une peur de chuter et d'antécédent de chutes. Ainsi 4 groupes de sujets âgés ont été identifiés : 1) sujets âgés chuteurs avec peur de chuter, 2) sujets âgés chuteurs sans peur de chuter, 3) sujets âgés non chuteurs avec peur de chuter et 4) sujets âgés non chuteurs sans peur de chuter.

L'étude 3 est issue d'une recherche systématique de la littérature « Medline ». Les critères de sélection étaient le fait d'être âgé de 65 ans et plus; de ne pas avoir de démence, de maladies neurologiques, rhumatologiques et oculaires.

III. Analyse spatio-temporelle de la marche

III.1 Systèmes de mesure utilisés

III.1.1 Etude 1

Dans l'étude 1, l'analyse spatio-temporelle de la marche a été réalisée en utilisant 2 systèmes d'analyse de marche différents, le tapis de marche GaitRite® (GaitRite Gold, CIR Systems, PA, USA) et les semelles SMTEC® FootSwitch (SMTEC®, Sport & Medical Technologies

SA, Nyon Switzerland). Nous avons fait ce choix de ces deux instruments différents en raison d'une mesure faite en population générale qui ne permettait pas d'utiliser de manière systématique le tapis de marche GaitRite® qui est un système moins portatif et moins facilement mobilisable dans différents sites que les semelles SMETC. Par ailleurs, il a pu être montré que ces deux systèmes fournissent les mêmes résultats en ce qui concerne la mesure des paramètres temporels, leur niveau de concordance étant très élevé²¹⁵.

III.1.2 Etude 2

Dans l'étude 2, l'analyse spatio-temporelle de la marche a été réalisée en utilisant uniquement le système d'analyse de marche GaitRite®. Dans cette étude, l'analyse spatio-temporelle de la marche a été ajustée sur la variable vitesse de la marche. Contrairement aux semelles SMTEC® FootSwitch qui ne mesurent que les paramètres temporels, le tapis de marche GaitRite® permet de mesurer l'ensemble des paramètres spatio-temporels de la marche.

III.1.3 Particularité de l'étude 3

Dans l'étude 3, seuls les articles mesurant les paramètres spatio-temporels de la marche d'une manière quantitative en utilisant un système d'analyse de marche biomécanique ont été sélectionnés (e.g tapis de marche électronique, système de semelles FootSwitch). Les études qui ont évalué la marche à l'aide d'un questionnaire, du test Timed up and Go ou autre test clinique ont été exclues de l'étude.

III.2 Le tapis de marche GaitRite®

Le système d'analyse de marche GaitRite® est un système de mesure particulièrement adapté au sujet âgé (Figure 5). Il s'agit d'un tapis de marche muni de capteurs de pression enregistrant les appuis plantaires sur une distance de 6 mètres. Les capteurs sont disposés sous forme de plaques espacées régulièrement sur toute la longueur du tapis. La surface des appuis plantaires

est déterminée par le nombre de capteurs activés, par la distance entre ces capteurs, et par le temps d'activation/désactivation des capteurs. Les données brutes sont transférées vers un ordinateur où un logiciel permet à partir de l'analyse des paramètres spatiaux de calculer immédiatement après le passage du sujet l'ensemble des paramètres spatio-temporels de la marche.

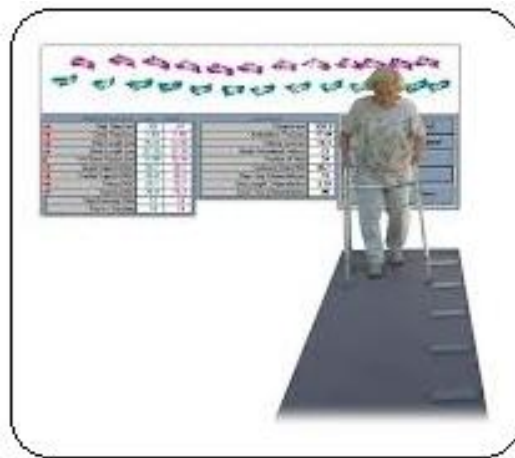


Figure 5. Système d'analyse de marche GaitRite®

III.3 Les semelles SMTEC®

Le système d'analyse de marche SMTEC® FootSwitch est constitué d'une paire de semelles insérée dans les chaussures du sujet (Figure 6). Chaque semelle possède deux capteurs de force indépendants intégrés l'un au niveau du talon et l'autre au niveau des orteils. Chaque semelle est reliée à un boîtier porté à la taille, lui-même relié par bluetooth à un ordinateur où un logiciel calcule la valeur moyenne des temps des paramètres temporels de la marche et leur variabilité à partir des signaux enregistrés.



Figure 6. Système d'analyse de marche SMTEC® FootSwitch

III.4 Conditions générales de mesure de la marche

Dans les études 1 et 2, les conditions de mesure de la marche ont été réalisées en respectant les « guidelines européennes ²¹⁶. Le test de la marche était réalisé à vitesse de marche naturelle à partir d'une position debout, avec des chaussures adaptées, dans des conditions d'éclairage parfaites et en l'absence de toute contrainte environnementale (salle vide, volet clos, bruit absent). Les participants étaient autorisés à garder leurs lunettes ou prothèses auditives, si nécessaire. Pour contrôler les variations interindividuelles, les informations données aux sujets étaient identiques lors de la réalisation du test: « *Vous devez marcher à un rythme le plus naturel et le plus rassurant pour vous. Vous ne devez pas vous arrêter si possible. Vous devez avoir l'esprit libre, c'est-à-dire de ne penser à rien si possible.* »

IV. Facteurs étudiés

Les principaux facteurs étudiés dans nos études étaient: la variabilité du temps du cycle de marche et la peur de chuter.

Dans les études 1 et 2, la variabilité du temps du cycle de marche a été mesurée dans 4 groupes d'individus : 1) les chuteurs avec peur de chuter, 2) les chuteurs sans peur de chuter,

3) les non chuteurs avec peur de chuter et 4) les non chuteurs sans peur de chuter. Dans l'étude 3, la variabilité du pas a été mesurée par l'écart type (SD) ou par le coefficient de variation (CoV) de deux paramètres différents: le temps du pas et/ou la longueur du pas, chez des individus qui avaient et n'avaient pas peur de chuter. Ces deux paramètres sont généralement acceptés comme des indicateurs fiables du contrôle du mécanisme du pas rythmique lié à la marche.

De plus :

- Les antécédents de chutes dans l'année passée ont été évalués dans les études 1 et 2 afin d'examiner l'effet de l'association peur de chuter et antécédent de chutes sur la variabilité du pas chez les personnes âgées.
- Et tout un ensemble de covariables correspondant à des paramètres pouvant influencer soit individuellement ou conjointement la peur et la variabilité du temps de cycle de marche.

Il s'agissait du :

- Sexe féminin
- Nombre de médicaments pris par jour
- Prise de psychotropes : neuroleptiques, antidépresseurs, hypnotiques
- L'acuité visuelle
- La proprioception au niveau des membres inférieurs
- La déficience cognitive
- La vitesse de marche

IV.1 La variabilité du temps du cycle de marche

La variabilité du temps du cycle de marche a été mesurée par le coefficient de variation (CoV) du temps du cycle de marche. Le temps du cycle de marche se définit comme le temps nécessaire pour réaliser deux pas consécutifs. Il se mesure entre l'instant où le talon d'un pied touche le sol et l'instant où le même talon retouche le sol deux pas plus tard. Le CoV du temps du cycle se calcule par la formule suivante : $CoV = \text{écart-type} / \text{moyenne} \times 100$.

IV.2 La peur de chuter

La peur de chuter a été évaluée à l'aide d'une simple question : « *Avez-vous peur de chuter ?* » avec une réponse binaire (oui/non). Ce choix a été fait en raison d'une mesure faite en population générale sur un grand nombre de personnes lors d'un examen périodique de santé dans un Centre d'examen de santé de l'assurance maladie et parce que cette simple question a été précédemment validée comme une mesure permettant d'accéder de manière très simple à la peur de chuter.

IV.3 Les antécédent de chutes

L'antécédent de chutes dans l'année passée a été enregistré à l'aide d'un questionnaire standard détectant le nombre, le délai et le lieu des chutes (à l'intérieur ou à l'extérieur du domicile du sujet), ainsi que les causes et conséquences des chutes évoquées et des traumatismes physiques (Tableau 6). Une chute est définie comme tout événement au cours duquel une personne se retrouve, involontairement, au sol ou tout autre niveau inférieur. Ainsi, les chutes résultant d'événements médicaux aigus et/ou de force externe ont été exclues de l'analyse. Les chuteurs ont été définis par le fait de faire au moins une chute au cours de l'année passée.

QUESTIONNAIRE CHUTE					
	OUI	NON		OUI	NON
➤ Etes-vous déjà tombé(e) ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Signes de gravité de la chute :		
➤ Si réponse OUI :			- fracture	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
➤ Il y a combien de temps ?	<input type="checkbox"/> < 1 mois	<input type="checkbox"/> 1 – 3 mois	- traumatisme crânien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input type="checkbox"/> 3–6 mois	<input type="checkbox"/> >1an	- plaie cutanée importante (points sutures)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Où ? - à l'intérieur du domicile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- impossibilité de se relever	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
- à l'extérieur du domicile	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	- hospitalisation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Avez-vous fait un malaise ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Des mesures préventives ont-elles été instaurées pour éviter une nouvelle chute ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Comment ? - en marchant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
- en se levant	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
- autres :	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
▪ Combien de fois êtes-vous tombé(e) dans les 12 derniers mois ?	<input type="checkbox"/> 1 fois	<input type="checkbox"/> 2 fois			
	<input type="checkbox"/> ≥3 fois				

Tableau 6. Questionnaire d'évaluation de l'antécédent de chutes

V. Considérations éthiques

Ce protocole d'étude PRC4 était en conformité avec les principes d'éthique établis par la 18^{ème} Assemblée Médicale Mondiale (Helsinki 1964) et par les amendements établis lors des 29^{ème} (Tokyo 1975), 35^{ème} (Venise 1983), 41^{ème} (Hong Kong 1989) et 48^{ème} assemblée (Somerset West 1996) de l'Association Médicale Mondiale.

Les participants ont été inclus dans l'étude PCR4 après avoir donné leur consentement écrit pour la recherche. Le protocole de l'étude a été entièrement approuvé par le Comité d'éthique local de Lyon (France).

CHAPITRE IV – RESULTATS

Nous présentons les résultats de cette thèse au travers des 3 études suivantes :

Etude 1 : Farah Ayoubi, Cyrille P Launay, Anastasiia Kabeshova, Bruno Fantino, Cédric Annweiler, Olivier Beauchet. Fear of falling, falls and gait variability in older community-dwellers: is there an association? *J Am Geriatr Soc.* 2013; 61:1236-1238.

I. Fear of falling, falls and gait variability in older community-dwellers: is there an association?

F Ayoubi, MS ^{1,2}

C. Launay, MD, MS ^{1,2}

C. Annweiler, MD, PhD ^{1,3}

B Fantino, MD, PhD ¹

A Kabeshova, MS ^{1,2}

O. Beauchet, MD, PhD ¹

1: Department of Neuroscience, Division of Geriatric Medicine, Angers University Hospital, Angers, France. 2: UPRES EA 4336, UNAM, Angers University Hospital, Angers, France. 3: Robarts Research Institute, Department of Medical Biophysics, Schulich School of Medicine and Dentistry, the University of Western Ontario, London, Ontario, Canada

Correspondence to: Olivier Beauchet, MD, PhD; Department of Neuroscience, Division of Geriatric Medicine, Angers University Hospital, 49933 Angers cedex 9, France; E-mail: olbeauchet@chu-angers.fr; Phone: ++33 2 41 35 45 27; Fax: ++33 2 41 35 48 94

Running head: Fear of falling and gait variability

To the Editor: Fear of falling (FOF) is defined as the lack of self-confidence that activities daily living may be performed without falling.¹ Its prevalence ranges from 21% to 85% and is greater with older age, a history of falls and in women.¹⁻³ Changes in gait have been associated with FOF and are usually classified as highest-level gait disorders related to cortical gait control impairments.⁴⁻⁷ A limited number of studies have examined the association between high stride time variability (STV), which is a biomarker of cortical gait impairment, and FOF.³⁻⁷ These studies had mixed results, with some reporting an association and others not. Divergences previously reported on the association between high STV and FOF may be related to the effect of confounders such as the history of falls, age, and sex. The aims of the current study were to compare STV of older community-dwelling individuals with and without FOF and falls, and to examine the association between STV and FOF while taking into account the effect of these potential confounders.

Between January 2011 and April 2012, 1,106 community-dwelling individuals (mean age 70.4 ± 4.7 ; 49.1% female) were recruited in the French health examination center (HEC) of Lyon, France, and included in this cross-sectional study. The inclusion criterion was aged 65 and older. FOF was assessed using a single question: “Are you afraid of falling?” History of falls over the past year was recorded using a standardized questionnaire. A fall was defined as unintentionally coming to rest on the ground, floor, or other lower level. Fallers were defined according to the occurrence of at least one fall during the past year. STV was measured at steady-state self-selected walking speed on an electronic walkway (GaitRite, CIR Systems, Sparta, NJ or SMTEC, Sport & Medical Technologies SA, Nyon, Switzerland) in a 6-m corridor. It has been previously shown that the level of agreement between these two systems was high, confirming that they both provide a similar measure of STV.⁸ Age and sex were also recorded. Participants were separated into four groups: no FOF and no falls, no FOF and falls, FOF and no falls, FOF and falls. Between-group comparisons were performed using one-way analysis of variance with Bonferroni corrections or the chi-square test, as appropriate. Multiple linear regression analysis was performed to specify the association between STV (dependent variable) and the presence of FOF and falls (independent variables)

adjusted for participant characteristics (age and sex). $P < .05$ was considered statistically significant. All analyses were performed using SPSS version 19.0 (SPSS, Inc., Chicago, IL).

Of 1,106 included participants, 58.6% ($n = 648$) were nonfallers without FOF, 20.3% ($n = 225$) nonfallers with FOF, 10.0% ($n = 110$) fallers without FOF, and 11.1% ($n = 123$) fallers with FOF. As shown in Table 1, STV was significantly higher in fallers with FOF than in nonfallers without FOF ($P = .03$). In participants with FOF, those without ($P = .02$) and with ($P = .03$) a history of previous falls were older than nonfallers without FOF. Participants with FOF were more likely to be female than those without ($P < .003$), regardless of history of previous falls. The fully adjusted linear regression models highlighted that high STV was associated with FOF with falls ($b = 0.011$, 95% confident interval (CI) = 0.003–0.019, $P = .009$) and age ($b = 0.001$, 95% CI = 0.000–0.001, $P = .001$). No association was shown between no FOF with falls ($b = -0.002$, 95% CI = -0.006 – -0.006 , $P > .99$) and FOF without falls ($b = 0.003$, 95% CI = -0.006 – -0.011 , $P = .55$).

These findings show that only age and FOF with falls were positively associated with a high STV. These findings may explain in part divergences previously reported. As shown previously,⁶ the current study confirms that FOF alone (without falls) is not related to greater gait variability, suggesting that cortical gait control impairment related to FOF is more complex than expected and requires additional disorders such as falls to induce significant changes in gait control. In contrast with previous publications,^{6,9} the current study did not find an association between high gait variability and falls. One explanation may be based on the high level of functioning of the studied sample of older adults, who were all community-dwelling. In addition, the significant age-related increase in STV is in concordance with previous literature.⁹ Further studies are needed to corroborate and explain these findings.

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to the participants for their cooperation. The authors would like also to thank C. Nitenberg from the Health Examination Center of Lyon, France, and B. Bongue, A. Colvez, and N. Deville from Health Examination Center of Saint-Etienne, France.

Conflict of Interest: Prof. Beauchet has served as an unpaid consultant for Ipsen Pharma company and serves as an associate editor for *Gériatrie, Psychologie et Neuropsychiatrie du Vieillissement*. He has no relevant financial interest in this manuscript. Dr. Annweiler has served as an unpaid consultant for Ipsen Pharma company and serves as an associate editor for *Gériatrie, Psychologie et Neuropsychiatrie du Vieillissement* and for the *Journal of Alzheimer's Disease*. He has no relevant financial interest in this manuscript.

Author Contributions: Ayoubi had full access to the data in the study. Study concept and design: Beauchet, Fantino, and Ayoubi. Acquisition of data: Fantino. Analysis and interpretation of data: Launay, Kabeshova, Annweiler, and Beauchet. Drafting of the manuscript: Ayoubi, Launay, and Kabeshova. Critical revision of the manuscript for important intellectual content: Beauchet, Fantino, and Annweiler. Statistical expertise: Kabeshova. Administrative, technical, or material support: Annweiler. Study supervision: Beauchet.

Sponsor's Role: Not applicable.

REFERENCES

1. Kempen GI, Yardley L, van Haastregt JC et al. The short FES-I: A shortened version of the Falls Efficacy Scale–International to assess fear of falling. *Age Ageing* 2008; 37:45–50.
2. Rossat A, Beauchet O, Nitenberg C et al. Risk factors for fear of falling: A cross-sectional population-based study. *J Am Geriatr Soc* 2009; 57:1304– 1306.
3. Friedman SM, Munoz B, West SK et al. Falls and fear of falling: Which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention. *J Am Geriatr Soc* 2002; 50:1329–1335.
4. Reelick MF, van Iersel MB, Kessels RP et al. The influence of fear of falling on gait and balance in older people. *Age Ageing* 2009; 38:435–440.
5. Rochat S, Büla CJ, Martin E et al. What is the relationship between fear of falling and gait in well-functioning older persons aged 65 to 70 years? *Arch Phys Med Rehabil* 2010; 9:879–884.
6. Maki BE. Gait changes in older adults: Predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc* 1997; 45:313–320.
7. Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community- living older adults: A 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82:1050–1056.
8. Beauchet O, Herrmann FR, Grandjean R et al. Concurrent validity of SMTEC footswitches system for the measurement of temporal gait parameters. *Gait Posture* 2008; 27:156–159.
9. Beauchet O, Allali G, Annweiler C et al. Gait variability among healthy adults: Low and high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. *Gerontology* 2009; 55:702–706

Table 1. Comparisons of the participants' characteristics according to History of Previous Falls and Fear of Falling

Characteristic	Total (N = 1,106)	Fear of Falling				P-Value*						
		No, n = 873		Yes, n = 233		Overall	G1 vs G2	G1 vs G3	G1 vs G4	G2 vs G3	G2 vs G4	G3 vs G4
		≥ 1 Falls		≥ 1 Falls								
		No (n = 648)	Yes (n = 225)	No (n = 110)	Yes (n = 123)							
Age, mean ± SD	70.4±4.7	70.1±4.4	70.3±4.5	71.5±5.9	71.3±5.1	.003	>.99	.02	.03	.18	.25	>.99
Female, n (%)	543 (49.1)	252 (38.9)	119 (52.9)	78 (70.9)	94 (76.4)	<.001	<.001	<.001	<.001	.002	<.001	.34
CoV of stride time, %, mean ± SD	2.4±3.8	2.3±2.4	2.2±2.9	2.6±3.1	3.4±8.5	.04	>.99	>.99	.03	>.99	.07	.86

SD, standard deviation; CoV = coefficient of variation

*: Between group-comparison based on one way analysis of variance with Bonferonni corrections the Chi-square test, as appropriate.

Etude 2: Farah Ayoubi, Cyrille P Launay, Anastasiia Kabeshova, Bruno Fantino, Cédric Annweiler, Olivier Beauchet. The influence of fear of falling on gait variability: results from a large elderly population based cross-sectional study. *J Neuroeng Rehabil.* 2014; 11:128.

II. The influence of fear of falling on gait variability: results from a large elderly population based cross-sectional study

Farah Ayoubi^{1,2}

Cyrille P Launay^{1,2}

Anastasiia Kabeshova^{1,2}

Bruno Fantino¹

Cédric Annweiler^{1,3}

Olivier Beauchet^{1*}

1: Department of Neuroscience, Division of Geriatric Medicine, Angers University Hospital, Angers, France; 2: UPRES EA 4638, UNAM, Angers University Hospital, Angers, France; 3: Robarts Research Institute, Department of Medical Biophysics, Schulich School of Medicine and Dentistry, the University of Western Ontario, London, Ontario, Canada

Correspondence to: Olivier Beauchet, MD, PhD. Department of Neuroscience, Division of Geriatric Medicine, Angers University Hospital, 49933 Angers Cedex 9, France; E-mail: olbeauchet@chu-angers.fr; Phone: ++33 2 41 35 47 25; Fax: ++33 2 41 35 48 94

ABSTRACT

Objective: To compare gait variability among older community-dwellers with and without fear of falling and history of falls, and 2) to examine the association between gait variability and fear of falling while taking into account the effect of potential confounders.

Methods: Based on a cross-sectional design, 1,023 French community-dwellers (mean age \pm SD, 70.5 \pm 5.0 years; 50.7% women) were included in this study. The primary endpoints were fear of falling, stride-to-stride variability of stride time and walking speed measured using GAITRite® system. Age, gender, history of falls, number of drugs daily taken per day, body mass index, lower-limb proprioception, visual acuity, use of psychoactive drugs and cognitive impairment were used as covariables in the statistical analysis. P-values less than 0.05 were considered as statistically significant.

Results: A total of 60.5% (n = 619) participants were non-fallers without fear of falling, 19% (n = 194) fallers without fear of falling, 9.9% (n = 101) non-fallers with fear of falling, and 10.7% (n = 109) fallers with fear of falling. Stride-to-stride variability of stride time was significantly higher in fallers with fear of falling compared to non-fallers without fear of falling. Full adjusted linear regression models showed that only lower walking speed value was associated to an increase in stride-to-stride variability of stride time and not fear of falling, falls or their combination. While using a walking speed ≥ 1.14 m/s (i.e., level of walking speed that did not influence stride-to-stride variability of stride time), age and combination of fear of falling with history of previous falls were significantly associated with an increased stride-to-stride variability of stride time.

Conclusions: The findings show that the combination of fear of falling with falls increased stride-to-stride variability of stride time. However, the effect of this combination depended on the level of walking speed, increase in stride-to-stride variability of stride time at lower walking speed being related to a biomechanical effect overriding fear of falling-related effects.

Keywords: Fear, Accidental falls, Gait disorders, Aged

BACKGROUND

Fear of falling (FOF), gait impairment and falls are common in older adults with a high prevalence estimated over 20% [1,2]. They share the same risk factors such age, depressive mood and cognitive decline, as well as adverse consequences including activity restriction, increase in frailty and decrease in quality of life [3,4]. Because of a complex interplay between FOF, gait impairment and falls, less is known on the causal relationship between FOF and gait impairment in older adults [5]. A better understanding on the association of FOF with gait impairment in aging population may be useful to appreciate the interaction between FOF and age related changes in gait control, and to implement efficient prevention strategies of FOF.

Gait impairment has been reported among older individuals with FOF [6-9]. Most of previous studies used mean values of spatial-temporal gait parameters and reported low gait performance including slower walking speed, shorter stride length and increased double support or stride width [6,7]. FOF-related changes in gait performance are usually classified as higher-level gait disorders [8,9]. It is now well established that gait variability defined as fluctuation of spatial-temporal gait parameters with time, is a biomarker of higher-level gait disorders [9,10]. In particular, stride-to-stride variability of stride time (STV) - a measure of the reliability of lower limb movements - has been identified as a dependable biomarker of the rhythmic stepping mechanism depending on the highest-levels of gait control [10]. Higher STV reflects an inefficient gait control and, thus, an unsafe gait [11].

A limited number of studies have examined the association between FOF and higher STV, and have showed mixed results. Indeed, although some reported an association, others did not [2,5,8,9]. We suggest that divergences previously reported are related to the effect of main confounders previously identified in the literature that may increase STV independently of FOF such as the age, history of falls, cognitive decline and low walking speed [10,12]. Thus, the question is to determine whether FOF may independently influence or not gait variability among older adults. The aims of our study were 1) to compare STV among of older community-dwellers with and without FOF and falls, and 2) to examine the association

between STV and FOF while taking into account the effect of some known potential confounders including walking speed.

METHODS

Population and study design

Between July 17th 2008 and April 3rd 2012, 1,023 community-dwellers were recruited in the French health examination center (HEC) of Lyon, localized in Eastern France, during a free medical examination. Exclusion criteria for the present analysis included age below 65 years, institutionalization, inability to understand and speak French, acute medical illness during the past month, diagnosis of dementia, extrapyramidal rigidity of the upper limbs (score above 2 on item no. 22 of the Unified Parkinson's Disease Rating Scale motor score) [13], severe orthopaedic diagnoses involving the lumbar vertebra, pelvis or lower extremities (i.e., severe osteoarthritis and prosthesis) and inability to walk 6 meters unassisted.

Clinical assessment

Baseline assessment included a full medical examination including information on age, gender and measures of height and weight. Body mass index (BMI, in kg/m²) was calculated based on anthropometry measurements (i.e., weight in kg and height in m). The number of drugs daily taken and the use of psychoactive drugs including benzodiazepines, antidepressants or neuroleptics, were also recorded. FOF was assessed using a single question: "Are you afraid of falling?" with a binary answer (i.e., Yes versus No). History of falls over the past year was recorded using a standardized questionnaire based on 22 items exploring the number, delay and place of falls (i.e., inside or outside the participant's house), the evoked causes and circumstances of falls and all physical traumatisms [14]. A fall was defined as unintentionally coming to rest on the ground, floor, or other lower level and not as the result of a major intrinsic event or an overwhelming hazard [15]. Thus, falls resulting from acute medical events and/or external force were excluded from the analysis. Fallers were

defined by the occurrence of at least one fall during the last year [16]. Lower limb proprioception was evaluated with a 64 Hz graduated tuning fork placed on the tibial tuberosity [17]. The mean value obtained for the left and right sides was used in the present data analysis. Distance binocular vision was measured at 5 m with a standard Monoyer letter chart [18]. Vision was assessed with corrective lenses on if used by the participant. Depression was evaluated with the use of the 4-item Geriatric depression scale (GDS) score [19]. A score ≥ 1 indicated the presence of depressive symptoms. Cognitive decline, and more precisely executive dysfunction, was considered when the clock drawing test was abnormal (i.e., one or more errors were made in the execution of drawing the face of the clock and/or the hands of the clock) [20].

Gait recording

STV and walking speed were measured at self-selected waking speed using GAITRite®-system (GAITRite Gold, CIR Systems, PA, USA) in a 6-meter corridor. The GAITRite® System is an electronic walkway-integrated, pressure-sensitive electronic surface of 5.6 x 0.89 m that is connected to a personal portable computer via an interface cable. Participants walked one trial at their usual self-selected walking speed in a quiet, well-lit environment wearing their own footwear according to European guidelines for spatio-temporal gait analysis in older adults [21]. Coefficient of variation (CoV) ($\text{CoV} = (\text{standard deviation} / \text{mean}) \times 100$) of stride time was used to explore the outcome measure of STV.

Standard protocol approvals, registrations, and patient consents

Participant in the study were included after having given their written informed consent for research. The study was conducted in accordance with the ethical standards set forth in the Helsinki Declaration (1983). The entire study protocol was approved by the local Ethical Committee of Lyon (France) and the study is in compliance with the STROBE statement guidelines.

Statistical analysis

The participants' characteristics were summarized using means and standard deviations or frequencies and percentages, as appropriate. Normality of data distribution was checked using skewness-kurtosis test. As the number of observations was > 40 for each group, no transformations were applied to the variables of interest. For the current analysis, participants were classified into 4 groups as follows: No FOF and no falls; no FOF and falls; FOF and no falls; FOF and falls. First, between groups comparisons were performed using one-way analysis of variance (ANOVA) with Bonferroni corrections or Chi-square test, as appropriate. Second, univariate and multiple linear regression analyses were performed to examine the association between CoV of stride time (dependent variable) and FOF (independent variable) adjusted on walking speed and participants' baseline characteristics. Third, a logarithmic regression of the association between STV and walking speed of participants separated into four groups based on FOF and history of falls was performed to identify threshold value of walking related to increase in STV. P-values less than 0.05 were considered as statistically significant. All statistics were performed using SPSS (version 19.0; SPSS, Inc., Chicago, IL, USA).

RESULTS

Among 1,023 included participants, 60.5% ($n = 619$) were non-fallers without FOF, 19% ($n = 194$) fallers without FOF, 9.9% ($n = 101$) non-fallers with FOF, and 10.7% ($n = 109$) fallers with FOF. As shown in Table 1, the prevalence of women and the number of drugs daily taken were higher among participants with FOF compared to those without FOF ($P < 0.025$), regardless of the history of previous falls. Participants with FOF walked slower than those without FOF ($P < 0.008$). STV was significantly higher in fallers with FOF compared to nonfallers without FOF ($P = 0.003$).

Table 2 presents results from linear regression models investigating the association between CoV of STV and FOF. The univariate model shows that FOF with or without history of

previous falls was associated with higher STV ($P < 0.040$). Age was positively associated with increase in STV when walking speed was not used as a covariable in the multiple regression models ($P < 0.003$). Gender, number of drugs daily taken per day, BMI, lower limb proprioception, visual acuity, use of psychoactive drugs and cognitive impairment were not associated with STV. Adjustment on age, female gender, number of drugs daily taken per day, BMI, lower limb proprioception and visual acuity showed that only the combination of FOF with history of previous falls was associated to an increased STV ($P < 0.015$). Further adjustment on walking speed, as well as on cognitive parameters (i.e., use of psychoactive drugs, and cognitive impairment) made the association non significant. The adjusted R-squared for all models were low but increased with the adjustment on covariables ($R^2 = 0.011$ for model 1, $R^2 = 0.026$ for model 2, $R^2 = 0.028$ for model 3, $R^2 = 0.043$ for models 4 and 5).

The association between STV and walking speed for the four groups of participants was assessed using a logarithmic regression (Figure 1). The mean and the median of STV for each group of participants were calculated. Results showed that lower walking speed value were associated to an increase in STV ($P < 0.001$). STV decreased when walking speed was: > 1.18 m/s in the group of participants with no FOF and no falls; > 1.14 m/s in those with no FOF and falls; > 1.09 m/s in those with FOF and no falls; and > 1.04 m/s in those with FOF and falls.

Finally, and as shown in Table 3, while using a walking speed ≥ 1.14 m/s (i.e., level of walking speed that did not influence STV) - which corresponds to the median of STV for all participants - the fully adjusted linear regression models showed that only the age and the combination of FOF with history of falls were associated with higher STV ($P < 0.045$), and being above this walking speed threshold was associated with a decrease in STV ($P < 0.001$). Adjusted R^2 for models 1 and 2 were low, respectively at 0.052 and 0.051.

DISCUSSION

This study provides original information on the association of FOF with STV among older community dwellers, highlighting that divergences previously reported on this association in the literature [2,5,8,9] and in the present study mainly depend on the history of falls and the walking speed level. The latter parameter appears to play a major confounding role with a discontinued effect. This result is in concordance with the last published study on this topic, which underscored the hypothesis that walking speed could be a confounder in the relationship between high STV and FOF [5]. Indeed, the association between STV and FOF was no longer significant after adjustment on walking speed in the present study. Our study provides more information on this specific effect of walking speed. The combination of FOF with history of falls was associated with an increase in STV only for a walking speed above 1.14 m/s. These results suggest that at lower walking speed, STV mainly depends on a biomechanics effect that overrides the effects of all other covariables and thus prevents exploring the association of STV with FOF.

It has been previously reported that history of falls and FOF were independently related to an increase in STV [11]. Our study underscores a new insight, which corresponds to a synergistic effect when FOF and falls are combined. Indeed, taken alone they did not increase significantly STV and the magnitude of effect was very low, but together they highly increased STV. This result is in concordance with Maki et al. [22] who suggest this kind of interaction between FOF and falls. On the other hand, it has been previously reported that increased gait variability was a biomarker of falls [22]. Numerous studies reported that fallers compared to non-fallers had higher gait variability [9-22]. In addition, it has been shown that higher gait variability may predict falls [22]. First, the divergence with our results may be explained by the fact that we used a cross-sectional design, which is not best design to examine the causal relationship between two variables compared to cohort study design. Second, there could be a recall bias for falls assessment because it is well-known that a high proportion may forget the occurrence of falls, especially while the information on falls is retrospectively recorded compared to prospective collection of the event [23]. Third, we used STV while other studies found association between higher variability of other spatial-

temporal gait parameters and falls [5]. It has been reported that there is a variation of the level of gait variability related to type of spatial-temporal gait parameter considered in healthy older adults with safe gait, the lowest value being reported with stride time and the highest with stride width [10].

The second main result of our study was the fact that the effect of the combination of FOF with falls on STV depended on the level of walking speed. A significant association was reported only for faster walking speed (e.g., above 1.14 m/s). In contrast, for lower walking speed, the effect of combination of FOF with falls disappeared, and the increase in STV was related only to the decrease in walking speed. This effect is a well-known biomechanics effect. For instance, Beauchet et al. [24] previously showed, while using a dual-task paradigm among healthy young adults, that the increase in STV was explained by the decrease in walking speed rather than an attention interference. This biomechanics effect was first underscored by Heiderscheit [25] who showed that stride time variability was greater at very slow stride velocity (between 0.2 m.s⁻¹ and 0.6 m.s⁻¹) as compared with speeds ranging from 0.8 to 1.4 m.s⁻¹ in a sample of older adults. Our results are similar with a higher threshold value. One explanation could be related to the age and the relatively good health of the studied population. It is important to note that the threshold walking speed of 1.14 m/s reported in participants with FOF and history of falls is close to the walking speed required for safely crossing street traffic signals in a community, 1.1 m/s [26]. It may be suggested that for this group of individuals if their self-selected walking speed is above this threshold, the significant inverse association of walking speed and STV probably indicated their need to change their natural stepping rhythm in order to maintain dynamic postural stability. Whereas for those with a slower walking speed (i.e., under 1.14 m/s), the lack of significant association probably indicated that inability to adapt adequately their gait patterns. The clinical implication could be that the screening of walking speed is essential in this group of individuals [27]. If their walking speed is above the threshold speed, then the screening of STV may also be necessary and in case of abnormalities early intervention could be properly initiated.

A significant increase in STV related to the combination of FOF and falls at higher walking speed may be interpreted as a biomarker of the impairment of higher level gait control. In terms of motor control, lower variability reflects an automatic process requiring minimal attention, whereas higher variability is related to major attention involvement [10]. Dual task-related gait changes, which are used to study the involvement of attention in gait control, have highlighted that the control of spatial-temporal stride parameters may differ from one parameter to another. For instance, it was shown that healthy younger adults devoted attention to balance control under dual task conditions, whereas the control of the walking-related rhythmic stepping mechanism did not change [28]. Both stride time and stride length variability are related to the control of the rhythmic stepping mechanism [29]. Lower variability values reflect the reliability of lower limb movements and the automated regular rhythmic feature of gait and are associated with safe gait [22]. Thus, an increase in STV due to the combination FOF with falls may be a biomarker of the impairment of higher levels of gait control.

Our study has a number of strengths. First, it is the largest population based study in older adults that examined the association of FOF with STV. Second, compared to previous published studies, the major potential confounders in our study were taken into account, particularly walking speed. Third, all participants had a comprehensive clinical examination and specific gait assessment with the GAITRite® system, which is a validated portable gait analysis system that allows simple objective gait measurements.

Study limitations

There were also some methodological limitations in our study. First, the cross-sectional design used in the current original study is not the most adapted to examine the association of FOF with STV compared to a prospective cohort study design. Second, FOF was recorded only with a simple question. Although this assessment of FOF is validated [30], a questionnaire with several questions would prove better and provide more information on the level of FOF associated with STV. Third, although we were able to control for many characteristics likely to modify the association between FOF and STV, residual potential

confounders might still be present in our study. For instance, it could be suspected that individual's physical activity level may influence STV. There is only few published data on the latter point. In 2005, we provided the first evidence while comparing stride time variability under dual-task condition between 10 healthy community dwelling older adults with long-term practice of Jaques-Dalcroze eurhythmics and 11 healthy controls without any particular exercise routine [31]. No significant increase of stride time variability was found in the Dalcroze group with the interfering task of backward counting. In contrast, the healthy older subjects of the control group significantly increased their gait variability under dual task. In addition, all values of R-squared were small underlining that there was a large portion of variance of STV that was not accounted for confounders used in linear regression models. These low R-squared values also indicated that the strength of association was low between STV and tested dependent variables.

CONCLUSIONS

The current cross-sectional study shows that the combination of FOF with falls is significantly associated with higher STV in community-dwelling older adults. This association depends on the level of walking speed, the increase in STV at lower walking speed being mainly explained by a biomechanics effect overriding FOF-related effects.

Abbreviations

BMI: Body mass index; CoV: Coefficient of variation; FOF: Fear of falling;

STV: Stride-to-stride variability of stride time.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contributions

OB has full access to all of the data in the study, takes responsibility for the data, the analyses and interpretation and has the right to publish any and all data, separate and apart from the attitudes of the sponsor. All authors meet all of the following criteria: (1) contributing to the conception and design, or analyzing and interpreting data; (2) drafting the article or revising it critically for important intellectual content; and (3) approving the final version to be published.

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful to the participants for their cooperation.

Sponsor's role

The study was supported by Biomathics, Paris, France. The sponsors had no role in the design and conduct of the study, in the collection, management, analysis, and interpretation of the data, or in the preparation, review, or approval of the manuscript.

REFERENCES

1. Zijlstra GAR, van Haastregt JCM, van Eijk JTM, Kempen GI: Prevalence and correlates of fear of falling, and associated avoidance of activity in the general population of community-living older people. *Age Ageing* 2007, 36:304–309.
2. Friedman SM, Munoz B, West SK, Rubin GS, Fried LP: Falls and fear of falling: which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention. *J Am Geriatr Soc* 2002, 50:1329–1335.
3. Gagnon N, Flint AJ, Naglie G, Devins GM: Affective correlates of fear of falling in elderly persons. *Am J Geriatr Psychiatr* 2005, 13:7–14.
4. Van Haastregt JC, Zijlstra GA, Van RE, Van Eijk JT, Kempen GI: Feelings of anxiety and symptoms of depression in community-living older persons who avoid activity for fear of falling. *Am J Geriatr Psychiatr* 2008, 16:186–193.
5. Rochat S, Büla CJ, Martin E, Seematter-Bagnoud L, Karmaniola A, Aminian K, Piot-Ziegler C, Santos-Eggimann B: What is the relationship between fear of falling and gait in well-functioning older persons aged 65 to 70 years? *Arch Phys Med Rehabil* 2010, 9:879–884.
6. Chamberlin ME, Fulwider BD, Sanders SL, Medeiros JM: Does fear of falling influence spatial and temporal gait parameters in elderly persons beyond changes associated with normal aging? *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2005, 60:1163–1167.
7. Kressig RW, Wolf SL, Sattin RW, O’Grady M, Greenspan A, Curns A, Kutner M: Associations of demographic, functional, and behavioral characteristics with activity-related fear of falling among older adults transitioning to frailty. *J Am Geriatr Soc* 2001, 49:1456–1462.
8. Reelick MF, van Iersel MB, Kessels RP, Rikkert MG: The influence of fear of falling on gait and balance in older people. *Age Ageing* 2009, 38:435–440.

-
9. Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK: Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil* 2001, 82:1050–1056.
 10. Beauchet O, Allali G, Annweiler C, Bridenbaugh S, Assal F, Kressig RW, Herrmann FR: Gait variability among healthy adults: low and high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. *Gerontology* 2009, 55:702–706.
 11. Herman T, Giladi N, Gurevich T, Hausdorff JM: Gait instability and fractal dynamics of older adults with a “cautious” gait: why do certain older adults walk fearfully? *Gait Posture* 2005, 21:178–185.
 12. Montero-Odasso M, Verghese J, Beauchet O, Hausdorff JM: Gait and cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *J Am Geriatr Soc* 2012, 60:2127–2136.
 13. Ebersbach G, Baas H, Csoti I, Müngersdorf M, Deuschl G: Scales in Parkinson’s disease. *J Neurol* 2006, 253:iv32–iv35.
 14. Launay C, De Decker L, Annweiler C, Kabeshova A, Fantino B, Beauchet O: Association of depressive symptoms with recurrent falls: a cross-sectional elderly population based study and a systematic review. *J Nutr Health Aging* 2013, 17:152–157.
 15. Rossat A, Fantino B, Nitenberg C, Annweiler C, Poujol L, Herrmann FR, Beauchet O: Risk factors for falling in community-dwelling older adults: which of them are associated with the recurrence of falls? *J Nutr Health Aging* 2010, 14:787–791.
 16. Beauchet O, Dubost V, Revel Delhom C, Berrut G, Belmin J: French Society of Geriatrics and Gerontology. How to manage recurrent falls in clinical practice: guidelines of the French Society of Geriatrics and Gerontology. *J Nutr Health Aging* 2011, 15:79–84.
 17. Beauchet O, Annweiler C, Verghese J, Fantino B, Herrmann FR, Allali G: Biology of gait control: vitamin D involvement. *Neurology* 2011, 76:1617–1622.

18. Lord SR, Ward JA, Williams P, Anstey KJ: Physiological factors associated with falls in older community-dwelling women. *J Am Geriatr Soc* 1994, 42:1110–1117.
19. Shah A, Herbert R, Lewis S, Mahendran R, Platt J, Bhattacharyya B: Screening for depression among acutely ill geriatric in patients with a short Geriatric Depression Scale. *Age Ageing* 1997, 26:217–221.
20. Sunderland T, Hill JL, Mellow AM, Lawlor BA, Gundersheimer J, Newhouse PA, Grafman JH: Clock drawing in Alzheimer's disease. A novel measure of dementia severity. *J Am Geriatr Soc* 1989, 37:725–729.
21. Kressig RW, Beauchet O, European GAITRite Network Group: Guidelines for clinical applications of spatio-temporal gait analysis in older adults. *Aging Clin Exp Res* 2006, 18:174–176.
22. Maki BE: Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc* 1997, 45:313–320.
23. Hauer K, Lamb SE, Jorstad EC, Todd C, Becker C, PROFANE-Group: Systematic review of definitions and methods of measuring falls in randomised controlled fall prevention trials. *Age Ageing* 2006, 35:5–10.
24. Beauchet O, Dubost V, Herrmann FR, Kressig RW: Stride-to-stride variability while backward counting among healthy young adults. *J Neuroeng Rehabil* 2005, 2:26.
25. Heiderscheit BC: Movement variability as a clinical measure for locomotion. *J Appl Biomech* 2000, 16:419–427.
26. US Department of transportation, Federal highway administration: Signalized Intersections - Information Guide. Chapter 2 - Road User Needs. In Anonymous. Edited by FHWA-HRT-04-091. ; 2004:17–31.
27. Studenski S, Perera S, Patel K, Rosano C, Faulkner K, Inzitari M, Brach J, Chandler J, Cawthon P, Connor EB, Nevitt M, Visser M, Kritchevsky S, Badinelli S, Harris T, Newman

AB, Cauley J, Ferrucci L, Guralnik J: Gait speed and survival in older adults. *JAMA* 2011, 305:50–58.

28. Allali G, Kressig RW, Assal F, Herrmann FR, Dubost V, Beauchet O: Changes in gait while backward counting in demented older adults with frontal lobe dysfunction. *Gait Posture* 2007, 26:572–576.

29. Dubost V, Kressig RW, Gonthier R, Herrmann FR, Aminian K, Najafi B, Beauchet O: Relationships between dual-task related changes in stride velocity and stride time variability in healthy older adults. *Hum Mov Sci* 2006, 25:372–382.

30. Scheffer AC, Schuurmans MJ, van Dijk N, van der Hooft T, de Rooij SE: Fear of falling: measurement strategy, prevalence, risk factors and consequences among older persons. *Age Ageing* 2008, 37:19–24.

31. Kressig RW, Allali G, Beauchet O: Long-term practice of Jaques-Dalcroze eurhythmics prevents age-related increase of gait variability under a dual task. *J Am Geriatr Soc* 2005, 53:728–789.

Table 1. Comparisons of the participants' characteristics separated into four groups based on Fear of Falling and History of Falls (n = 1023)

	Fear of Falling				P-value*							
	No		Yes									
	(n = 813)		(n = 210)									
	Total		Total									
(n = 1023)	≥ 1 fall		≥ 1 fall									
	No	Yes	No	Yes	Overall 1	G1 versus G2	G1 versus G3	G1 versus G4	G2 versus G3	G2 versus G4	G3 vs G4	
	(n = 619)	(n = 194)	(n = 101)	(n = 109)								
	G1	G2	G3	G4								
Age (years), mean±SD	70.5±5	70.3±4.8	70.5±5.0	70.8±5.5	71±5.2	0.634	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Female gender, n (%)	519 (50.7)	251 (40.5)	111 (57.2)	72 (71.3)	85 (78)	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	0.104	0.002	1.000

Number of drugs taken per day, mean±SD	3.0±2.4	2.6±2.3	2.8±2.3	3.7±2.6	4.2±2.7	<0.001	1.000	<0.001	<0.001	0.024	<0.001	1.000
Body mass index (kg/m ²), mean±SD	26.3±4	26.1±3.8	26.4±3.9	26.4±4.6	27.1±5.1	0.111	1.000	1.000	0.095	1.000	0.734	1.000
Lower limb proprioception† (/8), mean±SD	6.4±1.9	6.5±1.8	6.5±1.9	6.3±2.1	6.1±2.0	0.236	1.000	1.000	0.431	1.000	0.464	1.000
Visual acuity‡ (/10), mean±SD	6.9±2.1	7.0±2.1	6.7±2.1	6.8±2.1	6.6±2.2	0.178	0.855	1.000	0.371	1.000	1.000	1.000
Walking speed (cm/s), mean±SD	107.7±22.6	110.8±21.5	107.0±21.8	103.0±25.2	96.17±23.1	<0.001	0.226	0.007	<0.001	0.870	<0.001	0.154
Use of psychoactive drugs¶, n (%)	185 (18.1)	84 (13.6)	30 (15.5)	34 (33.7)	37 (33.9)	0.140	0.583	0.772	1.000	1.000	0.565	0.603

Cognitive impairment , n (%)	213 (20.8)	122 (18.7)	39 (20.1)	23 (22.8)	29 (26.6)	0.397	1.000	1.000	0.615	1.000	1.000	1.000
Stride-to-stride variability of stride time (%), mean±SD	2.0±2.6	2.0±2.1	2.0±2.5	3.0±4.5	3.0±2.8	0.002	1.000	0.225	0.003	0.873	0.053	1.000

G1: Non-fallers and no fear of falling; G2: Fallers and no fear of falling; G3: Non-Fallers and fear of falling; G4: Fallers and fear of falling

*: Comparison based on oneway ANOVA with Bonferroni corrections or Chi-square test, as appropriate

†: Mean value of left and right side and based on graduated tuning fork placed on the lower limb

‡: Binocular visual acuity at a distance of 5 m with a Snellen letter test chart

¶: Use of benzodiazepines or antidepressants or neuroleptics

||: Participants with impaired Clock drawing test

Table 2. Multiple linear regression models showing the association between stride-to-stride variability of stride time (dependent variable) and fear of falling independent variable, with the group with no fear of falling and no falls used as reference) adjusted on participants' characteristics (n=1023)

	Change in CoV of stride time*														
	Model 1 [†]			Model 2 [†]			Model 3 [†]			Model 4 [†]			Model 5 [†]		
	β	95% CI	P-value	β	95% CI	P-value	β	95% CI	P-value	β	95% CI	P-value	β	95% CI	P-value
Fear of falling and falls combination															
No fear of falling and no falls	Ref			Ref			Ref			Ref			Ref		
No fear of falling and falls	0.017	[-0.003;0.005]	0.586	0.010	[-0.004;0.005]	0.747	0.006	[-0.004;0.005]	0.847	-0.006	[-0.004;0.004]	0.847	-0.005	[-0.004;0.004]	0.876

Fear of falling and no falls	0.066	[0.000;0.011]	0.038	0.056	[-0.001;0.010]	0.084	0.047	[-0.001;0.010]	0.142	0.030	[-0.003;0.008]	0.340	0.030	[-0.003;0.008]	0.339
Fear of falling and falls	0.110	[0.004;0.015]	0.001	0.096	[0.003;0.014]	0.003	0.082	[0.001;0.012]	0.014	0.044	[-0.002;0.009]	0.175	0.042	[-0.002;0.009]	0.192
Age				0.118	[0.000;0.001]	<0.001	0.106	[0.000;0.001]	0.002	0.055	[0.000;0.001]	0.094	0.047	[0.000;0.001]	0.157
Female gender				0.041	[-0.001;0.005]	0.205	0.044	[-0.001;0.006]	0.184	0.027	[-0.002;0.005]	0.401	0.030	[-0.002;0.005]	0.349
Number of drugs daily taken per day							0.049	[0.000;0.001]	0.136	0.004	[-0.001;0.001]	0.903	0.002	[-0.001;0.001]	0.941
Body mass index							0.052	[0.000;0.001]	0.100	-0.004	[0.000;0.000]	0.909	-0.006	[0.000;0.000]	0.837
Lower limb proprioception‡							0.001	[-0.001;0.001]	0.960	0.016	[-0.001;0.001]	0.612	0.015	[-0.001;0.001]	0.636
Visual acuity§							0.017	[-0.001;0.001]	0.606	0.015	[-0.001;0.001]	0.629	-0.021	[0.000;0.001]	0.500
Walking speed										-0.298	[-0.042;-0.027]	<0.001	-0.292	[-0.041;-0.026]	<0.001

Use of psychoactive drugs	-0.016	[-0.002;-0.001]	0.608
Cognitive impairment#	-0.057	[-0.008;0.000]	0.060

CI=confident interval; CoV: Coefficient of variation; β : Coefficient of regression beta corresponding to increase or decrease in CoV of stride time expressed in %; †: Separated models (Model 1: univariate model; Model 2: Model adjusted for age and gender; Model 3: Model 2 plus adjustment on number of drug daily taken, body mass index, lower limb proprioception and visual acuity; Model 4: Model 3 plus adjustment on walking speed; Model 5: Model 4 plus adjustment on use of psychoactive drugs and cognitive impairment); ‡: Mean value of left and right side and based on graduated tuning fork placed on the lower limb; §: Binocular visual acuity at a distance of 5 m with a Snellen letter test chart; ||: Use of benzodiazepines or antidepressants or neuroleptics; #: Participants with impaired Clock drawing test.

Figure 1. Logarithmic regression of the association between stride variability and walking speed of participants separated into four groups based on fear of falling and history of falls (n= 1,023). FOF: fear of falling.

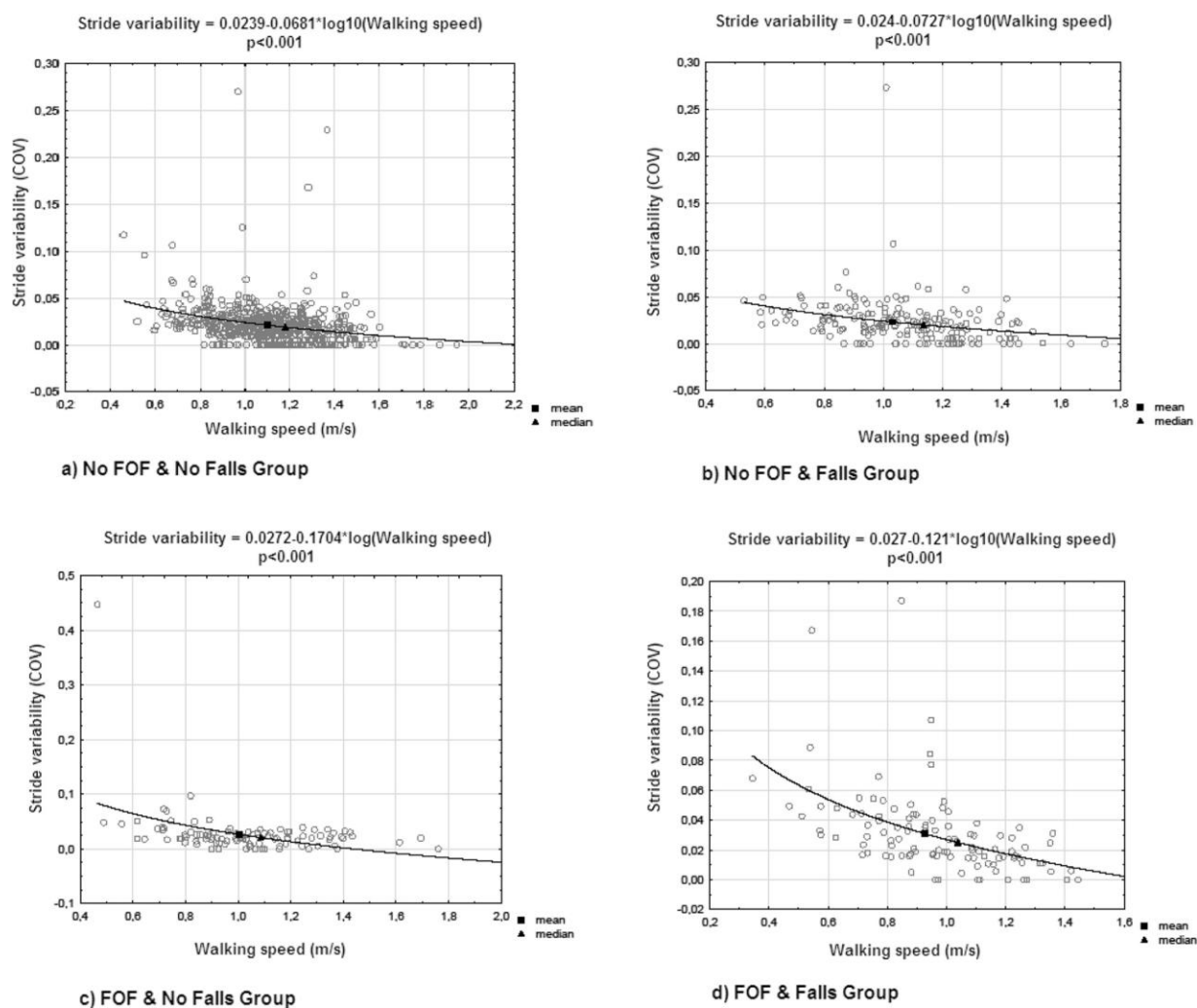


Table 3. Multiple linear regression models showing the association between stride-to-stride variability of stride time (dependent variable) and fear of falling (independent variable, with the group with no fear of falling and no falls used as reference) using a threshold for walking speed value (n=1023)

	Change in CoV of stride time*					
	Model 1 [†]			Model 2 [†]		
	β	95% CI	P-value	β	95% CI	P-value
Fear of falling and falls combination						
No fear of falling and no falls		Ref		Ref		
No fear of falling and falls	0.002	[-0.029;0.033]	0.955	0.003	[-0.028;0.035]	0.917
Fear of falling and no falls	0.039	[0.007;0.071]	0.219	0.041	[0.008;0.073]	0.206
Fear of falling and falls	0.067	[0.034;0.099]	0.043	0.066	[0.033;0.099]	0.044
Age	0.088	[0.054;0.122]	0.009	0.084	[0.050;0.118]	0.013

Female gender	0.042	[0.009;0.075]	0.201	0.042	[0.009;0.075]	0.201
Number of drugs daily taken per day	0.033	[0.001;0.066]	0.296	0.033	[0.001;0.066]	0.309
Body mass index	0.030	[-0.001;0.061]	0.338	0.030	[-0.002;0.061]	0.347
Lower limb proprioception‡	0.006	[-0.026;0.038]	0.855	0.004	[-0.028;0.037]	0.898
Visual acuity§	-0.003	[-0.035;0.029]	0.923	-0.004	[-0.036;0.029]	0.913
Walking speed \geq 1.14m/s	-0.165	[-0.196;-0.132]	<0.001	-0.164	[-0.196;-0.132]	<0.001
Use of psychoactive drugs				-0.026	[-0.057;0.005]	0.397
Cognitive impairment#				-0.001	[-0.033;0.031]	0.981

CI=confident interval; CoV: Coefficient of variation; β : Coefficient of regression beta corresponding to change in CoV of stride expressed in %; †: Separated models (Model 1: Model adjusted for age, gender, number of drug daily taken, body mass index, lower limb proprioception, visual acuity and walking speed \geq 1.14m/s; Model 2: Model 1 plus adjustment on use of psychoactive drugs and cognitive impairment); ‡: Mean value of left and right side and based on graduated tuning fork placed on the lower limb; §: Binocular visual acuity at a distance of 5 m with a Snellen letter test chart; ||: Use of benzodiazepines or antidepressants or neuroleptics; #: Participants with impaired Clock drawing test.

Etude 3: Farah Ayoubi, Cyrille Launay, Cédric Annweiler, Olivier Beauchet. Fear of falling and gait variability in older adults: a systematic review and meta-analysis. *J Am Med Dir Assoc.* 2015; 16:14-19

III. Fear of Falling and Gait Variability in Older Adults: A Systematic Review and Meta-analysis

F Ayoubi, MS ^{1,2}

C. Launay, MD, MS ^{1,2}

C. Annweiler, MD, PhD ^{1,3}

O. Beauchet, MD, PhD ¹

1: Department of Neuroscience, Division of Geriatric Medicine, Angers University Hospital, Angers, France. 2: UPRES EA 4336, UNAM, Angers University Hospital, Angers, France. 3: Robarts Research Institute, Department of Medical Biophysics, Schulich School of Medicine and Dentistry, the University of Western Ontario, London, Ontario, Canada

Correspondence to: Olivier Beauchet, MD, PhD; Department of Neuroscience, Division of Geriatric Medicine, Angers University Hospital, 49933 Angers cedex 9, France; E-mail: olbeauchet@chu-angers.fr; Phone: ++33 2 41 35 45 27; Fax: ++33 2 41 35 48 94

ABSTRACT

Background: Fear of falling (FOF) and increased gait variability are both independent markers of gait instability. There is a complex interplay between both entities. The purposes of this study were (1) to perform a qualitative analysis of all published studies on FOF-related changes in gait variability through a systematic review, and (2) to quantitatively synthesize FOF-related changes in gait variability.

Methods: A systematic Medline literature search was conducted in May 2014 using the Medical Subject Heading (MeSH) terms “Fear” OR “fear of falling” combined with “Accidental Falls” AND “Gait” OR “Gait Apraxia” OR “Gait Ataxia” OR “Gait disorders, Neurologic” OR “Gait assessment” OR “Functional gait assessment” AND “Self efficacy” OR “Self confidence” AND “Aged” OR “Aged, 80 and over.” Systematic review and fixed-effects meta-analysis using an inverse-variance method were performed.

Results: Of the 2184 selected studies, 10 observational studies (including 5 cross-sectional studies, 4 prospective cohort studies, and 1 case-control study) met the selection criteria. All were of good quality. The number of participants ranged from 52 to 1307 older community-dwellers (26.2% - 85.0% women). The meta-analysis was performed on 10 studies with a total of 999 cases and 4502 controls. In one study, the higher limits of the effect size’s confidence interval (CI) were lower than zero. In the remaining studies, the higher limits of the CI were positive. The summary random effect size of 0.29 (95% CI 0.13 e0.45) was significant albeit of small magnitude, and indicated that gait variability was overall 0.29 SD higher in FOF cases compared with controls.

Conclusions: Our findings show that FOF is associated with a statistically significant, albeit of small magnitude, increase in gait variability.

Key words: Fear of falling; gait variability; falls; motor control; older adults.

INTRODUCTION

Gait disorders are highly frequent in adults aged 65 years and older with a prevalence estimated at approximately 35%.^{1,2} They may be separated into neurological and non-neurological disorders.¹⁻³ Until recently, it was considered that neurological gait disorders result from focal to diffuse lesions occurring in the neural pathways linking the cortical motor centers to the peripheral neuromuscular systems.¹⁻⁵ Nowadays, there is growing evidence that a part of neurological gait disorders is caused by impairment in the highest levels of gait control (ie, subcortical and cortical levels) without any brain lesion identifiable.³⁻⁶ For instance, it has been reported that individuals with neuropsychiatric disorders, such as anxiety-depressive symptoms, have slower gait and are less steady when walking compared with healthy individuals.^{7,8}

Fear of falling (FOF) is defined as the lack of self-confidence that activities daily living may be performed without falling is a cause of cautious gait.^{9,10} FOF is common in older adults with a high prevalence estimated to be more than 20%^{6,9,10} and has been described as a cause of gait disorders due to impairment in cortical level of gait control.⁶ Most previous studies focused on unspecific FOF-related changes in gait performance and reported mild-to-moderate slowing, reduced mean stride length, and widening of the base of support, whereas variability of gait parameters has been reported as a better phenotype of cortical gait control than mean values of spatiotemporal gait parameters.⁶⁻¹⁵

Movement variability is a marker of motor coordination and reflects the control of the sensorimotor system.^{11,12} Variability represents a central issue for the study of motor control.^{13,14} It has been shown that gait variability, defined as the stride-to-stride fluctuations in walking, is a relevant marker of gait stability and cortical gait control.¹³⁻²¹ The general assumption is that there is an inverse association between gait variability and gait stability. Low gait variability reflects an efficient gait control and safe gait patterns.^{3,18-21} FOF-related increase in gait variability has been questioned.^{21,22} Studies reported mixed results, as some showed a significant association whereas others did not,²²⁻²⁴ underscoring a complex interplay between FOF and gait variability. Thus, the first question to better understand the relationship

between these entities is to determine whether or not FOF may influence gait variability among older adults. No structured critical evaluation of previously published studies has been performed. A systematic review could be helpful to provide an answer to this question. The purposes of this study were (1) to perform a qualitative analysis of all published studies on FOF related changes in gait variability through a systematic review, and (2) to quantitatively synthesize FOF-related changes in gait variability.

METHODS

Literature Search

A systematic Medline literature search was conducted in May 2014 without restriction of date and language, using the Medical Subject Heading (MeSH) terms “Fear” OR “fear of falling” combined with “Accidental Falls” AND “Gait” OR “Gait Apraxia” OR “Gait Ataxia” OR “Gait disorders, Neurologic” OR “Gait assessment” OR “Functional gait assessment” AND “Self efficacy” OR “Self confidence” AND “Aged” OR “Aged, 80 and over.” An iterative process was used to ensure all relevant articles had been obtained. A further hand search of bibliographic references of extracted papers and existing reviews was also conducted to identify potential studies not captured in the electronic database searches.

Study Selection and Analysis

Titles and abstracts of identified references were screened by a member of the team (FA) and obtained articles deemed potentially relevant. Initial screening criteria for the abstracts were as follows: (1) article written in English or French; (2) involvement of human participants aged 65 and older; (3) absence of neurological, rheumatologic, and ocular diseases; (4) observation and intervention studies (cohort, case-control, and cross-sectional studies were included); (5) FOF and gait as outcomes; and (6) quantitative measures of spatio-temporal gait parameters using biomechanical methods for assessment (eg, electronic walkways, footswitches systems). Studies that used only a questionnaire or the Timed Up and Go test or

another clinical test for gait assessment were excluded. If a study met the initial selection criteria or its eligibility could not be determined from the title and abstract, the full text was retrieved. A second study screening was performed. The full text was assessed for inclusion status. In case of disagreements, the articles were discussed with 2 of the authors (OB and CA). Final selection criteria were applied when gait variability was an outcome, or alternatively when the association between FOF and gait variability was examined. The study selection is shown on a flow diagram (Figure 1).

Of the 2184 originally identified abstracts, 199 (9.1%) met the initial inclusion criteria (see Appendix 1). Following thorough examination, we excluded 189 (94.9%) of those 199 studies because gait variability or the association between FOF and gait variability was not an outcome. The remaining 10 studies were included in this review.^{6,10,21-28} The quality of each study was assessed using the Newcastle-Ottawa Scale,²⁹ a validated technique for assessing the quality of case-control and nonrandomized cohort studies. The instrument uses a star system to evaluate observational studies based on 3 criteria: participant selection, comparability of study groups, and assessment of outcome or exposure (see Appendix 2). Articles selected for the full review had the following information extracted: authors, date of publication, study design, settings and study population, assessment methods of FOF and gait, gait variability (ie, SD or coefficient of variation [CoV] of gait parameters), and result of the association between FOF and gait variability (Supplementary Table 1).

Definition of Outcomes

We examined gait variability as measured by the SD or CoV of stride time or stride length, as these measures are generally accepted as reliable indicators of the control of the walking-related rhythmic stepping mechanism.^{11,18-20} When a study reported these parameters, only stride time variability was used for meta-analysis, because this gait parameter was reported to be the best biomarker of cortical gait control.¹²⁻¹⁶ Low variability values of both of these spatiotemporal gait parameters reflect the reliability of limb movements and the automated regular rhythmic feature of gait and are associated with safe gait.^{11,12} The study population of cases was estimated as the number of participants with FOF, regardless of the severity,

duration, or management of the FOF. Controls presented no FOF. For this purpose, in the study of Herman et al,⁶ we considered the group of patients with high-level gait disorders as the group of participants with FOF and the group of controls as those without FOF. Indeed, selected participants in this study were free of morbidities able to influence gait variability. They had self-reported walking difficulties that could not be attributed to any specific disease or medical condition.

Meta-analysis

All results were expressed in terms of a bias-corrected “effect size” of the difference between gait variability in cases and controls. Because mean value and SD of stride time was not provided in 3 articles, a request was successfully formulated to the first authors.^{6,26,28}

An effect size calculator worksheet was used to derive bias corrected effect sizes from mean, SD, and size of each group (Coe’s Calculator retrieved November 16, 2013, from <http://www.cemcentre.org/evidence-based-education/effect-size-calculator>).

Qualitative descriptors of the effect sizes obtained were less than 0.3, small; 0.4 to 0.8, moderate; and greater than 0.8, large.³⁰ Individual study data were then pooled using an inverse-variance method. Heterogeneity between studies was assessed using Cochran’s chi-squared test for homogeneity (Chi²), and amount of variation due to heterogeneity was estimated by calculating the I².³¹ As heterogeneity was invariably high, fixed but also random-effects meta-analyses were performed on the estimates to generate summary values (Review Manager version 5.1; The Nordic Cochrane Centre, Copenhagen, Denmark). Results are presented as a forest plot.

RESULTS

All studies were judged of good quality using the Newcastle-Ottawa Scale (see Appendix 2). Supplementary Table 1 summarizes the 10 studies included in this review and meta-

analysis.^{6,10,21-28} Data collection was based on cross-sectional design for 5 studies,^{8,21,22,27,28} on prospective observational cohort design for 4 studies,²³⁻²⁶ and on case-control design for 1 study.⁶ Population ranged from 52²⁴ to 1307,²⁶ and was most frequently female with a prevalence ranging from 26.2%¹⁰ to 85.0%.²⁶ The mean age ranged between 68.0±1.4²¹ and 82.0±6.0 years.²³ Different methods were used to assess FOF. The most frequent (80.0%, n=8) was the use of a single question “Are you afraid of falling?” with a binary answer (ie, yes or no).^{10,21-24,26-28} Falls efficacy scale (FES) was used in 2 studies^{21,24} and activities specific balance confidence scale (ABC) in 3 other studies.^{6,10,25} Most studies examined gait variability using CoV of stride time,^{6,10,21,22,25-28} whereas others used SD.^{6,23,24} Other studies examined variability of stride length,^{10,21,26} stride velocity,^{21,23} double-support time,²⁴ and swing time²⁴ measured with different types of devices including footswitches systems, Physilog system (BioAGM, CH, Geneva, Switzerland) or GAITRite system (CIR Systems, Sparta, NJ), and wireless motion recording sensor units. Four studies found significant higher gait variability in individuals with FOF compared with those without FOF.^{6,25,27,28} Two studies showed an inconclusive result,^{23,26} and 4 studies reported mixed results.^{10,21,22,24} In the latter case, a prospective cohort study observed that FOF evaluated by the single question was not associated with gait variability, whereas FES score was positively associated with gait variability.²⁴ Another prospective cohort study showed significant association with stride time but not with stride length.¹⁰ A cross-sectional study also reported mixed results, as FOF without activity restriction was not associated with gait variability, whereas FOF with activity restriction was.²¹ In addition, our previous original study showed that higher stride time variability was significantly associated with FOF in people with history of falls, but no association was reported in people without history of falls.²²

For ease of interpretation, a meta-analysis was performed on 10 studies identified in systematic review with a total of 999 cases and 4502 controls (Figure 2). For 3 studies, samples were separated into 4 subgroups^{21,22,26} according to FOF, and then according to activity restriction^{21,26} or history of falls.²² All effect sizes but one calculated at -0.71²⁴ were positive and ranged from 0.05 to 1.28 (see Appendix 3), on a scale where 0 corresponded to no difference between cases with FOF and controls without FOF, and negative effect sizes

indicated that cases have higher (ie, worse) gait variability than controls. In one study, the higher limits of the effect size's confidence interval (CI) were lower than zero.²⁴ In the remaining studies, the higher limits of the CI were positive. The summary random effect size of 0.29 (95% CI 0.13-0.45) indicated that gait variability was overall 0.29 SD higher in FOF cases compared with controls without FOF (Figure 2). This represents a “small” association of high gait variability with FOF.³² Using the “Common Language Effect Size” approach of McGraw and Wong, the probability is approximately 29% that an individual without FOF would have lower (ie, better) gait variability than an individual with FOF if both individuals were chosen at random from a population.³³

DISCUSSION

This systematic review and meta-analysis shows that FOF is associated with a small, significant increase in gait variability (ie, worst performance of gait). In addition, mixed results of qualitative analysis suggest that this association may be influenced by other covariables that should be taken into account when examining it.

Four studies of the 10 selected have shown a significant FOF related increase in gait variability.^{6,25,27,28} In these studies, FOF was assessed either by the ABC score of specific balance confidence scale or by a single question with a dichotomous statement (yes versus no). Gait was assessed using 2 different gait analysis systems: footswitches system^{6,25} and wireless motion recording sensor units.^{27,28} Gait measurement by wireless motion recording sensors units were performed by using a triaxial accelerometer, providing precise and accurate measurements of gait cycle parameters.³⁴⁻³⁷ For instance, Greene et al³⁶ showed that algorithms for body-worn sensors are comparable to the GAITRite electronic walkway for measurement of spatiotemporal gait parameters in healthy individuals. Similarly, it has been shown that the level of agreement between footswitches system and GAITRite system is high, confirming that they provide similar measures of stride time variability.³⁷ Thus, we can

consider that measures of gait variability of the footswitches system and the wireless motion recording sensor units are comparable.

The fact that FOF may induce changes in gait performance has been previously reported, but in contrast to our study, reported FOF related changes in gait concerned mean values of spatio-temporal gait parameters and usually correspond to a reduced gait speed, shorter stride length, increased stride width, and prolonged double limb support time.³⁸ These FOF-related changes in clinical practice are interpreted as cautious, and because no specific brain lesions may explain these changes in gait, they are classified as unspecific of high level gait control disorders.⁶ The specific FOF-related increase in gait variability highlighted in our study confirms that FOF may be considered as a dysfunction of cortical level of gait control, as suggested in some previous studies.^{8,24} Indeed, stride time variability relies on central and peripheral inputs and feedback, as well as on neuropsychological function, and can be viewed as a final, integrated output of the locomotor system.¹³⁻²⁰ Thus, our result confirms that a significant increase in stride time variability related to FOF should be considered as a biomarker of impairments of higher-level gait control.²⁴ The mechanisms underlying this association remain not fully elucidated, even if neuroanatomical evidence recently highlighted several cerebral networks that could explain how emotions may influence motor behaviors such as gait and posture.³⁹ For instance, in terms of neuronal network, it has been shown that connections between several cortical and subcortical areas could provide an interface between emotion system and motor control system.⁴⁰

Meanwhile, our findings underscore mixed results, as 4 studies showed simultaneously significant and non significant associations between FOF and gait variability^{10,21,22,24} and 2 studies showed inconclusive results.^{23,26} An explanation of mixed results could be related to the various methods of FOF assessment. In the 10 studies selected in our systematic review, FOF was assessed by a single question with a dichotomous statement (yes or no); the Activities Specific Balance Confidence Scale where a higher score reflects less fear; and the FES, based on the operational definition of fear as “low perceived self-confidence at avoiding falls during essential, relatively nonhazardous activities” where participants rate their own ability to complete a certain activity.³⁸ For instance, Hausdorff et al²⁴ showed that FOF

evaluated by the single question was not associated with increased gait variability, whereas FES score was positively associated with increased gait variability. This result can be explained by the differences in terms of reliability between the methods used to assess FOF. We suggest that a full questionnaire would provide more consistent information on the level of FOF than a single question. This latter point has been previously suggested by Tinetti and Powell.⁴¹ Indeed, these authors noted that an individual with low confidence in performing certain activities tends to avoid them. Answering “no” to a single question on FOF might be explained by the fact that the person avoids all activities causing FOF. Similarly, a person might have answered “yes” to question on FOF because she or he chose to engage in sports or other activities that present an increased fall risk, even if she or he did not necessarily have FOF within the context of daily tasks.

On the other hand, these mixed results can be also due to the effects of potential confounders, such as slow gait velocity and history of previous falls. Reelick et al¹⁰ showed that participants with FOF had lower gait velocity when walking at the preferred velocity with and without a cognitive dual task compared with those without FOF. In their study, they reported that stride time variability and stride length variability were associated with FOF. But, after adjustment for gait velocity, the association between gait variability and FOF was no longer significant. This result is consistent with previous findings on dual-task paradigm among healthy younger adults reporting that increased stride time variability was explained by decreased gait velocity rather than attention interference.^{3,39} In addition, it has been previously reported that increased gait variability is associated with the occurrence of falls.²³ Moreover, history of falls and FOF were independently related to an increase in stride time variability.⁶ In contrast, Maki²³ suggests that there is an interaction between FOF and falls, which corresponds to a synergistic effect when FOF and falls are combined. In concordance, Ayoubi et al²² showed that a significant increase in stride time variability was related to the combination of FOF and history of falls, although FOF alone was not related to increased gait variability. This suggests that cortical gait control impairment related to FOF is more complex than expected, and may require additional disorders, such as falling, to induce significant changes in gait control.

Some limitations of this study need to be considered. First, this review included a small number of studies, which underscores that research on FOF-related changes in gait variability is still limited. Second, available data and results remain too disparate to make firm conclusions. We suggest that these divergences may be due to the effect of potential confounders, such as slow gait velocity and history of previous falls. The effects of confounders could be particularly important because most selected studies were not randomized control trials. However, it has been underscored previously that, although randomized clinical trials provide essential high-quality evidence about the benefits and harms of medical interventions, many such trials have limited relevance to clinical practice.⁴¹ Third, several diseases, and specifically those leading to gait disorders, may be associated with FOF. These diseases and FOF may increase separately and/ or in combination with gait variability. Thus, it is impossible to distinguish the respective effect of FOF and these comorbidities. This problem was particularly important in our systematic review because we selected no randomized control trial. Thus, we excluded participants with comorbidities affecting gait variability, such as Parkinson disease, dementia, and rheumatologic diseases, so as to determine whether FOF should be considered as high-level impairment of gait control without any brain lesion identifiable. Fourth, there were also methodological limitations related to the nature of gait parameter used to examine gait variability. Indeed, gait variability was assessed with either SD or CoV of 2 parameters: the stride time and/or the stride length. Although it has been shown that both stride time variability and stride length variability are related to the control of the rhythmic stepping mechanism, SD and CoV may provide divergent results. Unlike SD, CoV is normalized by mean value, and is thus not directly related to anthropometric parameters, such as height or weight, which may influence the value of spatio-temporal gait parameters.^{3,14,18,39}

In conclusion, our systematic review and meta-analysis provides evidence that FOF is associated with a significant increase in gait variability. However, this association is of small magnitude, and other physical parameters, such as gait velocity, history of falls, and FOF related activity restriction, should be taken into account when considering this association.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Melinda Beaudenon, MS, Jennifer Gautier, BS, Simon Romain, MS, and Anastasiia Kabeshova, MS, from Angers University Memory Clinic, France, for daily assistance. There was no compensation for this contribution. We are also grateful to Jeffrey Hausdorff, Orna Donoghue, and Ryuichi Sawa for their cooperation, and more precisely for providing supplementary data from their published study that was required to perform a meta-analysis.

REFERENCES

1. Verghese J, LeValley A, Hall CB, et al. Epidemiology of gait disorders in community-residing older adults. *J Am Geriatr Soc* 2006; 54:255-261.
2. Chaves PH, Garrett ES, Fried LP. Predicting the risk of mobility difficulty in older women with screening nomograms. The Women's Health and Aging Study II. *Arch Intern Med* 2000;160:2525-2533.
3. Montero-Odasso M, Verghese J, Beauchet O, Hausdorff JM. Gait and cognition: A complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *J Am Geriatr Soc* 2012; 60:2127-2136.
4. Alexander GE, Crutcher MD. Functional architecture of basal ganglia circuits: Neural substrates of parallel processing. *Trends Neurosci* 1990; 13:266-271.
5. Nutt JG. Classification of gait and balance disorders. *Adv Neurol* 2001; 87:135-141.
6. Herman T, Giladi N, Gurevich T, Hausdorff JM. Gait instability and fractal dynamics of older adults with a "cautious" gait: Why do certain older adults walk fearfully? *Gait Posture* 2005; 21:178-185.

7. Radovanovi_c S, Jovi_ci_c M, Mari_c NP, Kostic V. Gait characteristics in patients with major depression performing cognitive and motor tasks while walking. *Psychiatry Res* 2014; 217:39-46.
8. Michalak J, Troje NF, Fischer J, et al. Embodiment of sadness and depressiondgait patterns associated with dysphoric mood. *Psychosom Med* 2009; 71:580-587.
9. Kempen GI, Yardley L, van Haastregt JC, et al. The Short FES-I: A shortened version of the falls efficacy scale-international to assess fear of falling. *Age Ageing* 2008; 37:45-50.
10. Reelick MF, van Iersel MB, Kessels RP, Rikkert MG. The influence of fear of falling on gait and balance in older people. *Age Ageing* 2009; 38:435-440.
11. Newell KM, Corcos DM. Issues in variability and motor control. In: Newell KM, Corcos DM, editors. *Variability and motor control*. Champaign: Human Kinetics; 1993. p. 1-12.
12. Nutt JG, Marsden CD, Thompson PD. Human walking and higher-level gait disorders, particularly in the elderly. *Neurology* 1993; 43:268-279.
13. Beauchet O, Allali G, Poujol L, et al. Decrease in gait variability while counting backward: A marker of “magnet effect”? *J Neural Transm* 2010; 117:1171-1176.
14. Beauchet O, Allali G, Annweiler C, et al. Gait variability among healthy adults: Low and high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. *Gerontology* 2009; 55:702-706.
15. Beauchet O, Allali G, Berrut G, et al. Gait analysis in demented subjects: Interests and perspectives. *Neuropsychiatr Dis Treat* 2008; 4:155-160.
16. Allan LM, Ballard CG, Burn DJ, Kenny RA. Prevalence and severity of gait disorders in Alzheimer’s and non-Alzheimer’s dementias. *J Am Geriatr Soc* 2005; 53:1681-1687.
17. Verghese J, Wang C, Lipton RB, Holtzer R. Motoric cognitive risk syndrome and the risk of dementia. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2013; 68:412-418.

-
18. Beauchet O, Allali G, Launay C, et al. Gait variability at fast-pace walking speed: A biomarker of mild cognitive impairment? *J Nutr Health Aging* 2013; 17:235-239.
 19. Beauchet O, Allali G, Thiery S, et al. Association between high variability of gait speed and mild cognitive impairment: A cross-sectional pilot study. *J Am Geriatr Soc* 2011; 59:1973-1974.
 20. Beauchet O, Annweiler C, Montero-Odasso M, et al. Gait control: A specific subdomain of executive function? *J Neuroeng Rehabil* 2012; 9:12.
 21. Rochat S, Büla CJ, Martin E, et al. What is the relationship between fear of falling and gait in well functioning older persons aged 65 to 70 years? *Arch Phys Med Rehabil* 2010; 91:879-884.
 22. Ayoubi F, Launay C, Annweiler C, et al. Fear of falling, falls, and gait variability in older community-dwelling individuals: Is there an association? *J Am Geriatr Soc* 2013; 61:1236-1238.
 23. Maki BE. Gait changes in older adults: Predictors of falls or indicators of fear. *J Am Geriatr Soc* 1997; 45:313-320.
 24. Hausdorff JM, Rios DA, Edelberg HK. Gait variability and fall risk in community living older adults: A 1-year prospective study. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82:1050-1056.
 25. Mirelman A, Herman T, Brozgol M, et al. Executive function and falls in older adults: New findings from a five-year prospective study link fall risk to cognition. *PLoS One* 2012; 7:e40297.
 26. Donoghue OA, Cronin H, Savva GM, et al. Effects of fear of falling and activity restriction on normal and dual task walking in community dwelling older adults. *Gait Posture* 2013; 38:120-124.
 27. Asai T, Misu S, Doi T, et al. Effects of dual-tasking on control of trunk movement during gait: Respective effect of manual- and cognitive-task. *Gait Posture* 2014; 39:54-59.

-
28. Sawa R, Doi T, Misu S, et al. The association between fear of falling and gait variability in both leg and trunk movements. *Gait Posture* 2014; 40:123-1127.
 29. Stroup DF, Berlin JA, Morton SC, et al. Meta-analysis of observational studies in epidemiology: A proposal for reporting. *Meta-analysis Of Observational Studies in Epidemiology (MOOSE) group*. *JAMA* 2000; 283:2008-2012.
 30. Egger M, Davey Smith G, Altman D. *Systematic Reviews in Health Care: Meta- Analysis in Context*. London: BMJ Publishing Group; 2001.
 31. Higgins JP, Thompson TS. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med* 2002; 21:1539-1558.
 32. Cohen J. *Statistical Power Analysis for Behavioral Sciences*. 2nd ed. New York: Academic Press; 1997.
 33. Dunlap WP. A program to compute McGraw and Wong's common language effect size indicator. *Behav Res Methods Instrum Comput* 1999; 31:706-709.
 34. Moe-Nilssen R, Helbostad JL. Estimation of gait cycle characteristics by trunk accelerometry. *J Biomech* 2004; 37:121-126.
 35. Moe Nilssen R. A new method for evaluating motor control in gait under reallife environmental conditions. Part 1: The instrument. *Clin Biomech (Bristol Avon)* 1998; 13:320-327.
 36. Greene BR, Foran TG, McGrath D, et al. A comparison of algorithms for bodyworn sensor-based spatiotemporal gait parameters to the GAITRite electronic walkway. *J Appl Biomech* 2012; 28:349-355.
 37. Beauchet O, Herrmann FR, Grandjean R, et al. Concurrent validity of SMTEC footswitches system for the measurement of temporal gait parameters. *Gait Posture* 2008; 27:156-159.

38. Kressig RW, Wolf SL, Sattin RW, et al. Associations of demographic, functional, and behavioral characteristics with activity related fear of falling among older adults transitioning to frailty. *J Am Geriatr Soc* 2001; 49:1456-1462.
39. Beauchet O, Dubost V, Herrmann FR, Kressig RW. Stride-to-stride variability while backward counting among healthy young adults. *J Neuroeng Rehabil* 2005; 2:26.
40. Ware JH, Hamel MB. Pragmatic trialsdguides to better patient care? *N Engl J Med* 2011; 364:1685-1687.
41. Tinetti M, Powell L. Fear of falling and low self-efficacy: A cause of dependence in elderly persons. *J Gerontol* 1993; 48:35-38.

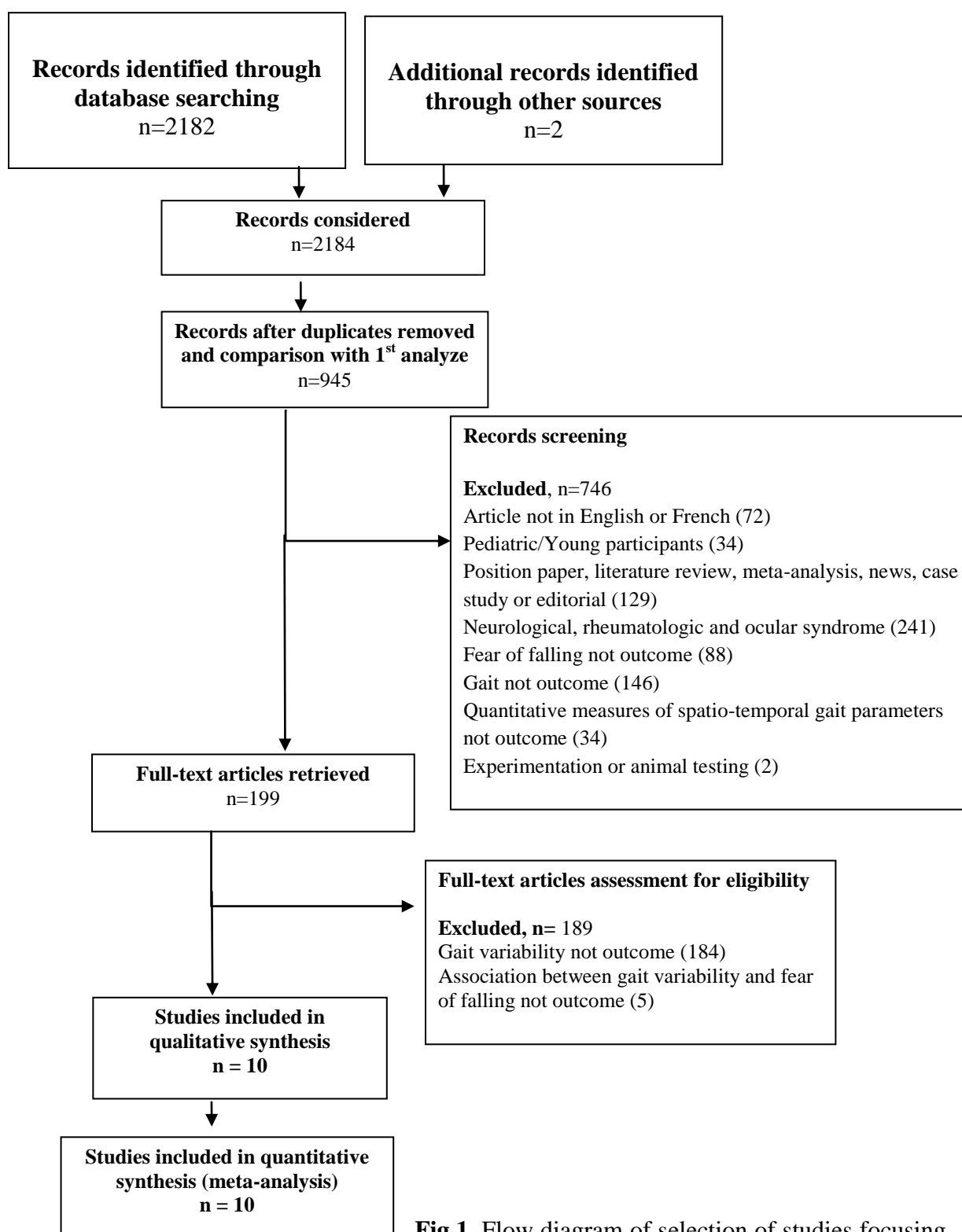
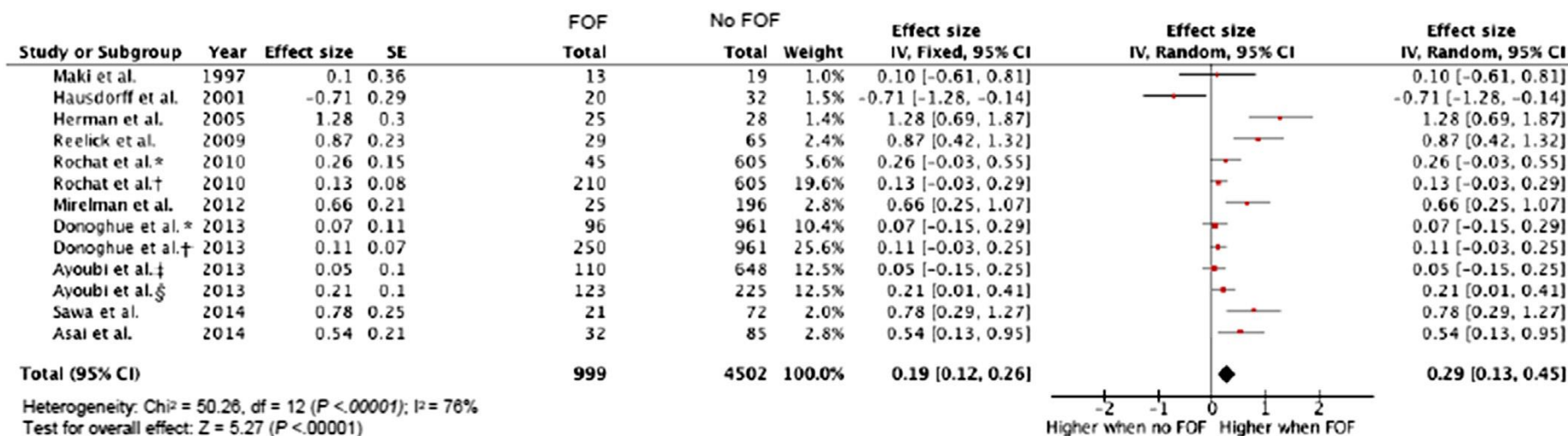


Fig.1. Flow diagram of selection of studies focusing

on fear of falling and gait variability in older adults.



- *: comparison of participants with no FOF versus participants with FOF and activity restriction
- †: comparison of participants with no FOF versus participants with FOF and no activity restriction
- ‡: comparison of participants with no FOF and no history of falls versus participants with FOF and no history of falls
- §: comparison of participants with no FOF and history of falls versus participants with FOF and history of falls

Fig.2. Forest plot comparing gait variability in cases with fear of falling and controls without fear of falling. The red square box areas are proportional to the sample size of each study, and horizontal lines correspond to the 95% CI. The black diamond represents the summary value. The vertical line corresponds to an effect size of 0.0, equivalent to no difference. IV, inverse variance.

Table 1. Summary of the 10 studies included in the qualitative analysis of systematic review

Reference	Design / Setting / population	Assessment and outcomes		Association between fear of falling and gait variability?
		Gait	FOF	
– Maki et al. – 1997 – J Am Geriatr Soc – (23)	– Prospective cohort study – Community-dwellers – N= 75 – 81.3% women – Mean age: 82.0±6.0 y	– Walkway of 8 m – Footswitches system – SD – Stride length, stride velocity and double support time	– Question "Are you afraid of falling?" Yes/No – FES scale	– No – Adjusted OR (95% CI): ▪ Stride length: 1.27 (0.77-2.11) ▪ stride velocity: 0.94 (0.58-1.51) ▪ double-support time: 1.38 (0.83-2.27)
– Hausdorff et al. – 2001 – Arch Phys Med Rehabil – (24)	– Prospective cohort study – Community-dwellers – N= 52 – 69.2% woman – Mean age: 80.3±5.9 y	– Walkway for up to 6 minutes – Footswitches system – SD – Stride time and swing time	– Question "Are you afraid of falling?" Yes/No – FES scale	– Mixed results: ▪ FOF quantified by single question: no association ▪ FES score negatively associated with SD of stride time (Spearman's correlation: r=-0.56; P<0.0001)

<ul style="list-style-type: none"> - Herman T et al. - 2005 - Gait Posture - (6) 	<ul style="list-style-type: none"> - Case-control study - Ambulatory outpatients - N= 53 (25 individuals with FOF and 28 without FOF) - 68% woman in FOF and no FOF groups of individuals - Mean age: 78.2±5.0 y (FOF) versus 78.4±5.6 y (no FOF) 	<ul style="list-style-type: none"> - Walkway of 25 m for 2 minutes - Footswitches system - SD and CoV - Stride time 	<ul style="list-style-type: none"> - ABC scale 	<ul style="list-style-type: none"> - Yes - ABC score negatively associated with SD and CoV of stride time (Spearman's correlation $r = -0.72$; $P < 0.0001$)
<ul style="list-style-type: none"> - Reelick MF et al. - 2009 - Age Ageing - (10) 	<ul style="list-style-type: none"> - Cross-sectional study - Community-dwellers - N= 94 (65 individuals without FOF and 29 individuals with 	<ul style="list-style-type: none"> - Walkway of 10 m - GaitRite® system - CoV - Stride time and stride length 	<ul style="list-style-type: none"> - ABC scale - Question "Are you afraid of falling?" Yes/No 	<ul style="list-style-type: none"> - Mixed - ABC score negatively associated with CoV of stride-time (coefficient β ABC score= -0.015; $P < 0.001$) - ABC score was not associated with

	FOF)			CoV of stride-length (coefficient β ABC score= -0.001; P=0.805)
	– 26.2 % women in no FOF and 51.7 % women in FOF			
	– Mean age: 80.5±3.7y (no FOF) versus 80.6±4.2 y (FOF)			
– RoCHAT S et al.	– Cross-sectional study	– Walkway of 20 m	– Question "Are you afraid of falling?" Yes/No	– Mixed results:
– 2010	– Community-dwellers	– Physilog® system		▪ FOF without activity restriction not associated with CoV of stride velocity (coefficient of regression $\beta=0.14$ [95% CI=- 0.07;0.34] with P= 0.182) and CoV of stride length (coefficient of regression $\beta=0.13$ [95% CI=- 0.02;0.27] with P= 0.097)
– Arch Phys Med Rehabil	– N= 860	– CoV	– Second question for participants reporting FOF "Because of your fear of falling, have you restricted any	▪ FOF with activity restriction was
– (21)	– 54.9% woman	– Stride velocity and length		
	– Mean age: 68.0±1.4 y			

			activities?"		
			– FES		associated with CoV of stride velocity (coefficient of regression $\beta=0.39$ [95% CI=0.01;0.76] with P= 0.042) but not associated to CoV of stride length (coefficient of regression $\beta=0.23$ [95% CI=-0.05;0.52] with P= 0.106)
– Mirelman et al.	– Prospective cohort study	– Walkway of 25 m	– ABC scale	– Yes	
– 2012		– Footswitches system		– ABC score negatively associated with CoV of stride time	
– PLoS one	– Community-dwellers	– CoV		(coefficient of regression β ABC score=- 0.255; P<0.001)	
– (25)	– N=256	– Stride time			
	– 61% woman				
	– Mean age: 76.4±4.5 y				
– Ayoubi F et al.	– Cross-sectional study	– Walkway of 4 m	– Question "Are you afraid of	– Mixed results:	
– 2013	– Community-dwellers	– GaitRite® system or		▪ CoV of stride time positively	

<ul style="list-style-type: none"> - J Am Geriatr Soc - (22) 	<ul style="list-style-type: none"> - N=1106 - 49.1% woman - Mean age: 70.4±4.7 y 	<ul style="list-style-type: none"> - SMTEC® system - CoV - Stride time 	<ul style="list-style-type: none"> - falling?" Yes/No 	<ul style="list-style-type: none"> - associated with the combination FOF plus falls (coefficient of regression $\beta=0.011$[95% CI=0.003;0.019] with P= 0.009) ▪ CoV of stride time not associated with the combination No FOF plus falls (coefficient of regression $\beta=-0.02$[95% CI=-0.006;0.006] with P= 1.000) and the combination FOF plus No Falls (coefficient of regression $\beta=0.002$[95% CI=-0.006;0.011] with P= 0.550)
<ul style="list-style-type: none"> - Donoghue et al. - 2013 - Gait&Posture - (26) 	<ul style="list-style-type: none"> - Prospective cohort study - Community-dwellers - N= 1307 (961 	<ul style="list-style-type: none"> - Walkway of 4.88 m - GaitRite® system - CoV - Stride time and stride 	<ul style="list-style-type: none"> - Question "Are you afraid of falling?" Yes/No 	<ul style="list-style-type: none"> - No: ▪ FOF without activity restriction was not associated with CoV of stride time: coefficient of regression

-
- individuals without FOF, 250 individuals with FOF but no activity restriction, 96 individuals with FOF and activity restriction)
 - 46% woman in the group without FOF, 78% woman in the group FOF but no activity restriction, 85% woman in the group FOF and activity restriction
 - Mean age: 71.3±5.6 y
 - Cross-sectional study
 - length
 - Walkway of 10 m
 - Second question for participants reporting FOF "Because of your fear of falling, have you restricted any activities?"
 - Question "Are
 - Yes
 - $\beta=0.03$ with $P >0.05$
 - FOF with activity restriction was not associated with CoV of stride time: coefficient of regression $\beta=0.17$ with $P >0.05$

<ul style="list-style-type: none"> - 2014 - Gait&Posture - (27) 	<ul style="list-style-type: none"> - Community-dwellers - N= 117 - 56.4% woman - Mean age: 73.7±4.0 y 	<ul style="list-style-type: none"> - Wireless motion recording sensor units MA) - CoV - Stride time 	<ul style="list-style-type: none"> - you afraid of falling?" Yes/No 	<ul style="list-style-type: none"> - Participants with FOF walked with higher CoV of stride time than those without FOF (t = 2.5, p < 0.05).
<ul style="list-style-type: none"> - Sawa et al. - 2014 - Gait& Posture - (28) 	<ul style="list-style-type: none"> - Cross-sectional study - Community-dwellers - N= 93 - 59.1% woman - Mean age: 73.1±4.1 y 	<ul style="list-style-type: none"> - Walkway of 10 m - Wireless motion recording sensor units - CoV - Stride time 	<ul style="list-style-type: none"> - Question "Are you afraid of falling?" Yes/No 	<ul style="list-style-type: none"> - Yes - CoV of stride time in participants with FOF was higher than in those without FOF (coefficient of regression β = - 0.793; 95% CI [-1.312 ; - 0.273] with P= 0.003)

ABC: Activities Specific Balance Confidence; CI: confidence interval; CoV: coefficient of variation; FES: Falls efficacy scale; FOF: fear of falling; m: meter; OR: odds ratio; SD: standard deviation; y: year

Appendix 2. Quality assessment of included studies using the Newcastle-Ottawa scale

Reference	Selection				Comparability		Exposure/Outcome			Score
	Cases definition adequate	Representativeness of cases	Selection of controls	Definition of controls	Age	Additional factors	Ascertainment of exposure	Same method for case and controls	Non-response rate	
Maki BE et al. (23)	*	*	*	*	*		*	*		7
Hausdorff JM et al. (24)	*	*	*	*	*		*	*	*	8
Herman T et al. (6)	*	*	*	*	*	*	*	*		8
Reelick MF et al. (10)	*	*	*	*	*		*	*		7
Rochat S et al. (21)	*	*	*	*	*		*	*		7
Mirelman A et al. (25)	*	*	*	*	*		*	*		7
Ayoubi F et al. (22)	*	*	*	*	*		*	*		7

Donoghue OA et al. (26)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9
Asai T et al. (27)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	8
Sawa R et al. (28)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9

High quality choices are identified with a star. The more stars allocated to a study, the better quality it was. A study could be awarded a maximum of one star of each numbered item within the "Selection" and "Exposure/Outcome" categories. A maximum of two stars could be given for the "Comparability" category.

Appendix 3. Gait variability estimated from standard deviation or coefficient of variation of stride time or stride length in studies comparing fear of falling cases and controls with effect size estimates for the difference.

References	Cases			Controls			Effect size			
	n	Mean	Standard deviation	n	Mean	Standard deviation	Uncorrected	Bias corrected*	Standard error	95 % CI
Maki BE et al. (23)	13	3.7	2.0	19	3.5	2.0	0.10	0.10	0.36	-0.61; 0.80
Hausdorff JM et al. (24)	20	3.9	1.0	32	4.4	0.4	-0.72	-0.71	0.29	-1.29 ; -0.14
Herman T et al. (6)	25	4.2	1.7	28	2.5	0.8	1.30	1.28	0.30	0.69; 1.88
Reelick MF et al. (25)	29	3.0	1.7	65	1.9	1.0	0.88	0.87	0.23	0.41; 1.32
Rochat S et al. † (21)	45	2.4	0.9	605	2.2	1.0	0.26	0.26	0.15	-0.04; 0.56
Rochat S et al. * (22)	210	2.3	1.0	605	2.2	1.0	0.13	0.13	0.08	-0.02; 0.29
Mirelman A et al. (25)	25	2.5	0.6	196	2.1	0.6	0.67	0.66	0.21	0.24; 1.08
Ayoubi F et al. ‡ (22)	110	2.6	3.1	648	2.4	3.8	0.05	0.05	0.10	-0.15; 0.26
Ayoubi F et al. (22)	123	3.4	8.5	225	2.3	2.4	0.21	0.21	0.10	0.01; 0.40
Donoghue OA et al. †	96	3.1	1.5	961	3.0	1.4	0.07	0.07	0.11	-0.14; 0.28

(26) Donoghue OA et al. *	250	3.2	3.1	961	3.0	1.4	0.11	0.11	0.07	-0.03;0.25
(27) Asai T et al.	32	2.6	1.1	85	2.0	1.1	0.55	0.54	0.21	0.13;0.95
(28) Sawa R et al.	21	2.8	1.1	72	2.0	1.0	0.78	0.78	0.25	0.28;1.27

CI: confidence interval; *: Hedges' correction

†: comparison of participants without fear of falling versus participants with fear of falling and activity restriction

*: comparison of participants without fear of falling versus participants with fear of falling and no activity restriction

‡: comparison of participants without fear of falling and no history of falls versus participants with fear of falling and no history of falls

||: comparison of participants without fear of falling and history of falls versus participants with fear of falling and history of fall

CHAPITRE V – DISCUSSION GENERALE

Synthèse des résultats obtenus

L'étude 1 semble confirmer l'existence d'une association, spécifique et indépendante de toutes autres variables, entre la variabilité du temps du cycle de marche et la combinaison peur de chuter + antécédent de chutes dans l'année passée dans le groupe de personnes âgées de 65 ans et plus étudié issues de l'étude PRC4, y compris après ajustement sur les potentiels facteurs de confusion. Nous avons, par ailleurs dans l'étude 2, mis en évidence que l'effet de la combinaison peur de chuter + antécédent de chutes sur la variabilité du temps du cycle de la marche dépend du niveau de la vitesse de marche. En effet, nous avons montré que l'augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche à un niveau de vitesse diminué est liée essentiellement à un effet biomécanique et non pas à celui de la peur de chuter. Enfin, la revue systématique et la méta-analyse des études ayant étudié la relation entre variabilité de la marche et la peur de chuter semble confirmer que la peur de chuter est bien associée significativement à une augmentation de la variabilité de la marche (Etude 3).

Effet de la combinaison peur de chuter + antécédent de chutes sur la variabilité de la marche

Des recherches précédentes ont montré que la peur de chuter et l'antécédent de chutes sont reliés indépendamment à une augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche⁴. L'augmentation de la variabilité de la marche a été considérée comme un biomarqueur de chutes. Maki (1997) a pu démontrer que le sujet âgé chuteur présentait une forte variabilité du pas mais aucune association entre peur de chuter et variabilité du pas n'a pu être observée⁵⁸. D'autre part, Hausdorff et al. (2001) ont montré que la variabilité du temps du cycle de marche est plus élevée chez les sujets âgés chuteurs suggérant que la mesure quantitative de la variabilité de la marche permet l'évaluation du risque de chute⁶. De plus, ils ont montré dans leur étude que la peur de chuter évaluée par une question simple (oui/non) n'était pas liée à la variabilité de la marche, par contre, le FES était associée significativement à la variabilité du temps du cycle de marche. Ils suggèrent ainsi que la variabilité du temps du cycle de marche

n'est pas complètement indépendante de la fonction neuropsychologique et de la peur de chuter.

Nos recherches viennent apporter de nouvelles informations sur l'effet de la peur de chuter et antécédent de chutes sur la variabilité de la marche. Dans notre première étude, nous avons étudié l'effet de la combinaison peur de chuter + antécédent de chutes sur la variabilité de la marche du sujet âgé. Ainsi quatre groupes de sujets ont été identifiés : 1) sujets âgés chuteurs avec peur de chuter, 2) sujets âgés chuteurs sans peur de chuter, 3) sujets âgés non chuteurs avec peur de chuter et 4) sujets âgés non chuteurs sans peur de chuter. Nos résultats montrent qu'il existe un effet synergique lorsque la peur de chuter et l'antécédent de chutes sont combinés. En effet, lorsqu'ils étaient pris séparément, ils n'ont pas augmenté significativement la variabilité du temps du cycle de marche et l'ampleur de l'effet était faible mais une fois combiné, ils ont fortement augmenté la variabilité du temps du cycle de marche. Nos résultats confirment que la peur de chuter seule (sans antécédent de chutes) n'est pas reliée à une augmentation de la variabilité de la marche. En effet, la déficience dans le contrôle corticale de la marche lié à la peur de chuter est plus complexe et nécessite d'autres troubles tels que les chutes pour induire des modifications significatives dans le contrôle de la marche.

La variabilité du pas liée à la peur de chuter dépend du niveau de la vitesse de marche

Les modifications de la marche liées à la peur de chuter, et plus précisément celles de la vitesse de marche, ont été décrites précédemment dans la littérature. Il a été montré que les sujets âgés qui ont peur de chuter marchent plus lentement^{7,42,217}. En outre, il a été suggéré que la peur de chuter augmente le temps du double appui, étant donné que les sujets tentent d'augmenter la largeur de leur pas et de diminuer la longueur de leur pas. Ces modifications peuvent être dues d'une part à la peur de chuter elle-même et d'autre part à l'adaptation du sujet à la marche instable induite par la peur de chuter⁴².

La vitesse de la marche peut avoir un effet de confusion majeur sur la relation entre l'augmentation de la variabilité de la marche et la peur de chuter des sujets âgés²¹⁸. Reelick et al. (2009) ont montré que la variabilité du pas est plus élevée chez les sujets âgés qui ont peur de chuter que chez les sujets âgés sans peur de chuter mais cette association devient non significative après ajustement de la variabilité du pas sur la vitesse de marche⁷. Ils suggèrent ainsi que l'augmentation de la variabilité du pas chez les sujets âgés ayant peur de chuter est probablement due à une réduction de la vitesse de marche. Dans une étude de Beauchet et al. (2009), les auteurs ont montré que la marche à une vitesse lente augmente la variabilité du pas⁵. Dans cette étude, la différence entre les groupes pour la variabilité de la marche n'était pas significative après ajustement sur la vitesse de marche. En revanche, une étude récente suggère que la peur de chuter influence la variabilité du pas indépendamment de la vitesse de marche²¹⁹. Dans cette étude, les auteurs ont montré que la variabilité du pas est plus élevée chez les sujets âgés ayant peur de chuter que chez les sujets âgés sans peur de chuter. Toutefois, ils n'ont pas trouvé de différence significative entre les groupes pour la vitesse de marche. En effet, la variabilité du pas chez les sujets qui ont peur de chuter était significativement supérieure à celle des sujets qui n'ont pas peur de chuter après ajustement sur la vitesse de la marche.

Dans notre deuxième étude, nous avons apporté un nouvel aperçu, qui correspond à l'existence d'un effet du niveau de la vitesse de marche sur l'association entre variabilité du temps du cycle de marche et la combinaison peur de chuter + antécédent de chutes. Nos résultats montrent qu'il n'existe d'association significative que pour les sujets qui ont une vitesse de marche élevée (> 1.14 m/s). En revanche, pour les valeurs de vitesse inférieure à 1.14 m/s, l'effet de la combinaison peur de chuter + antécédent de chutes a disparu, ainsi l'augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche était liée uniquement à une diminution de la vitesse de marche. Il s'agit d'un effet purement biomécanique. En effet, Beauchet et al. ont montré que l'augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche chez des sujets jeunes en bonne santé sous condition de double tâche est plutôt due à une diminution de la vitesse de marche qu'à une mise en jeu des ressources attentionnelles²²⁰. Cet effet biomécanique a été décrit dès les années 2000 par Heiderscheit qui a montré que la variabilité du temps du cycle de marche était élevée à une vitesse de marche très lente comprise entre 0.2 m.s⁻¹ et 0.6 m.s⁻¹ comparé à des vitesses de marche allant de 0.8 à 1.4

m.s-1 dans une population de sujets âgés ¹⁹⁰. Nos résultats sont similaires avec une plus grande valeur seuil de la vitesse de marche. Cette différence peut être expliquée par l'âge et l'état de santé relativement bon de la population étudiée. Il est important de noter que la valeur seuil de la vitesse de marche de 1.14 m/s indiquée chez les sujets âgés ayant peur de chuter et antécédent de chutes est très proche de la vitesse de marche nécessaire pour traverser la rue en toute sécurité aux feux de circulation dans une communauté, 1,1 m/s (Référence : US Department of transportation, Federal highway administration). Dans le groupe des sujets qui ont peur de chuter et antécédent de chutes, nous suggérons pour ceux qui ont auto-sélectionné une vitesse de marche supérieure à la valeur seuil, que l'association significative inverse de la vitesse de marche et de la variabilité du temps du cycle de marche indique probablement leur besoin de modifier leur rythme de marche afin de maintenir une stabilité posturale dynamique. Alors que pour ceux qui ont une vitesse de marche plus lente (<1.14 m/s), l'absence d'association significative indique probablement leur incapacité de s'adapter adéquatement à leur habiletés de marche. Ainsi, l'évaluation de la vitesse de marche peut être considérée comme essentielle dans ce groupe de sujets ²²¹. De plus, si leur vitesse de marche est supérieure à la vitesse seuil, l'évaluation de la variabilité du temps du cycle de marche peut être également nécessaire et en cas d'anomalies, une intervention précoce pourrait être mise en place.

Nos résultats montrent qu'il existe une augmentation significative de la variabilité du temps du cycle de marche liée à la combinaison peur de chuter + antécédent de chutes à une vitesse de marche élevée. Ainsi, l'augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche peut être considérée comme un biomarqueur d'un contrôle cortical déficient de la marche. Du point de vue du contrôle moteur, une faible variabilité reflète un processus automatique nécessitant un minimum d'attention, alors qu'une plus grande variabilité est liée à une forte implication des ressources attentionnelles ⁵. Les modifications de la marche sous condition de double tâche ont mis en évidence que le contrôle des paramètres spatio-temporels du pas peut différer d'un paramètre à un autre. En effet, il a été montré que les sujets jeunes consacraient plus d'attention pour contrôler l'équilibre sous condition de double tâche, alors que le contrôle du rythme du pas de la marche n'a pas changé ²²². La variabilité du temps du pas et la variabilité de la longueur du pas sont toutes les deux associées au contrôle du rythme du pas ¹⁶⁷. Une faible valeur de la variabilité du pas reflète la fiabilité des mouvements des membres

inférieurs et de la fonction rythmique, régulière et automatisée de la marche et est associée à une marche stable ⁵⁸. Ainsi, une augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche liée à la combinaison peur de chuter + antécédent de chutes peut être un biomarqueur d'un contrôle cortical déficient de la marche.

Existe-t-il une association entre la peur de chuter et la variabilité de la marche chez les sujets âgés ?

Les modifications de la marche liées à la peur de chuter ont été déjà étudiées dans la littérature, mais contrairement à nos recherches, ces modifications concernent les valeurs moyennes des paramètres spatio-temporels de la marche et correspondent généralement à une réduction de la vitesse, une diminution de la longueur du pas, une augmentation de la largeur du pas et une augmentation du temps du double appui. Dans la pratique clinique, ces changements liés à la peur de chuter sont interprétés comme des mesures de précautions, et comme il n'existe pas de lésions cérébrales spécifiques qui pourraient expliquer ces modifications, elles sont ainsi considérées comme non spécifique des troubles du contrôle cortical de la marche. Dans nos recherches, nous nous sommes intéressés à étudier l'effet de la peur de chuter sur la variabilité de la marche. Il a été déjà démontré que la variabilité de la marche est un marqueur pertinent de la stabilité et du contrôle cortical de la marche. En concordance avec certaines études antérieures, nos résultats montrent une augmentation de la variabilité de la marche liée à la peur de chuter suggérant que la peur de chuter peut être considérée comme un dysfonctionnement dans le contrôle cortical de la marche ^{6,223}. En effet, la variabilité du temps du cycle de marche dépend des afférences et efférences centrales et périphériques, ainsi que de la fonction neuropsychologique, et peut être considérée comme la sortie finale de l'appareil locomoteur ^{5,224-230}. Ainsi, nos résultats confirment qu'une augmentation significative du temps du cycle de marche liée à la peur de chuter doit être considérée comme un biomarqueur des déficiences de haut niveau dans le contrôle de la marche. Il faut noter qu'il a été récemment démontré que plusieurs réseaux cérébraux pourraient expliquer comment les émotions peuvent influencer les comportements moteurs tels que la posture et la marche ²²⁰. Par exemple, en termes de réseau neuronal, il a été montré,

que les connexions entre plusieurs aires corticales et sous-corticales pourraient fournir une interface entre le système d'émotion et le système de contrôle moteur.

Dans notre troisième étude, nous avons effectué une revue systématique de toutes les études publiées sur la variabilité de la marche liée à la peur de chuter. Par la suite, dix études ont été sélectionnées pour faire l'objet d'une méta-analyse, ces études ont montré des résultats mixtes. En effet, quatre études ont montré une augmentation significative de la variabilité de la marche liée à la peur de chuter ^{4,219,231,232}, deux études ont montré qu'il n'existe pas d'association entre la peur de chuter et la variabilité de la marche et les quatre autres études ont montré qu'il existe simultanément une association significative et non significative entre la peur de chuter et la variabilité de la marche. Les résultats de notre méta-analyse montrent que la peur de chuter est associée à une légère augmentation significative de la variabilité de la marche. De plus, les résultats mixtes de notre analyse qualitative suggèrent que cette association peut être influencée par d'autres covariables qui doivent être prises en considération. Ces résultats mixtes peuvent être expliqués par les différentes méthodes d'évaluation de la peur de chuter. Dans les dix études sélectionnées dans notre méta-analyse, la peur de chuter a été évaluée soit par une question simple avec une réponse dichotomique (oui/non), soit par l'ABC scale ou par le FES. En effet, Hausdorff et al. (2001) ont montré que la peur de chuter évaluée par une question simple n'était pas associée à une augmentation de la variabilité de la marche, tandis que l'évaluation de la peur de chuter par le FES était associée positivement à une augmentation de la variabilité de la marche ⁶. Ce résultat peut être expliqué par les différences en termes de fiabilité entre les différentes méthodes d'évaluation de la peur de chuter. Nous suggérons que l'utilisation d'un questionnaire permet de fournir plus d'informations sur la peur de chuter qu'une simple question standard. Ceci a été déjà évoqué par Tinetti et Powel (1993) ⁵⁷. En effet, ces auteurs ont noté qu'un individu qui a une faible confiance dans la réalisation de certaines activités a tendance à les éviter. Donc, répondre « Non » à la question « Avez-vous peur de chuter ? » peut être expliqué par le fait que cet individu évite toutes les activités qui causent une peur de chuter. De même, répondre « Oui » peut être expliqué par le fait que cet individu a choisi de s'engager dans des activités sportives ou autres qui présentent un risque de chute augmenté, étant donné que cet individu peut ne pas avoir une peur de chuter dans les activités de la vie quotidienne.

D'autre part, ces résultats divergents peuvent être dus aux effets des potentiels facteurs de confusion tels que l'antécédent de chutes et la réduction de la vitesse de marche. Dans une étude de Reelick et al. (2009), les auteurs ont montré que les participants qui ont peur de chuter avaient une vitesse de marche inférieure lors de la marche à vitesse naturelle avec ou sans une double tâche cognitive par rapport à ceux qui n'ont pas peur de chuter ⁷. Dans leur étude, ils ont montré que la variabilité de la marche est associée à la peur de chuter mais cette association devient non significative après ajustement sur la vitesse de la marche. Ce résultat est cohérent avec des recherches antérieures qui ont montré que l'augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche chez des sujets jeunes en bonne santé sous condition de double tâche est plutôt due à une diminution de la vitesse de marche qu'à une mise en jeu des ressources attentionnelles ^{8,220}. En outre, il a été déjà mentionné que l'augmentation de la variabilité de la marche est associée aux chutes ⁵⁸. De plus, l'antécédent de chutes et la peur de chuter étaient indépendamment liés à une augmentation de la variabilité du pas ⁴. En revanche, les résultats de nos recherches montrent qu'il existe un effet synergique lorsque la peur de chuter et la chute sont combinées.

Limites des études

Certaines limites de nos études doivent être mentionnées.

Dans nos études 1 et 2, le type d'étude transversale utilisé n'est pas le plus adapté pour examiner l'association entre la peur de chuter et la variabilité du temps du cycle de marche comparé à une étude de cohorte observationnelle et prospective. Dans ces études, l'évaluation de la peur de chuter était effectuée à l'aide d'une simple question unique. Bien que cet instrument d'évaluation soit validé ²⁹, un questionnaire avec plusieurs questions pourraient être mieux adapté et fournir ainsi plus d'informations sur la peur de chuter. D'autre part, bien que nous ayons contrôlé de nombreuses caractéristiques susceptibles de modifier l'association entre peur de chuter et variabilité du temps du cycle de marche, des potentiels facteurs de confusion résiduels pourraient être encore présents.

Dans l'étude n°3, notre revue systématique comprenait un petit nombre d'études, ce qui montre que la recherche sur l'association entre peur de chuter et variabilité du pas reste limitée. Ces études ont montré des résultats mixtes. Nous suggérons que ces divergences peuvent être dues à l'effet des potentiels facteurs de confusion, tels que la vitesse de la marche et l'antécédent de chutes. Les effets des facteurs de confusion pourraient être particulièrement importants parce que la plupart des études n'étaient pas randomisées. Par ailleurs, il y avait des limites méthodologiques liées à la nature du paramètre de marche utilisée pour examiner la variabilité de la marche. En effet, la variabilité de la marche a été évaluée par l'SD ou le CoV de deux paramètres différents: le temps du pas et/ou la longueur du pas. Bien qu'il ait été montré que ces deux paramètres sont liés au contrôle du mécanisme du pas rythmique lié à la marche, le SD et la CoV peuvent fournir des résultats divergents. En effet, contrairement à l'SD, le CoV est normalisé par une valeur moyenne, et n'est donc pas directement liés à des paramètres anthropométriques, tel que la taille ou le poids, qui peuvent influencer la valeur des paramètres spatio-temporels de la marche ^{5,8,220,225}.

CHAPITRE VI – CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les résultats de nos trois études semblent confirmer qu'il existe bien une relation entre une augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche et la peur de chuter, et qu'il existe un effet synergique sur l'augmentation de la variabilité du temps du cycle de marche lorsque la peur de chuter et la chute sont combinées. Ces résultats ne permettent pas d'accéder à la nature causale de la relation variabilité du temps du cycle de marche et peur de chuter puisque le plan d'étude utilisé ne le permet pas. Seule une étude de cohorte observationnelle et prospective pourrait nous aider à conclure sur ce dernier point. Par contre, nos résultats confortent l'hypothèse que la peur de chuter peut influencer directement le contrôle cortical de la marche en le désorganisant, aboutissant à une marche instable et un risque de chute important. Ce dernier point ouvre de nouvelles perspectives dans la compréhension des désordres de haut niveau de la marche après ceux décrits chez les individus ayant un déclin cognitif. En effet, la notion d'émotion, d'anxiété ou d'humeur négative reliée à la peur de chuter souligne l'influence que peut avoir la perception de sa propre mobilité chez un individu âgé et en évidence le fossé qui peut exister entre avoir l'impression que l'on va chuter, et donc d'un sentiment de grande instabilité de la marche, et les performances réelles de la marche qui n'étaient pas si altérées que ça dans les études 1 et 2. L'influence de cette perception négative de sa propre marche sur la désorganisation fonctionnelle du contrôle de la marche suggère qu'il est possible d'utiliser ce lien en sens inverse pour améliorer la marche des individus âgés. En effet, il est possible d'émettre l'hypothèse que renvoyer une image positive, et plus précisément un sentiment de sécurité de la marche à des individus âgés, peut avoir pour conséquence une amélioration de la stabilité de la marche, ce qui ouvre une nouvelle approche de la réhabilitation de la marche.

BIBLIOGRAPHIE

1. Legters, K. Fear of Falling. *Phys. Ther.* **82**, 264–272 (2002).
2. Hatch, J., Gill-Body, K. M. & Portney, L. G. Determinants of balance confidence in community-dwelling elderly people. *Phys. Ther.* **83**, 1072–1079 (2003).
3. Maki, B. E., Holliday, P. J. & Topper, A. K. Fear of falling and postural performance in the elderly. *J. Gerontol.* **46**, M123–131 (1991).
4. Herman, T., Giladi, N., Gurevich, T. & Hausdorff, J. M. Gait instability and fractal dynamics of older adults with a ‘cautious’ gait: why do certain older adults walk fearfully? *Gait Posture* **21**, 178–185 (2005).
5. Beauchet, O. *et al.* Gait variability among healthy adults: low and high stride-to-stride variability are both a reflection of gait stability. *Gerontology* **55**, 702–706 (2009).
6. Hausdorff, J. M., Rios, D. A. & Edelberg, H. K. Gait variability and fall risk in community-living older adults: a 1-year prospective study. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **82**, 1050–1056 (2001).
7. Reelick, M. F., van Iersel, M. B., Kessels, R. P. C. & Rikkert, M. G. M. O. The influence of fear of falling on gait and balance in older people. *Age Ageing* **38**, 435–440 (2009).
8. Montero-Odasso, M., Verghese, J., Beauchet, O. & Hausdorff, J. M. Gait and cognition: a complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *J. Am. Geriatr. Soc.* **60**, 2127–2136 (2012).
9. Bhala, R. P., O’Donnell, J. & Thoppil, E. Ptophobia. Phobic fear of falling and its clinical management. *Phys. Ther.* **62**, 187–190 (1982).
10. Jørstad, E. C., Hauer, K., Becker, C., Lamb, S. E. & ProFaNE Group. Measuring the psychological outcomes of falling: a systematic review. *J. Am. Geriatr. Soc.* **53**, 501–510 (2005).

-
11. Baloh, R. W., Jacobson, K. M., Socotch, T. M., Spain, S. & Bell, T. Posturography and concerns about falling in older people. *Facts Res. Gerontol.* **52**, (1996).
 12. Fessel, K. D. & Nevitt, M. C. Correlates of fear of falling and activity limitation among persons with rheumatoid arthritis. *Arthritis Care Res. Off. J. Arthritis Health Prof. Assoc.* **10**, 222–228 (1997).
 13. Lawrence, R. H. *et al.* Intensity and correlates of fear of falling and hurting oneself in the next year: baseline findings from a Roybal Center fear of falling intervention. *J. Aging Health* **10**, 267–286 (1998).
 14. Friedman, S. M., Munoz, B., West, S. K., Rubin, G. S. & Fried, L. P. Falls and fear of falling: which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention. *J. Am. Geriatr. Soc.* **50**, 1329–1335 (2002).
 15. Wilson, M.-M. G. *et al.* Fear of falling and related activity restriction among middle-aged African Americans. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **60**, 355–360 (2005).
 16. Murphy, J. & Isaacs, B. The post-fall syndrome. A study of 36 elderly patients. *Gerontology* **28**, 265–270 (1982).
 17. Tinetti, M. E., Richman, D. & Powell, L. Falls efficacy as a measure of fear of falling. *J. Gerontol.* **45**, P239–243 (1990).
 18. Buchner, D. M. *et al.* Development of the common data base for the FICSIT trials. *J. Am. Geriatr. Soc.* **41**, 297–308 (1993).
 19. Bandura, A. *Auto-efficacité. Le sentiment d'efficacité personnelle.* (De Boeck, 2003).
 20. Bandura, A. *Self-efficacy: The exercise of control.* **ix**, (W H Freeman/Times Books/ Henry Holt & Co, 1997).
 21. Arfken, C. L., Lach, H. W., Birge, S. J. & Miller, J. P. The prevalence and correlates of fear of falling in elderly persons living in the community. *Am. J. Public Health* **84**, 565–570 (1994).

-
22. Chandler, J., Duncan, P., Sander, L. & Studensky, S. The fear of falling syndrome: Relationship to falls, physical... : Topics in Geriatric Rehabilitation. *Top. Geriatr. Rehabil.* **11**, 55–63 (1996).
 23. Howland, J. *et al.* Covariates of fear of falling and associated activity curtailment. *The Gerontologist* **38**, 549–555 (1998).
 24. Yardley, L. Fear of imbalance and falling. *Rev. Clin. Gerontol.* **8**, 23–29 (1998).
 25. Tennstedt, S. *et al.* A randomized, controlled trial of a group intervention to reduce fear of falling and associated activity restriction in older adults. *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* **53**, P384–392 (1998).
 26. Cumming, R. G., Salkeld, G., Thomas, M. & Szonyi, G. Prospective study of the impact of fear of falling on activities of daily living, SF-36 scores, and nursing home admission. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **55**, M299–305 (2000).
 27. Huang, T.-T. Managing fear of falling: Taiwanese elders' perspective. *Int. J. Nurs. Stud.* **42**, 743–750 (2005).
 28. Studensky, S. & Rigler, S. Clinical overview of instability in older people. *Clin. Geriatr. Med.* **12**, 679–688 (1996).
 29. Scheffer, A. C., Schuurmans, M. J., Dijk, N. van, Hooft, T. van der & Rooij, S. E. de. Fear of falling: measurement strategy, prevalence, risk factors and consequences among older persons. *Age Ageing* **37**, 19–24 (2008).
 30. Franzoni, S., Rozzini, R., Boffelli, S., Frisoni, G. B. & Trabucchi, M. Fear of falling in nursing home patients. *Gerontology* **40**, 38–44 (1994).
 31. Gillespie, S. M. & Friedman, S. M. Fear of Falling in New Long-Term Care Enrollees. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **8**, 307–313 (2007).

-
32. Kressig, R. W. *et al.* Associations of demographic, functional, and behavioral characteristics with activity-related fear of falling among older adults transitioning to frailty. *J. Am. Geriatr. Soc.* **49**, 1456–1462 (2001).
 33. Lach, H. W. Incidence and risk factors for developing fear of falling in older adults. *Public Health Nurs. Boston Mass* **22**, 45–52 (2005).
 34. Murphy, S. L., Dubin, J. A. & Gill, T. M. The development of fear of falling among community-living older women: predisposing factors and subsequent fall events. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **58**, M943–947 (2003).
 35. Vellas, B. J., Wayne, S. J., Romero, L. J., Baumgartner, R. N. & Garry, P. J. Fear of falling and restriction of mobility in elderly fallers. *Age Ageing* **26**, 189–193 (1997).
 36. Yardley, L. & Smith, H. A prospective study of the relationship between feared consequences of falling and avoidance of activity in community-living older people. *The Gerontologist* **42**, 17–23 (2002).
 37. Mann, R., Birks, Y., Hall, J., Torgerson, D. & Watt, I. Exploring the relationship between fear of falling and neuroticism: a cross-sectional study in community-dwelling women over 70. *Age Ageing* **35**, 143–147 (2006).
 38. Howland, J. *et al.* Fear of falling among the community-dwelling elderly. *J. Aging Health* **5**, 229–243 (1993).
 39. Suzuki, M., Ohyama, N., Yamada, K. & Kanamori, M. The relationship between fear of falling, activities of daily living and quality of life among elderly individuals. *Nurs. Health Sci.* **4**, 155–161 (2002).
 40. Fletcher, P. C. & Hirdes, J. P. Restriction in activity associated with fear of falling among community-based seniors using home care services. *Age Ageing* **33**, 273–279 (2004).

-
41. Andresen, E. M. *et al.* Cross-Sectional and Longitudinal Risk Factors for Falls, Fear of Falling, and Falls Efficacy in a Cohort of Middle-Aged African Americans. *The Gerontologist* **46**, 249–257 (2006).
 42. Chamberlin, M. E., Fulwider, B. D., Sanders, S. L. & Medeiros, J. M. Does fear of falling influence spatial and temporal gait parameters in elderly persons beyond changes associated with normal aging? *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **60**, 1163–1167 (2005).
 43. Reyes-Ortiz, C. A. *et al.* Higher church attendance predicts lower fear of falling in older Mexican-Americans. *Aging Ment. Health* **10**, 13–18 (2006).
 44. Kempen, G. I., Haastregt, J. C. van, McKee, K. J., Delbaere, K. & Zijlstra, G. R. Socio-demographic, health-related and psychosocial correlates of fear of falling and avoidance of activity in community-living older persons who avoid activity due to fear of falling. *BMC Public Health* **9**, 170 (2009).
 45. Evitt, C. P. & Quigley, P. A. Fear of falling in older adults: a guide to its prevalence, risk factors, and consequences. *Rehabil. Nurs. Off. J. Assoc. Rehabil. Nurses* **29**, 207–210 (2004).
 46. Tinetti, M. E., Leon, C. F. M. D., Doucette, J. T. & Baker, D. I. Fear of Falling and Fall-Related Efficacy in Relationship to Functioning Among Community-Living Elders. *J. Gerontol.* **49**, M140–M147 (1994).
 47. Gaxatte, C. *et al.* Fear of falling as seen in the Multidisciplinary falls consultation. *Ann. Phys. Rehabil. Med.* **54**, 248–258 (2011).
 48. Delbaere, K., Crombez, G., Vanderstraeten, G., Willems, T. & Cambier, D. Fear-related avoidance of activities, falls and physical frailty. A prospective community-based cohort study. *Age Ageing* **33**, 368–373 (2004).
 49. Myers, A. M. *et al.* Psychological indicators of balance confidence: relationship to actual and perceived abilities. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **51**, M37–43 (1996).

-
50. Adkin, A. L., Frank, J. S., Carpenter, M. G. & Peysar, G. W. Fear of falling modifies anticipatory postural control. *Exp. Brain Res.* **143**, 160–170 (2002).
 51. Liu-Ambrose, T. *et al.* Falls-related self-efficacy is independently associated with balance and mobility in older women with low bone mass. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **61**, 832–838 (2006).
 52. Yardley, L. Fear of falling: links between imbalance and anxiety. *Rev. Clin. Gerontol.* **13**, 195–201 (2003).
 53. Brouwer, B., Musselman, K. & Culham, E. Physical function and health status among seniors with and without a fear of falling. *Gerontology* **50**, 135–141 (2004).
 54. Jamison, M., Neuberger, G. B. & Miller, P. A. Correlates of falls and fear of falling among adults with rheumatoid arthritis. *Arthritis Care Res.* **49**, 673–680 (2003).
 55. Kurlan, R. ‘Fear of falling’ gait: a potentially reversible psychogenic gait disorder. *Cogn. Behav. Neurol. Off. J. Soc. Behav. Cogn. Neurol.* **18**, 171–172 (2005).
 56. Myers, A. M., Fletcher, P. C., Myers, A. H. & Sherk, W. Discriminative and Evaluative Properties of the Activities-specific Balance Confidence (ABC) Scale. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **53A**, M287–M294 (1998).
 57. Tinetti, M. E. & Powell, L. Fear of falling and low self-efficacy: a case of dependence in elderly persons. *J. Gerontol.* **48 Spec No**, 35–38 (1993).
 58. Maki, B. E. Gait changes in older adults: predictors of falls or indicators of fear. *J. Am. Geriatr. Soc.* **45**, 313–320 (1997).
 59. Gagnon, N., Flint, A. J., Naglie, G. & Devins, G. M. Affective correlates of fear of falling in elderly persons. *Am. J. Geriatr. Psychiatry Off. J. Am. Assoc. Geriatr. Psychiatry* **13**, 7–14 (2005).

-
60. Murphy, S. L., Williams, C. S. & Gill, T. M. Characteristics Associated with Fear of Falling and Activity Restriction in Community-Living Older Persons. *J. Am. Geriatr. Soc.* **50**, 516–520 (2002).
 61. Yeung, F. K. C., Chou, K.-L. & Wong, E. C. H. Characteristics Associated with Fear of Falling in Hong Kong Chinese Elderly Residing in Care and Attention Homes. *Clin. Gerontol.* **29**, 83–98 (2006).
 62. Perez-Jara, J. *et al.* Fear of falling among elderly patients with dizziness and syncope in a tilt setting. *Can. J. Aging Rev. Can. Vieil.* **28**, 157–163 (2009).
 63. Deshpande, N. *et al.* Psychological, Physical and Sensory Correlates of Fear of Falling and Consequent Activity Restriction in the Elderly: The InCHIANTI Study. *Am. J. Phys. Med. Rehabil. Assoc. Acad. Physiatr.* **87**, 354–362 (2008).
 64. Zijlstra, G. a. R. *et al.* Prevalence and correlates of fear of falling, and associated avoidance of activity in the general population of community-living older people. *Age Ageing* **36**, 304–309 (2007).
 65. Miller, J. Perception and psychological effects of falling of elderly people living in the community. (Université de l'Illinois (Chicago), Health Sciences Center, 1995).
 66. Lachman, M. E. *et al.* Fear of falling and activity restriction: the survey of activities and fear of falling in the elderly (SAFE). *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* **53**, P43–50 (1998).
 67. Ward-Griffin, C. *et al.* Falls and fear of falling among community-dwelling seniors: the dynamic tension between exercising precaution and striving for independence. *Can. J. Aging Rev. Can. Vieil.* **23**, 307–318 (2004).
 68. Li, F., Fisher, K. J., Harmer, P., McAuley, E. & Wilson, N. L. Fear of falling in elderly persons: association with falls, functional ability, and quality of life. *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* **58**, P283–290 (2003).

-
69. Lord, S. R. & Castell, S. Physical activity program for older persons: effect on balance, strength, neuromuscular control, and reaction time. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **75**, 648–652 (1994).
 70. Seematter-Bagnoud, L. *et al.* Vulnerability in high-functioning persons aged 65 to 70 years: the importance of the fear factor. *Aging Clin. Exp. Res.* **22**, 212–218 (2010).
 71. Boyd, R. & Stevens, J. A. Falls and fear of falling: burden, beliefs and behaviours. *Age Ageing* **38**, 423–428 (2009).
 72. Resnick, B. Functional performance of older adults in a long-term care setting. *Clin. Nurs. Res.* **7**, 230–246; discussion 246–249 (1998).
 73. Huang, T.-T. Geriatric fear of falling measure: Development and psychometric testing. *Int. J. Nurs. Stud.* **43**, 357–365 (2006).
 74. Velozo, C. A. & Peterson, E. W. Developing meaningful Fear of Falling Measures for community dwelling elderly. *Am. J. Phys. Med. Rehabil. Assoc. Acad. Physiatr.* **80**, 662–673 (2001).
 75. Hill, K. D., Schwarz, J. A., Kalogeropoulos, A. J. & Gibson, S. J. Fear of falling revisited. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **77**, 1025–1029 (1996).
 76. Lusardi, M. M. & Smith, E. V. Development of a scale to assess concern about falling and applications to treatment programs. *J. Outcome Meas.* **1**, 34–55 (1997).
 77. Parry, S. W., Steen, N., Galloway, S. R., Kenny, R. A. & Bond, J. Falls and confidence related quality of life outcome measures in an older British cohort. *Postgrad. Med. J.* **77**, 103–108 (2001).
 78. Hellström, K. & Lindmark, B. Fear of falling in patients with stroke: a reliability study. *Clin. Rehabil.* **13**, 509–517 (1999).

-
79. Hellström, K., Lindmark, B. & Fugl-Meyer, A. The Falls-Efficacy Scale, Swedish version: does it reflect clinically meaningful changes after stroke? *Disabil. Rehabil.* **24**, 471–481 (2002).
 80. Kempen, G. I. J. M. *et al.* Cross-cultural validation of the Falls Efficacy Scale International (FES-I) in older people: results from Germany, the Netherlands and the UK were satisfactory. *Disabil. Rehabil.* **29**, 155–162 (2007).
 81. Yardley, L. *et al.* Development and initial validation of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I). *Age Ageing* **34**, 614–619 (2005).
 82. Cameron, I. D. *et al.* Hip protectors improve falls self-efficacy. *Age Ageing* **29**, 57–62 (2000).
 83. Petrella, R. J., Payne, M., Myers, A., Overend, T. & Chesworth, B. Physical function and fear of falling after hip fracture rehabilitation in the elderly. *Am. J. Phys. Med. Rehabil. Assoc. Acad. Physiatr.* **79**, 154–160 (2000).
 84. Wolf, S. L. *et al.* Reducing frailty and falls in older persons: an investigation of Tai Chi and computerized balance training. Atlanta FICSIT Group. Frailty and Injuries: Cooperative Studies of Intervention Techniques. *J. Am. Geriatr. Soc.* **44**, 489–497 (1996).
 85. Mendes de Leon, C. F., Seeman, T. E., Baker, D. I., Richardson, E. D. & Tinetti, M. E. Self-efficacy, physical decline, and change in functioning in community-living elders: a prospective study. *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* **51**, S183–190 (1996).
 86. Powell, L. E. & Myers, A. M. The Activities-specific Balance Confidence (ABC) Scale. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **50A**, M28–34 (1995).
 87. Hsu, P. C. & Miller, W. C. Reliability of the Chinese Version of the Activities-specific Balance Confidence Scale. *Disabil. Rehabil.* **28**, 1287–1292 (2006).

-
88. Van Heuvelen, M. J. G. *et al.* [Is the Activities-specific Balance Confidence Scale suitable for Dutch older persons living in the community?]. *Tijdschr. Gerontol. Geriatr.* **36**, 146–154 (2005).
 89. Salbach, N. M., Mayo, N. E., Hanley, J. A., Richards, C. L. & Wood-Dauphinee, S. Psychometric evaluation of the original and Canadian French version of the activities-specific balance confidence scale among people with stroke. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **87**, 1597–1604 (2006).
 90. Peretz, C., Herman, T., Hausdorff, J. M. & Giladi, N. Assessing fear of falling: Can a short version of the Activities-specific Balance Confidence scale be useful? *Mov. Disord. Off. J. Mov. Disord. Soc.* **21**, 2101–2105 (2006).
 91. Filiatrault, J. *et al.* Evidence of the psychometric qualities of a simplified version of the Activities-specific Balance Confidence scale for community-dwelling seniors. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **88**, 664–672 (2007).
 92. Hotchkiss, A. *et al.* Convergent and predictive validity of three scales related to falls in the elderly. *Am. J. Occup. Ther. Off. Publ. Am. Occup. Ther. Assoc.* **58**, 100–103 (2004).
 93. Simpson, J. M., Worsfold, C. & Hawke, J. Balance Confidence in Elderly People the CONFbal Scale. *Age Ageing* **27**, 57–b–57 (1998).
 94. Simpson, J. M. Questionnaires: Concern about falling, balance confidence, concern regarding the consequences of falling. *Prev. Falls Netw. Eur. Work Package 4 Consens. Meet. Southampt. Univ. Southampt.* (2003).
 95. Simpson, J. M. Having fallen does not fully explain fear of falling. *Br. Psychol. Soc. Annu. Conf. Lond. BPS Publ.* (2000).
 96. Warnke, A., Meyer, G., Bott, U. & Mühlhauser, I. Validation of a quality of life questionnaire measuring the subjective fear of falling in nursing home residents. *Z. Für Gerontol. Geriatr.* **37**, 459–466 (2004).

-
97. Blanchard, R. A., Myers, A. M. & Pearce, N. J. Reliability, construct validity, and clinical feasibility of the activities-specific fall caution scale for residential living seniors. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **88**, 732–739 (2007).
 98. Pearce, N. J., Myers, A. M. & Blanchard, R. A. Assessing subjective fall concerns in residential living seniors: development of the activities-specific fall caution scale. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **88**, 724–731 (2007).
 99. Inouye, S. K., Studenski, S., Tinetti, M. E. & Kuchel, G. A. Geriatric Syndromes: Clinical, Research and Policy Implications of a Core Geriatric Concept. *J. Am. Geriatr. Soc.* **55**, 780–791 (2007).
 100. Hauer, K. *et al.* Systematic review of definitions and methods of measuring falls in randomised controlled fall prevention trials. *Age Ageing* **35**, 5–10 (2006).
 101. Tinetti, M. E., Doucette, J., Claus, E. & Marottoli, R. Risk factors for serious injury during falls by older persons in the community. *J. Am. Geriatr. Soc.* **43**, 1214–1221 (1995).
 102. Davison, J., Bond, J., Dawson, P., Steen, I. N. & Kenny, R. A. Patients with recurrent falls attending Accident & Emergency benefit from multifactorial intervention--a randomised controlled trial. *Age Ageing* **34**, 162–168 (2005).
 103. Greene, E. *et al.* Recurrent falls are associated with increased length of stay in elderly psychiatric inpatients. *Int. J. Geriatr. Psychiatry* **16**, 965–968 (2001).
 104. Stalenhoef, P. A., Diederiks, J. P., de Witte, L. P., Schirricke, K. H. & Crebolder, H. F. Impact of gait problems and falls on functioning in independent living persons of 55 years and over: a community survey. *Patient Educ. Couns.* **36**, 23–31 (1999).
 105. Rubenstein, L. Z. Falls in older people: epidemiology, risk factors and strategies for prevention. *Age Ageing* **35 Suppl 2**, ii37–ii41 (2006).

-
106. Nevitt, M. C. & Cummings, S. R. Type of fall and risk of hip and wrist fractures: the study of osteoporotic fractures. The Study of Osteoporotic Fractures Research Group. *J. Am. Geriatr. Soc.* **41**, 1226–1234 (1993).
107. Alexander, B. H., Rivara, F. P. & Wolf, M. E. The cost and frequency of hospitalization for fall-related injuries in older adults. *Am. J. Public Health* **82**, 1020–1023 (1992).
108. Lord, S. R. Falls in the elderly: admissions, bed use, outcome and projections. *Med. J. Aust.* **153**, 117–118 (1990).
109. Englander, F., Hodson, T. J. & Terregrossa, R. A. Economic dimensions of slip and fall injuries. *J. Forensic Sci.* **41**, 733–746 (1996).
110. Allen, G. I. & Tsukahara, N. Cerebrocerebellar communication systems. *Physiol. Rev.* **54**, 957–1006 (1974).
111. Jackson, P. L. & Decety, J. Motor cognition: a new paradigm to study self-other interactions. *Curr. Opin. Neurobiol.* **14**, 259–263 (2004).
112. Rodríguez, M., Muñiz, R., González, B. & Sabaté, M. Hand movement distribution in the motor cortex: the influence of a concurrent task and motor imagery. *NeuroImage* **22**, 1480–1491 (2004).
113. Nashner, L. M. & McCollum, G. The organization of human postural movements: A formal basis and experimental synthesis. *Behav. Brain Sci.* **8**, 135–150 (1985).
114. Diener, H. C. & Dichgans, J. On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Prog. Brain Res.* **76**, 253–262 (1988).
115. Diener, H. C., Dichgans, J., Guschlbauer, B. & Bacher, M. Role of visual and static vestibular influences on dynamic posture control. *Hum. Neurobiol.* **5**, 105–113 (1986).
116. Grillner, S. & Zangger, P. On the central generation of locomotion in the low spinal cat. *Exp. Brain Res.* **34**, 241–261 (1979).

-
117. Mortin, L. I. & Stein, P. S. Spinal cord segments containing key elements of the central pattern generators for three forms of scratch reflex in the turtle. *J. Neurosci. Off. J. Soc. Neurosci.* **9**, 2285–2296 (1989).
118. Rybak, I. A., Stecina, K., Shevtsova, N. A. & McCrea, D. A. Modelling spinal circuitry involved in locomotor pattern generation: insights from the effects of afferent stimulation. *J. Physiol.* **577**, 641–658 (2006).
119. Defebvre, L. Troubles de la marche. *EMC - Traité Médecine AKOS* **5**, 1–7 (2010).
120. Zhenyu, X., Vaupel, J. W. & Yi, Z. The Healthy Longevity Survey and the Active Life Expectancy of the Oldest Old in China. *Population* **13**, 95–116 (2001).
121. Jankovic, J., Nutt, J. G. & Sudarsky, L. Classification, diagnosis, and etiology of gait disorders. *Adv. Neurol.* **87**, 119–133 (2001).
122. Sherrington, C., Lord, S. R. & Finch, C. F. Physical activity interventions to prevent falls among older people: update of the evidence. *J. Sci. Med. Sport Sports Med. Aust.* **7**, 43–51 (2004).
123. Verghese, J. *et al.* Epidemiology of Gait Disorders in Community-Residing Older Adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* **54**, 255–261 (2006).
124. Sudarsky, L. Gait disorders: prevalence, morbidity, and etiology. *Adv. Neurol.* **87**, 111–117 (2001).
125. Lord, S. R. & Ward, J. A. Age-associated differences in sensori-motor function and balance in community dwelling women. *Age Ageing* **23**, 452–460 (1994).
126. Menz, H. B., Lord, S. R. & Fitzpatrick, R. C. Age-related differences in walking stability. *Age Ageing* **32**, 137–142 (2003).
127. Pendergast, D. R., Fisher, N. M. & Calkins, E. Cardiovascular, neuromuscular, and metabolic alterations with age leading to frailty. *J. Gerontol.* **48 Spec No**, 61–67 (1993).

-
128. West, C. G. *et al.* Is vision function related to physical functional ability in older adults? *J. Am. Geriatr. Soc.* **50**, 136–145 (2002).
129. Lord, S. R. & Dayhew, J. Visual risk factors for falls in older people. *J. Am. Geriatr. Soc.* **49**, 508–515 (2001).
130. Maki, B. E., Holliday, P. J. & Topper, A. K. A prospective study of postural balance and risk of falling in an ambulatory and independent elderly population. *J. Gerontol.* **49**, M72–84 (1994).
131. Maki, B. E., Edmondstone, M. A. & McIlroy, W. E. Age-related differences in laterally directed compensatory stepping behavior. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **55**, M270–277 (2000).
132. Maki, B. E., Perry, S. D., Norrie, R. G. & McIlroy, W. E. Effect of facilitation of sensation from plantar foot-surface boundaries on postural stabilization in young and older adults. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **54**, M281–287 (1999).
133. Perry, S. D., McIlroy, W. E. & Maki, B. E. The role of plantar cutaneous mechanoreceptors in the control of compensatory stepping reactions evoked by unpredictable, multi-directional perturbation. *Brain Res.* **877**, 401–406 (2000).
134. Simoneau, G. G., Leibowitz, H. W., Ulbrecht, J. S., Tyrrell, R. A. & Cavanagh, P. R. The effects of visual factors and head orientation on postural steadiness in women 55 to 70 years of age. *J. Gerontol.* **47**, M151–158 (1992).
135. Simoneau, M. *et al.* Aging and postural control: postural perturbations caused by changing the visual anchor. *J. Am. Geriatr. Soc.* **47**, 235–240 (1999).
136. Teasdale, N., Stelmach, G. E., Breunig, A. & Meeuwsen, H. J. Age differences in visual sensory integration. *Exp. Brain Res.* **85**, 691–696 (1991).
137. Skinner, H. B., Barrack, R. L. & Cook, S. D. Age-related decline in proprioception. *Clin. Orthop.* 208–211 (1984).

-
138. Rosenhall, U. Degenerative patterns in the aging human vestibular neuro-epithelia. *Acta Otolaryngol. (Stockh.)* **76**, 208–220 (1973).
139. Tzankoff, S. P. & Norris, A. H. Effect of muscle mass decrease on age-related BMR changes. *J. Appl. Physiol.* **43**, 1001–1006 (1977).
140. Butler-Browne, G. & Bigard, A.-X. Caractéristiques du vieillissement musculaire et effets préventifs de l'exercice régulier. *Sci. Sports* **21**, 184–193 (2006).
141. Foldvari, M. *et al.* Association of muscle power with functional status in community-dwelling elderly women. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **55**, M192–199 (2000).
142. Jozsi, A. C., Campbell, W. W., Joseph, L., Davey, S. L. & Evans, W. J. Changes in power with resistance training in older and younger men and women. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **54**, M591–596 (1999).
143. Grimby, G. & Saltin, B. The ageing muscle. *Clin. Physiol. Oxf. Engl.* **3**, 209–218 (1983).
144. Simpson, J. M. S. R. Lord, C. Sherrington and H. B. Menz, Falls in Older People: Risk Factors and Strategies for Prevention, Cambridge University Press, 2001, 250 pp pbk & pound;29·95, ISBN 0521 589 649. *Ageing Soc.* **21**, 667–675 (2001).
145. Whipple, R. H., Wolfson, L. I. & Amerman, P. M. The relationship of knee and ankle weakness to falls in nursing home residents: an isokinetic study. *J. Am. Geriatr. Soc.* **35**, 13–20 (1987).
146. Such, C. H., Unsworth, A., Wright, V. & Dowson, D. Quantitative study of stiffness in the knee joint. *Ann. Rheum. Dis.* **34**, 286–291 (1975).
147. Vandervoort, A. A. *et al.* Age and sex effects on mobility of the human ankle. *J. Gerontol.* **47**, M17–21 (1992).
148. Gaudet, M. Etude standardisée des réactions d'adaptation posturale : Dans une population de sujet âgés chuteurs et non-chuteurs. *Rev. Gériatrie* **15**, 5 (1990).

-
149. Achim, C. *et al.* Global democratic consensus on neuropathological disease criteria. *Lancet Neurol.* **1**, 340 (2002).
150. Boller, F. & Forbes, M. M. History of dementia and dementia in history: an overview. *J. Neurol. Sci.* **158**, 125–133 (1998).
151. Duyckaerts, C. Looking for the link between plaques and tangles. *Neurobiol. Aging* **25**, 735–739; discussion 743–746 (2004).
152. Delatour, B., Blanchard, V., Pradier, L. & Duyckaerts, C. Alzheimer pathology disorganizes cortico-cortical circuitry: direct evidence from a transgenic animal model. *Neurobiol. Dis.* **16**, 41–47 (2004).
153. Duyckaerts, C. [What is dementia? 3. The neuropathologist point of view]. *Psychol. Neuropsychiatr. Vieil.* **1**, 71–77 (2003).
154. Metsaars, W. P., Hauw, J.-J., van Welsem, M. E. & Duyckaerts, C. A grading system of Alzheimer disease lesions in neocortical areas. *Neurobiol. Aging* **24**, 563–572 (2003).
155. Zekry, D. *et al.* Degenerative and vascular lesions of the brain have synergistic effects in dementia of the elderly. *Acta Neuropathol. (Berl.)* **103**, 481–487 (2002).
156. Plassman, B. L. *et al.* Prevalence of cognitive impairment without dementia in the United States. *Ann. Intern. Med.* **148**, 427–434 (2008).
157. Taconnat, L. & Lemaire, P. Fonctions exécutives, vieillissement cognitif et variations stratégiques. *Psychol. Fr.* **59**, 89–100 (2014).
158. Ble, A. *et al.* Executive function correlates with walking speed in older persons: the InCHIANTI study. *J. Am. Geriatr. Soc.* **53**, 410–415 (2005).
159. Carlson, M. C. *et al.* Association between executive attention and physical functional performance in community-dwelling older women. *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* **54**, S262–270 (1999).

-
160. Hausdorff, J. M., Yogev, G., Springer, S., Simon, E. S. & Giladi, N. Walking is more like catching than tapping: gait in the elderly as a complex cognitive task. *Exp. Brain Res.* **164**, 541–548 (2005).
161. Nevitt, M. C., Cummings, S. R. & Hudes, E. S. Risk factors for injurious falls: a prospective study. *J. Gerontol.* **46**, M164–170 (1991).
162. Sheridan, P. L., Solomont, J., Kowall, N. & Hausdorff, J. M. Influence of executive function on locomotor function: divided attention increases gait variability in Alzheimer's disease. *J. Am. Geriatr. Soc.* **51**, 1633–1637 (2003).
163. Tabbarah, M., Crimmins, E. M. & Seeman, T. E. The relationship between cognitive and physical performance: MacArthur Studies of Successful Aging. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **57**, M228–235 (2002).
164. Rubenstein, L. Z. & Josephson, K. R. The epidemiology of falls and syncope. *Clin. Geriatr. Med.* **18**, 141–158 (2002).
165. Shaw, F. E. Falls in cognitive impairment and dementia. *Clin. Geriatr. Med.* **18**, 159–173 (2002).
166. Franssen, E. H., Souren, L. E., Torossian, C. L. & Reisberg, B. Equilibrium and limb coordination in mild cognitive impairment and mild Alzheimer's disease. *J. Am. Geriatr. Soc.* **47**, 463–469 (1999).
167. Dubost, V. *et al.* Relationships between dual-task related changes in stride velocity and stride time variability in healthy older adults. *Hum. Mov. Sci.* **25**, 372–382 (2006).
168. Beauchet, O., Dubost, V., Aminian, K., Gonthier, R. & Kressig, R. W. Dual-task-related gait changes in the elderly: does the type of cognitive task matter? *J. Mot. Behav.* **37**, 259–264 (2005).
169. Camicioli, R., Howieson, D., Oken, B., Sexton, G. & Kaye, J. Motor slowing precedes cognitive impairment in the oldest old. *Neurology* **50**, 1496–1498 (1998).

-
170. Dubois, B., Slachevsky, A., Litvan, I. & Pillon, B. The FAB: a Frontal Assessment Battery at bedside. *Neurology* **55**, 1621–1626 (2000).
171. Lebert, F., Pasquier, F., Souliez, L. & Petit, H. Frontotemporal behavioral scale. *Alzheimer Dis. Assoc. Disord.* **12**, 335–339 (1998).
172. Luppá, M. *et al.* Age- and gender-specific prevalence of depression in latest-life--systematic review and meta-analysis. *J. Affect. Disord.* **136**, 212–221 (2012).
173. Lemke, M. R. [Motor signs of depression]. *Nervenarzt* **70**, 600–612 (1999).
174. Lemke, M. R., Broderick, A., Zeitelberger, M. & Hartmann, W. Motor activity and daily variation of symptom intensity in depressed patients. *Neuropsychobiology* **36**, 57–61 (1997).
175. Lord, S. R., Clark, R. D. & Webster, I. W. Postural stability and associated physiological factors in a population of aged persons. *J. Gerontol.* **46**, M69–76 (1991).
176. Sloman, L., Berridge, M., Homatidis, S., Hunter, D. & Duck, T. Gait patterns of depressed patients and normal subjects. *Am. J. Psychiatry* **139**, 94–97 (1982).
177. Vieregge, P., Stolze, H., Klein, C. & Heberlein, I. Gait quantitation in Parkinson's disease--locomotor disability and correlation to clinical rating scales. *J. Neural Transm. Vienna Austria 1996* **104**, 237–248 (1997).
178. Morris, M. E., Matyas, T. A., Ianssek, R. & Summers, J. J. Temporal stability of gait in Parkinson's disease. *Phys. Ther.* **76**, 763–777; discussion 778–780 (1996).
179. Dietz, V. Neurophysiology of gait disorders: present and future applications. *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* **103**, 333–355 (1997).
180. Sobin, C. & Sackeim, H. A. Psychomotor symptoms of depression. *Am. J. Psychiatry* **154**, 4–17 (1997).
181. Murray, M. P., Kory, R. C. & Clarkson, B. H. Walking patterns in healthy old men. *J. Gerontol.* **24**, 169–178 (1969).

-
182. Winter, D. A., Patla, A. E., Frank, J. S. & Walt, S. E. Biomechanical walking pattern changes in the fit and healthy elderly. *Phys. Ther.* **70**, 340–347 (1990).
183. Alexander, N. B. Gait disorders in older adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* **44**, 434–451 (1996).
184. Baloh, R. W., Ying, S. H. & Jacobson, K. M. A longitudinal study of gait and balance dysfunction in normal older people. *Arch. Neurol.* **60**, 835–839 (2003).
185. Hatze, H. Motion variability--its definition, quantification, and origin. *J. Mot. Behav.* **18**, 5–16 (1986).
186. Gabell, A. & Nayak, U. S. The effect of age on variability in gait. *J. Gerontol.* **39**, 662–666 (1984).
187. Clark, J. E. & Phillips, S. J. A longitudinal study of intralimb coordination in the first year of independent walking: a dynamical systems analysis. *Child Dev.* **64**, 1143–1157 (1993).
188. Turvey, M. T. Coordination. *Am. Psychol.* **45**, 938–953 (1990).
189. Van Emmerik, R. E., Wagenaar, R. C., Winogrodzka, A. & Wolters, E. C. Identification of axial rigidity during locomotion in Parkinson disease. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **80**, 186–191 (1999).
190. Heiderscheit, B. C. Movement variability as a clinical measure for locomotion. *J. Appl. Biomech.* **16**, 419–427 (2000).
191. Frenkel-Toledo, S. *et al.* Effect of gait speed on gait rhythmicity in Parkinson's disease: variability of stride time and swing time respond differently. *J. Neuroengineering Rehabil.* **2**, 23 (2005).
192. Hausdorff, J. M., Zeman, L., Peng, C. & Goldberger, A. L. Maturation of gait dynamics: stride-to-stride variability and its temporal organization in children. *J. Appl. Physiol. Bethesda Md 1985* **86**, 1040–1047 (1999).

-
193. Hausdorff, J. M. *et al.* Altered fractal dynamics of gait: reduced stride-interval correlations with aging and Huntington's disease. *J. Appl. Physiol. Bethesda Md* **1985** **82**, 262–269 (1997).
194. Hausdorff, J. M., Edelberg, H. K., Mitchell, S. L., Goldberger, A. L. & Wei, J. Y. Increased gait unsteadiness in community-dwelling elderly fallers. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **78**, 278–283 (1997).
195. Beauchet, O. *et al.* Age-related decline of gait control under a dual-task condition. *J. Am. Geriatr. Soc.* **51**, 1187–1188 (2003).
196. Brown, L. A., Sleik, R. J., Polych, M. A. & Gage, W. H. Is the prioritization of postural control altered in conditions of postural threat in younger and older adults? *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **57**, M785–792 (2002).
197. Brown, L. A., Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. H. Attentional demands and postural recovery: the effects of aging. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **54**, M165–171 (1999).
198. Fearing, F. Factors influencing static equilibrium: an experimental study of the effect of controlled and uncontrolled attention upon sway. *J. Comp. Psychol.* **5**, 1–24 (1925).
199. Hunter, M. C. & Hoffman, M. A. Postural control: visual and cognitive manipulations. *Gait Posture* **13**, 41–48 (2001).
200. Kerr, B., Condon, S. M. & McDonald, L. A. Cognitive spatial processing and the regulation of posture. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.* **11**, 617–622 (1985).
201. Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C. & Fleury, M. Upright standing and gait: are there changes in attentional requirements related to normal aging? *Exp. Aging Res.* **22**, 185–198 (1996).
202. Lajoie, Y., Teasdale, N., Bard, C. & Fleury, M. Attentional demands for static and dynamic equilibrium. *Exp. Brain Res.* **97**, 139–144 (1993).


-
203. Li, K. Z., Lindenberger, U., Freund, A. M. & Baltes, P. B. Walking while memorizing: age-related differences in compensatory behavior. *Psychol. Sci.* **12**, 230–237 (2001).
204. Maki, B. E. & McIlroy, W. E. Influence of arousal and attention on the control of postural sway. *J. Vestib. Res. Equilib. Orientat.* **6**, 53–59 (1996).
205. Marsh, A. P. & Geel, S. E. The effect of age on the attentional demands of postural control. *Gait Posture* **12**, 105–113 (2000).
206. Maylor, E. A. & Wing, A. M. Age differences in postural stability are increased by additional cognitive demands. *J. Gerontol. B. Psychol. Sci. Soc. Sci.* **51**, P143–154 (1996).
207. Redfern, M. S., Müller, M. L. T. M., Jennings, J. R. & Furman, J. M. Attentional dynamics in postural control during perturbations in young and older adults. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **57**, B298–303 (2002).
208. Redfern, M. S., Jennings, J. R., Martin, C. & Furman, J. M. Attention influences sensory integration for postural control in older adults. *Gait Posture* **14**, 211–216 (2001).
209. Shumway-Cook, A., Woollacott, M., Kerns, K. A. & Baldwin, M. The effects of two types of cognitive tasks on postural stability in older adults with and without a history of falls. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **52**, M232–240 (1997).
210. Teasdale, N. & Simoneau, M. Attentional demands for postural control: the effects of aging and sensory reintegration. *Gait Posture* **14**, 203–210 (2001).
211. Teasdale, N., Bard, C., LaRue, J. & Fleury, M. On the cognitive penetrability of posture control. *Exp. Aging Res.* **19**, 1–13 (1993).
212. Woollacott, M. H., Shumway-Cook, A. & Nashner, L. M. Aging and posture control: changes in sensory organization and muscular coordination. *Int. J. Aging Hum. Dev.* **23**, 97–114 (1986).

213. Gage, W. H., Sleik, R. J., Polych, M. A., McKenzie, N. C. & Brown, L. A. The allocation of attention during locomotion is altered by anxiety. *Exp. Brain Res.* **150**, 385–394 (2003).
214. Greenland, S., Pearl, J. & Robins, J. M. Causal diagrams for epidemiologic research. *Epidemiol. Camb. Mass* **10**, 37–48 (1999).
215. Beauchet, O., Herrmann, F. R., Grandjean, R., Dubost, V. & Allali, G. Concurrent validity of SMTEC footswitches system for the measurement of temporal gait parameters. *Gait Posture* **27**, 156–159 (2008).
216. Kressig, R. W., Beauchet, O. & European GAITRite Network Group. Guidelines for clinical applications of spatio-temporal gait analysis in older adults. *Aging Clin. Exp. Res.* **18**, 174–176 (2006).
217. Donoghue, O. A., Cronin, H., Savva, G. M., O'Regan, C. & Kenny, R. A. Effects of fear of falling and activity restriction on normal and dual task walking in community dwelling older adults. *Gait Posture* **38**, 120–124 (2013).
218. Rochat, S. *et al.* What is the relationship between fear of falling and gait in well-functioning older persons aged 65 to 70 years? *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **91**, 879–884 (2010).
219. Sawa, R. *et al.* The association between fear of falling and gait variability in both leg and trunk movements. *Gait Posture* **40**, 123–127 (2014).
220. Beauchet, O., Dubost, V., Herrmann, F. R. & Kressig, R. W. Stride-to-stride variability while backward counting among healthy young adults. *J. Neuroengineering Rehabil.* **2**, 26 (2005).
221. Studenski, S. *et al.* Gait speed and survival in older adults. *JAMA* **305**, 50–58 (2011).
222. Allali, G. *et al.* Changes in gait while backward counting in demented older adults with frontal lobe dysfunction. *Gait Posture* **26**, 572–576 (2007).

-
223. Michalak, J. *et al.* Embodiment of sadness and depression--gait patterns associated with dysphoric mood. *Psychosom. Med.* **71**, 580–587 (2009).
224. Allan, L. M., Ballard, C. G., Burn, D. J. & Kenny, R. A. Prevalence and severity of gait disorders in Alzheimer's and non-Alzheimer's dementias. *J. Am. Geriatr. Soc.* **53**, 1681–1687 (2005).
225. Beauchet, O., Allali, G., Launay, C., Herrmann, F. R. & Annweiler, C. Gait variability at fast-pace walking speed: a biomarker of mild cognitive impairment? *J. Nutr. Health Aging* **17**, 235–239 (2013).
226. Beauchet, O. *et al.* Gait control: a specific subdomain of executive function? *J. Neuroengineering Rehabil.* **9**, 12 (2012).
227. Beauchet, O. *et al.* Association between high variability of gait speed and mild cognitive impairment: a cross-sectional pilot study. *J. Am. Geriatr. Soc.* **59**, 1973–1974 (2011).
228. Beauchet, O. *et al.* Decrease in gait variability while counting backward: a marker of 'magnet effect'? *J. Neural Transm. Vienna Austria 1996* **117**, 1171–1176 (2010).
229. Beauchet, O. *et al.* Gait analysis in demented subjects: Interests and perspectives. *Neuropsychiatr. Dis. Treat.* **4**, 155–160 (2008).
230. Verghese, J., Wang, C., Lipton, R. B. & Holtzer, R. Motoric cognitive risk syndrome and the risk of dementia. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* **68**, 412–418 (2013).
231. Asai, T., Misu, S., Doi, T., Yamada, M. & Ando, H. Effects of dual-tasking on control of trunk movement during gait: respective effect of manual- and cognitive-task. *Gait Posture* **39**, 54–59 (2014).
232. Mirelman, A. *et al.* Executive function and falls in older adults: new findings from a five-year prospective study link fall risk to cognition. *PloS One* **7**, e40297 (2012).

ANNEXES

1. Fiche de recueil des données « PCR4 »

IDENTIFICATION	INFORMATIONS CLINIQUES	
<p>La date de l'examen est indiquée sur l'étiquette SAGES</p>  <div data-bbox="255 986 779 1134" style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 10px 0;"> Etiquette SAGES (Nom, prénom, date de naissance) </div> <p>NUMERO DU CES : _ _ _ </p> <p>NUMERO SUJET : _ _ _ </p>	<p>SEXE : <input type="checkbox"/> Homme <input type="checkbox"/> Femme</p> <p>LIEU DE VIE : <input type="checkbox"/> Domicile <input type="checkbox"/> Institution</p> <p>TAILLE (cm) : _ _ _ _ TAILLE à 20 ans : _ _ _ _ </p> <p>POIDS (kg) : _ _ _ _ </p> <p>TEST DES 3 MOTS (clé, ballon, citron) : <input type="checkbox"/> correct <input type="checkbox"/> incorrect</p>	<p>VISION DE LOIN (/10)</p> <p>Œil Droit : _ _ </p> <p>Œil gauche : _ _ </p> <p>TUG : _ _ _ </p> <p>TUG Imaginé : _ _ _ </p> <p>COTATION DIAPASON (Malléole externe cheville, score/ 8) :</p> <p>Droite : _ </p>

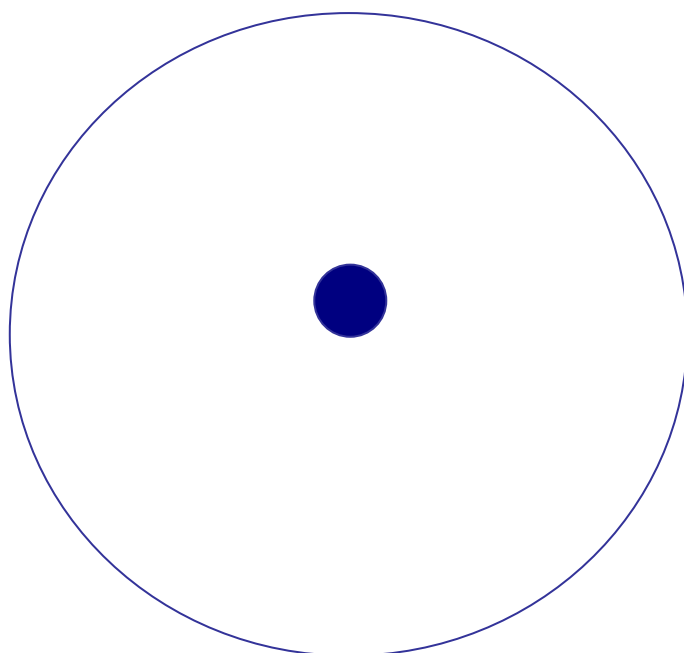
<p>Vivez-vous ?</p> <p>En couple <input type="checkbox"/> en famille <input type="checkbox"/> Seul <input type="checkbox"/></p> <p>SCORE EPICES : _ _ _ _ </p>	<p>PRISE DE MEDICAMENTS :</p> <p>Nombre de médicaments pris par jour _ _ _ _ </p> <p>Classes thérapeutiques différentes : _ _ _ _ </p> <p>Diphosphonate <input type="checkbox"/> Ranélate de strontium <input type="checkbox"/></p> <p>SUPPLEMENTATION : CA+ <input type="checkbox"/> VIT D <input type="checkbox"/></p> <p>PRISE DE PSYCHOTROPES : <input type="checkbox"/> OUI <input type="checkbox"/> NON</p> <p>(Neuroleptiques ou somnifères ou antidépresseurs ou anxiolytiques)</p>	<p>Gauche : _ _ </p> <p>Utilisation aide à la marche : _ _ </p> <p>Si oui, type d'aide : _ _ </p> <p>N°1 N°2 N°3</p> <p>Grip Hand : _ _ _ _ _ _ </p>	
QUESTIONNAIRE CHUTE			
<p>➤ Avez-vous peur de chuter ?</p> <p>➤ Etes-vous déjà tombé(e), c'est-à-dire vous êtes-vous déjà retrouvé(e) au sol involontairement ?</p> <p>➤ Si réponse OUI :</p>	<p>OUI NON</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>Signes de gravité de la chute :</p> <p>- fracture</p> <p>- traumatisme crânien</p>	<p>OUI NON</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

<p>➤ Il y a combien de temps ?</p> <p>• Où ?</p> <p>- à l'intérieur du domicile</p> <p>- à l'extérieur du domicile</p> <p>• Avez-vous fait un malaise ?</p> <p>• Comment ? - en marchant</p> <p>- en se levant</p> <p>- autres : escabeau</p> <p>vélo</p> <p>sport</p>	<p><input type="checkbox"/> < 1 mois</p> <p><input type="checkbox"/> 1 – 3 mois</p> <p><input type="checkbox"/> 3 – 6 mois</p> <p><input type="checkbox"/> 6 – 12 mois</p> <p><input type="checkbox"/> > 1 an</p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>	<p>- plaie cutanée importante (points)</p> <p>- impossibilité de se relever</p> <p>- hospitalisation</p> <p>Des mesures préventives ont-elles été instaurées pour éviter une nouvelle chute ?</p> <p>Lesquelles ?</p> <p>.....</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>
		MINI GDS	OUI NON
		<p>- Vous sentez-vous souvent découragé(e) et triste ?</p>	<p><input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/></p>

<ul style="list-style-type: none"> Combien de fois êtes-vous tombé(e) dans les 12 derniers mois ? 	<input type="checkbox"/> 1 fois <input type="checkbox"/> 2 fois <input type="checkbox"/> ≥ 3 fois	<p>- Avez-vous le sentiment que votre vie est vide ?</p> <p>- Etes-vous heureux(se) (bien) la plupart du temps ?</p> <p>- Avez-vous l'impression que votre situation est désespérée ?</p>	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
ANALYSE SPATIO-TEMPORELLE MARCHÉ		ANALYSE POSTURE	
<p>Fait : <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/> Oui</p> <p>Variabilité Marche Normale : _ _ _ _ _ _ Vitesse Marche Normale : _ _ _ _ _ _ </p>		<p>Fait : <input type="checkbox"/> Simple tâche yeux ouverts <input type="checkbox"/> Simple tâche yeux fermés</p> <p>Surface yeux Ouverts : _ _ _ _ _ Surface yeux fermés : _ _ _ _ _ </p> <p>Coefficient de ROMBERG (Surface yeux Ouverts/Fermés) : _ _ _ _ _ </p>	

Test de l'horloge simplifiée:

	Correct	Incorrect
▪ Indication des heures sur le cadran horloge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
▪ Placement des aiguilles à 11h10	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



2. Guide de passation de la batterie des tests :

- Score EPICES :

Le score EPICES (Evaluation de la Précarité et des Inégalités de santé dans les Centres d'Examens de Santé) est un indicateur individuel de précarité qui prend en compte le caractère multidimensionnelle de la précarité. Il est basé sur un questionnaire de 11 questions qui prend en compte plusieurs dimensions de la précarité : emploi, revenus, niveau d'étude, catégorie socio-professionnelle, logement, composition familiale, liens sociaux, difficultés financières, événements de vie, santé perçue. La réponse à chaque question est affectée d'un coefficient, la somme des 11 réponses donne le score EPICES. Le score est continu, il varie de 0 (absence de précarité) à 100 (maximum de précarité). Le seuil de 30 est considéré comme le seuil de précarité selon EPICES.

- Test des trois mots :

Il faut que le sujet répète et retienne trois mots **clé, ballon, citron**. Cette étape se décompose en plusieurs phases qui sont les suivantes :

« Je vais vous citer trois mots vous allez répéter après moi et que vous allez retenir car je vous la redemanderais dans moins de cinq minutes »

« Avez-vous compris ce que je vous ai dit ? »

Si réponse OUI continuer, si réponse NON répéter la consigne ci-dessus

*« Les trois mots à répéter et retenir sont **clé, ballon, citron***

« Allez-y répéter ces trois mots » (le sujet doit répète les mots)

Lorsque que le sujet a répété ces mots, il faut une nouvelle fois lui répéter la consigne suivante : *« Maintenant retenez bien ces trois mots »*.

- Evaluation de l'acuité visuelle de loin avec l'échelle de Monnoyer :

Il faut :

- Des conditions d'éclairage optimales
- Placer le sujet à une distance de 5 mètres
- Faire séparément l'œil droit et gauche
- Le score noté correspond à la ligne de lettres lue par la personne testée. Une ligne est correcte si la personne fait moins de 2 erreurs.

- Timed Up and Go test:

Le Timed Up and Go est un test qui évalue globalement la mobilité de base de la personne âgée. Ce test a été mis au point initialement par Mathias et collaborateurs en 1986. La version actuelle a été développée par Podsiadlo et collaborateurs et mesure uniquement le temps (exprimé en secondes) mis pour réaliser le test.

Le Timed « Up and Go » test consiste à se lever d'une chaise à accoudoirs, marcher 3 mètres, faire demi-tour et revenir s'asseoir. Les conditions de réalisation du test sont les suivantes :

- Demander au sujet de se lever d'un fauteuil, de marcher 3 mètres (marquage au sol ou plot), de faire demi tour, de revenir et s'asseoir.
- Préciser que le sujet doit exécuter cette épreuve à une vitesse de déplacement la plus naturelle possible.
- Les 2 principales conditions de réalisation du test sont : Le sujet utilise ses chaussures habituelles et la pièce où le test est réalisé doit être bien éclairé, sans bruit ni stimulation extérieures (autres personnes que l'examineur....).
- La réalisation du test se décompose toujours en deux étapes : 1) explication du test au sujet, 2) puis chronométrage du test.

- Timed Up and Go test imaginé:

Explication du déroulement de la seconde partie du test au sujet :

- Très bien ! restez assis sur la chaise (le dos doit être droit et toucher le dossier de la chaise)
- Maintenant nous allons passer à la deuxième partie du test
- Je souhaiterais étudier la manière dont vous pensez vous déplacer
- Pour cela, je vais vous demander de vous imaginer en train de faire le parcours que vous venez de faire. C'est-à-dire que vous allez imaginer que vous vous levez de la chaise, que vous marchez à votre vitesse naturelle vers la marque au sol, puis que vous faites demi-tour et que vous revenez vous asseoir sur la chaise
- Lorsque vous vous imaginerez en train de faire ce parcours vous pouvez garder les yeux ouverts ou fermés
- Afin que je puisse chronométrer votre temps, comme tout à l'heure, vous allez commencer à mon signal qui est toujours le mot « partez », mais cette fois-ci vous n'allez pas bouger de la chaise car vous allez vous imaginer en train de bouger
- Lorsque vous pensez que vous êtes revenu vous asseoir sur la chaise, vous me direz « stop » pour que je puisse arrêter mon chronomètre
- Avez-vous bien compris ?
- Avez-vous des questions ? (répondre aux questions, si nécessaire répéter la démonstration entièrement ou partiellement)
- Très bien. Installez-vous bien sur la chaise
- Etes-vous prêt ?

- Partez !

- Test du diapason :

Les conditions sont les suivantes :

- Le sujet est assis sur une chaise
- L'examineur est en face du sujet
- Le diapason est placé sur la malléole externe de la cheville droite après l'avoir fait vibrer en la frappant dans la paume de sa main.
- Le score se note de la façon suivante : la diminution des vibrations fait apparaître par un effet d'optique un triangle dont la pointe s'allonge progressivement. Lorsque que le sujet dit ne plus ressentir de vibration le niveau de la pointe fixe sur l'échelle gradué le score. Il est important de bien signaler au sujet que les vibrations vont diminuer et qu'il doit signaler le moment ou il ne sent plus ces vibrations. Par sécurité, il faut constamment (toutes les 10 secondes) demander au sujet s'il sent toujours les vibrations. Afin d'avoir un rétro contrôle des vibrations la personne qui fait le test doit placer la pulpe de son index sur la malléole interne de la cheville testée. Ce rétro contrôle permet de vérifier que le diapason est bien placé et provoque des vibrations sur la cheville.

- Pour l'utilisation d'une aide à la marche les codes sont les suivants :

Code 1 = canne ordinaire

Codes 2 = canne anglaise

Code 3 = canne tripode

Codes 4 = tricycle

Codes 5 = cadre de marche

Code 6 = autre

- Grip hand qui teste la force de préhension de la main :

Il faut :

- Que le sujet soit assis sur une chaise
- Expliquer au sujet que l'appareil permet de mesurer sa force
- Donner au sujet la consigne suivante : « je vous demande de serrer le plus fort possible et le plus rapidement la main ».
- Faire le test avec la main dominante
- Répéter le test 3 fois
- Pour chaque mesure enregistrer la cotation donnée par l'appareil

- Test de l'horloge simplifié :

Le sujet doit dans un premier temps indiquer les heures sur le cadran dessiné sur la feuille : « pouvez-vous, s'il vous plaît, placer les heures sur ce cadran d'horloge ? ». Une bonne réponse correspond au placement correcte des chiffres 12, 3, 6 et 9, et la présence de tous les autres chiffres (1, 2, 4, 5, 7, 8, 10, 11). Puis dans un deuxième temps de sujet doit indiquer l'heure 11h10 : « « pouvez-vous, s'il vous plaît, placer les aiguilles pour indiquer 11h10 ? » Une réponse correcte est un bon placement des aiguilles, quel que soit leur taille (la petite et la grande aiguille pouvant être inversées).

- Evaluation de l'état thymique par la mini GDS (Geriatric Depression Scale) :

Il faut poser les questions au patient en lui précisant que, pour répondre, il doit se resituer dans le temps qui précède, au mieux une semaine, et non pas dans la vie passée ou dans l'instant présent.

Cotation : oui=1, non=0. Si le score est supérieur ou égal à 1 : forte probabilité de dépression.

Si le score est égal à 0 : forte probabilité d'absence de dépression.

- Evaluation des antécédents de chutes par le questionnaire chute :

Le questionnaire de chute détecte le nombre, le délai et le lieu des chutes (à l'intérieur ou à l'extérieur du domicile du sujet), ainsi que les causes et conséquences des chutes évoqués et des traumatismes physiques.

- Analyse spatio-temporelle de la marche :

L'analyse spatio-temporelle de la marche permet de mesurer les différents paramètres de la marche: la longueur du pas, la largeur du pas, le temps d'appui bipodal, le temps d'appui unipodal, le temps du cycle de la marche ainsi que la vitesse de la marche.

- Analyse de la posture :

L'analyse de la posture est effectuée avec une plateforme de stabilométrie.

Il faut :

- Que le sujet enlève ses chaussures et monte sur la plateforme, talons joints, les pieds légèrement écarté d'un angle de 30°.
- Les enregistrements s'effectuent en 2 conditions :1) yeux ouverts ; 2) yeux fermés.
- Durant les enregistrements yeux ouverts, le sujet doit fixer le regard sur un point à une distance de 3 mètres environ.

Le coefficient de Romberg = surface yeux ouverts/surface yeux fermés.

Thèse de Doctorat

Farah EL MIR EL AYOUBI

Peur de chuter, contrôle supraspinal de la marche et personne âgée : quelle relation ?

Fear of falling, supraspinal gait control and older people: is there an association?

Résumé

Les modifications de la marche liées à la peur de chuter sont généralement classées comme des troubles du contrôle de la marche supraspinaux, dits « de haut niveau » car rapportées à une déficience dans le contrôle cortical de la marche. Il est maintenant bien établi que l'étude de la variation des caractéristiques du pas, et notamment celles du temps du pas, est un moyen d'appréhender la désorganisation du caractère automatique de la marche. En effet, la variabilité du temps du cycle de marche qui semble être un marqueur du contrôle cortical de la marche est inversement liée à la stabilité de la marche.

Très peu d'études se sont intéressées à l'association entre la variabilité du temps du cycle de marche et la peur de chuter chez la personne âgée. Ces études ont montré des résultats divergents principalement en raison de la non-prise en compte de potentiels facteurs de confusion.

Le travail de thèse que nous présentons a pour objectif principal d'étudier l'association entre la variabilité de la marche et la peur de chuter chez des personnes âgées en tenant compte des potentiels facteurs pouvant influencer la relation entre ces deux variables, afin d'appréhender la relation de causalité qui peut les unir.

Nos résultats montrent que la peur de chuter est associée significativement à une augmentation de la variabilité de la marche. En effet, la combinaison peur de chuter et antécédent de chutes augmente la variabilité du temps du cycle de marche. Cependant, l'effet de cette combinaison dépend du niveau de la vitesse de la marche.

Mots clés

Peur de chuter, chute, variabilité de la marche, personnes âgées

Abstract

Changes in gait performance related to fear of falling (FOF) are usually classified as supraspinal gait control disorders called "higher-level gait disorders" due to impairment in cortical gait control. It is now well established that the study of the variability in stride characteristics and in particular the variability of stride time, provide information on the impairment of the automatic character of gait. In fact, gait variability, which is a biomarker of higher-level gait disorders, is inversely related to gait stability.

A limited number of studies have examined the association between FOF and higher stride time variability (STV), and have showed mixed results mainly due to the non-consideration of potential factors that may influence the relationship between STV and FOF.

Thus, the main objective of this thesis was to examine the association between STV and FOF in elder people taking into account the potential factors influencing the relationship between these two variables.

Our results show that FOF is significantly associated with an increase in STV. Indeed, the combination of FOF and history of previous falls increases STV. The adverse gait effect of this combination depends on the level of the walking speed.

Key Words

Fear of falling, falls, stride time variability, older people