



Comparaison du contrôle postural et du patron de marche chez des hommes et des femmes âgés,
fragiles et non-fragiles, atteints de la maladie de Parkinson

par Mathieu Dallaire

Mémoire présenté à l'Université du Québec à Chicoutimi en vue de l'obtention du grade de M. Sc.
en sciences cliniques et biomédicales

Québec, Canada

© Mathieu Dallaire, 2023

RÉSUMÉ

Introduction. La maladie de Parkinson est une maladie neurodégénérative affectant 1 % de la population âgée de 65 ans et plus. En plus d'altérer le processus normal du vieillissement, soit les changements biologiques, fonctionnels et morphologiques normaux, cette dysfonction du système dopaminergique, secondaire à la détérioration de la substance noire, entraîne l'apparition de déficiences pouvant varier d'un individu à l'autre. Comme la maladie de Parkinson provoque des déficiences motrices et non motrices affectant l'apprentissage, la planification et la performance du mouvement, le contrôle postural et la marche se voient détériorés. Une autre condition clinique associée est la fragilité, qui peut entraîner une augmentation de la vulnérabilité de l'individu et donc, réduire les capacités fonctionnelles/physiques et augmenter davantage les risques de chutes. Toutefois, aucune étude, jusqu'à présent, n'a démontré la présence d'une différence significative sur l'équilibre et sur la marche entre les individus fragiles atteints de la maladie de Parkinson et ceux non-fragiles.

Objectif. Le but de cette étude a ainsi été de comparer le contrôle postural et la marche chez les personnes âgées atteintes de la maladie de Parkinson en fonction du niveau de fragilité et, de façon secondaire, déterminer si le sexe peut influencer les principales mesures de l'étude.

Méthodologie. 27 participants ($n = 18$ hommes) dont 10 individus sont fragiles. Les participants ont effectué 4 tâches d'équilibre postural sur la plateforme de force (2 x 30 secondes chaque, avec un temps de repos entre elles) pour obtenir cinq paramètres du centre de pression : 1) position bipodale avec les yeux ouverts (YO), 2) bipodale avec les yeux fermés (YF), 3) semi-tandem YO, et 4) semi-tandem YF. Les participants devaient également effectuer un test de marche sur 14 pieds à vitesse habituelle ou habituelle et à vitesse rapide (2 x chaque), sur le tapis de marche GAITRite afin de calculer dix paramètres spatiotemporels de la marche. La moyenne des mesures a été utilisée pour les analyses statistiques. Les tests de Shapiro-Wilk et de Levene ont été réalisés pour l'évaluation de la distribution normale et de l'homogénéité des variables, puis une analyse de variance multivariée (MANOVA) à deux facteurs a été effectuée.

Résultats. Des différences significatives ont été observées entre les participants fragiles (réduction de l'équilibre) versus ceux non-fragiles pour le contrôle postural, spécifiquement pour l'aire ellipse d'oscillation du centre de pression ($p = 0.013$, $d = 0.47$), la vitesse d'oscillation ($p = 0.048$, $d = 0.41$) et la fréquence d'oscillations ($p = 0.042$, $d = 0.52$). Aucune différence significative n'a été répertoriée entre les sexes pour les paramètres du contrôle postural. Pour ceux de la marche, aucune différence significative n'a été démontrée entre les participants fragiles et non-fragiles. Toutefois, des différences significatives ont été observées entre les hommes et les femmes pour la longueur du pas ($p = 0.002$, $d = 0.71$), la largeur du pas ($p = 0.001$, $d = 0.75$) et la base de support ($p = 0.012$, $d = 0.64$).

Conclusion. Cette étude a démontré que la fragilité impacte négativement le contrôle postural des aînés avec Parkinson, mais non le patron de marche. Les hommes et les femmes auraient, toutefois, un contrôle postural comparable, alors qu'une différence est dénotée entre les deux sexes pour les paramètres de la marche étant que les hommes présentent des valeurs plus élevées que les femmes (longueur et largeur du pas et base de support). Ces résultats ont des implications pour la prise en charge et les décisions cliniques en réadaptation lors de l'évaluation du contrôle postural et de la marche chez les individus avec la maladie de Parkinson.

Mots-clés : Fragilité, équilibre, marche, maladie de Parkinson, vieillissement, sexe

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES	vii
REMERCIEMENTS	viii
AVANT-PROPOS	ix
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1	6
ÉTAT DES CONNAISSANCES	6
1.1 LE VIEILLISSEMENT	6
1.1.1 AU CANADA	7
1.1.2 AU QUÉBEC ET AU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN	9
1.2 LA MALADIE DE PARKINSON.....	10
1.2.1 DÉFINITION.....	10
1.2.2 L'ÉTIOLOGIE ET LA PHYSIOPATHOLOGIE.....	11
1.2.3 LES CRITÈRES DIAGNOSTIQUES ET LA CLASSIFICATION.....	13
1.2.4 LES DÉFICIENCES PHYSIQUES ET LIMITATIONS FONCTIONNELLES.....	14
1.2.5 LES TROUBLES D'ÉQUILIBRE ET DE MARCHE AVEC LE PARKINSON.....	15
1.2.6 LES MODALITÉS THÉRAPEUTIQUES	16
1.3 LE SYNDROME DE FRAGILITÉ	19
1.3.1 LES CRITÈRES DE FRIED	21
1.4 LE CONTRÔLE POSTURAL	22
1.4.1 DÉFINITION.....	22
1.4.2 MÉTHODES D'ÉVALUATION	23
1.4.3 PLATEFORME DE FORCE	23
1.5 LA MARCHÉ	25
1.5.1 DÉFINITION.....	25
1.5.2 MÉTHODES D'ÉVALUATION	26
1.5.3 LE SYSTÈME DE MARCHÉ GAITRITE	27
1.6 PERSPECTIVES	29
CHAPITRE 2	30
OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE	30
2.1 OBJECTIF PRINCIPAL.....	30
2.1.1 HYPOTHÈSE PRINCIPALE	30

2.2 OBJECTIF SECONDAIRE	30
2.2.1 HYPOTHÈSE SECONDAIRE	30
CHAPITRE 3	32
Article scientifique pour répondre à la question de recherche, incluant la méthodologie et les résultats scientifiques	32
3.1 RÉSUMÉ	33
3.2 ABSTRACT	34
3.3 INTRODUCTION	36
3.4 METHODS	36
3.4.1 PARTICIPANTS	37
3.4.2 PROCEDURES	37
3.5 RESULTS	40
3.5.1 POSTURAL CONTROL	40
3.5.2 GAIT ASSESSMENT	41
3.6 DISCUSSION	41
3.7 CONCLUSION	45
3.8 REFERENCES	45
3.9 FIGURES	48
3.10 TABLES	49
CHAPITRE 4	56
DISCUSSION	56
4.1 IMPACT DE LA FRAGILITE SUR LE CONTROLE POSTURAL ET LA MARCHÉ	57
4.2 IMPACT DU SEXE SUR LE CONTROLE POSTURAL ET LA MARCHÉ	61
4.3 LIMITES DE L'ETUDE	63
4.4 PERSPECTIVES	64
CONCLUSION	65
BIBLIOGRAPHIE	66
CERTIFICATION ÉTHIQUE	76
ANNEXE 1 – THE IMPACT OF PARKINSON'S DISEASE ON POSTURAL CONTROL IN OLDER PEOPLE AND HOW SEX CAN MEDIATE THESE RESULTS: A SYSTEMATIC REVIEW	77
ANNEXE 2 – QUESTIONNAIRES	92
ANNEXE 3 – PROTOCOLES D'ÉVALUATION	98
ANNEXE 4 – FORMULAIRE DE CONSENTEMENT	105

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 2 : CLASSIFICATION D'INCAPACITE DE HOEHN & YAHR	13
TABLEAU 1 : DEFICIENCES DE LA MALADIE DE PARKINSON	14
TABLEAU 3 : CRITERES DE FRAGILITE DE FRIED	21
TABLEAU 4. CHARACTERISTICS OF THE PARTICIPANTS AND MEASUREMENTS (MEANS \pm STANDARD DEVIATIONS).....	49
TABLEAU 5. FORCE PLATFORM PARAMETERS OF PARKINSON'S DISEASE PARTICIPANTS ACCORDING TO FRAILTY STATUS (MEANS \pm STANDARD DEVIATIONS)	50
TABLEAU 6. FORCE PLATFORM PARAMETERS OF PARKINSON'S DISEASE PARTICIPANTS ACCORDING TO SEX (MEANS \pm STANDARD DEVIATIONS)	51
TABLEAU 7. GAITRITE PARAMETERS OF PARKINSON'S DISEASE PARTICIPANTS ACCORDING TO FRAILTY STATUS (MEANS \pm STANDARD DEVIATIONS)	52
TABLEAU 8. GAITRITE PARAMETERS OF PARKINSON'S DISEASE PARTICIPANTS ACCORDING TO SEX (MEANS \pm STANDARD DEVIATIONS)	54

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : PYRAMIDE DES AGES DES ESTIMATIONS DE LA POPULATION AU 1 ^{ER} JUILLET, 2000 ET 2020, CANADA	8
FIGURE 2 : PROPORTION DE LA POPULATION AGEE DE 0 A 14 ANS, DE 15 A 64 ANS ET DE 65 ANS ET PLUS, 2000 A 2040, CANADA.....	8
FIGURE 3 : PYRAMIDE DES AGES ANIMEE, QUEBEC, 1971-2066.....	9
FIGURE 4 : STRUCTURES PRINCIPALES DES GANGLIONS DE LA BASE	12
FIGURE 5 : SCHEMATISATION DE L'ALTERATION DU SYSTEME DOPAMINERGIQUE DANS LE SYSTEME NERVEUX CENTRAL.....	12
FIGURE 6 : CYCLE DE LA FRAGILITE HYPOTHETISEE EN ASSOCIATION AVEC LES SIGNES CLINIQUES ET LES SYMPTOMES DE LA FRAGILITE	20
FIGURE 7 : ÉVALUATION DU CONTROLE POSTURAL ET STANDARDISATION DU POSITIONNEMENT DES PIEDS SUR LA PLATEFORME DE FORCE.....	24
FIGURE 8 : REPRESENTATION D'UN CYCLE DE LA MARCHE.....	26
FIGURE 9 : ÉVALUATION DES PARAMETRES DE LA MARCHE SUR LE GAITRITE	28
FIGURE 10. ILLUSTRATION OF PROTOCOL UNDER FORCE PLATFORM. TWO-FOOT POSITIONS WERE USED ACROSS FOUR EXPERIMENTAL CONDITIONS: BIPODAL (LEFT IN THE PICTURE) AND SEMI-TANDEM (RIGHT IN THE PICTURE) USING STANDARDIZED MEASUREMENT TO ASSURE FOOT POSITION IN EACH TRIAL.	48
FIGURE 11. ILLUSTRATION OF PROTOCOL ON GAITRITE® SYSTEM WALKWAY.	48

LISTE DES ABRÉVIATIONS, SIGLES ET ACRONYMES

A-COP:	<i>95% confidence ellipse area of center of pressure</i>
AP:	<i>Anteroposterior</i>
BBS:	<i>Berg Balance Scale</i>
BMI:	<i>Bodymass Index</i>
BOS:	<i>Base of support</i>
BP:	<i>Bipodal</i>
BPOE:	<i>Bipodal with opened eyes</i>
BPCE:	<i>Bipodal with closed eyes</i>
COP:	<i>Center of Pressure</i>
CE:	<i>Closed eyes</i>
DLS:	<i>Double limb support</i>
EEB :	<i>Échelle d'équilibre de BERG</i>
H&Y Stage :	<i>Hoehn & Yahr Stage</i>
IMC :	<i>Indice de masse corporelle</i>
MF :	<i>Mean frequency</i>
M-FES :	<i>Modified Falls Efficacy Scale</i>
ML :	<i>Mediolateral</i>
MMSE :	<i>Mini-Mental State Examination</i>
OE :	<i>Opened eyes</i>
OMS :	<i>Organisation Mondiale de la Santé</i>
SD :	<i>Standard deviation</i>
SLS :	<i>Single limb support</i>
SLSJ :	<i>Saguenay Lac-Saint-Jean</i>
SNC :	<i>Système nerveux central</i>
ST:	<i>Semi tandem</i>
STCE:	<i>Semi tandem with closed eyes</i>
STOE:	<i>Semi tandem with opened eyes</i>
TNMS:	<i>Trouble neuro-musculosquelettique</i>
TUG:	<i>Time-Up-and-Go</i>
VEL :	<i>Velocity</i>
YF :	<i>Yeux fermés</i>
YO :	<i>Yeux ouverts</i>
2MWT :	<i>2 minutes de marche</i>
6MWT :	<i>6 minutes de marche</i>
10mWT:	<i>10 meters Walk Test</i>

REMERCIEMENTS

« There is no magic to achievement. It's really about hard work, choices, and persistence. » –
Michelle Obama

À mon sens, le terme le plus important de cette citation est : « la persistance ». Je ne saurais nier que pour accomplir et mener à terme un tel projet dans les dernières années, il aura fallu faire preuve de persistance et ce présent travail accompli en est la preuve tangible. Ce mémoire, récit de recherche, réfère également à cette période de ma vie où j'ai débuté ma carrière en tant que physiothérapeute. Ce projet m'a accompagné dans ces diverses étapes et milieux cliniques où j'ai pu exercer la physiothérapie et a, sans aucun doute, participé à forger l'homme que je suis aujourd'hui en rédigeant ces lignes. C'est ainsi qu'avec tout le chemin des dernières années, c'est avec une grande fierté que je dépose ce mémoire. Toutefois, n'étant pas seulement le résultat accompli de mes efforts, cette route m'a offert l'opportunité de rencontrer des gens formidables et travaillants.

Un homme de valeur que je souhaite tout particulièrement remercier, un homme sans qui ma route aurait été bien plus difficile et parsemée d'embûche, Pr Rubens A. da Silva, mon directeur de recherche, je tiens à te remercier mille fois d'avoir cru en moi et en mes compétences. Je te suis reconnaissant de m'avoir partagé ton expérience, tes connaissances et surtout ton dévouement. Tu as su rendre mon parcours à la fois agréable et enrichissant. De plus, je m'autorise à utiliser le « tu » à ce passage, car, en toi, j'ai également trouvé un ami.

J'en profite également pour remercier ma codirectrice, Pr^e Suzy Ngomo, qui a su me partager son intérêt et sa passion pour la recherche dès mes premières années d'études universitaires. Je suis extrêmement reconnaissant de tes enseignements ainsi que du partage de tes connaissances au fil de ces années. Plus particulièrement, je te remercie pour la confiance que tu m'as accordée et ton soutien durant toutes ces années d'études. Tu es un exemple de leadership et de travail acharné.

Je ne peux passer sous silence les remerciements que je dois à ma famille pour leur support. Mon père, Bernard, ma mère, Renée, et mon conjoint, Kéven, vous avez toujours été présents pour moi, bons et moins bons moments. Vous avez le mot juste à chaque fois pour m'encourager à poursuivre et atteindre mes objectifs, et ce, malgré les épreuves de la vie. Je remercie également tous ceux et celles qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de mon projet de recherche, notamment mes collègues, Émilie Fortin et Alexandra Houde-Thibeault, les professionnels référents ainsi que les participants et les organismes subventionnaires. J'espère que votre expérience a été enrichissante et vous influencera positivement à contribuer à la recherche à nouveau.

Merci à vous tous pour votre présence et votre soutien !

AVANT-PROPOS

Ce mémoire traite des différences entre les individus âgés fragiles atteints de la maladie de Parkinson en comparaison avec ceux non-fragiles au niveau du contrôle postural, soit l'équilibre, ainsi qu'au niveau de la marche, soit les paramètres de la marche. Le chapitre 1 réfère à l'état des connaissances actuelles de la littérature en plus de définir les concepts importants de ce mémoire : le vieillissement, la fragilité, la maladie de Parkinson, le contrôle postural et la marche. Le chapitre 2 aborde les objectifs et hypothèses de la recherche effectuée. Le chapitre 3 est formé de l'article « Impact of frailty and sex-related differences on postural control and gait parameters in older with Parkinson disease ». Finalement, le chapitre 4 fait office de discussion des différents résultats obtenus.

L'article intégré dans ce mémoire est en phase initiale de révision pour publication dans le périodique « Physiotherapy Journal » - Manuscript PHYST-S-23-00251. Je suis l'auteur principal de cet article et la mise en page originale de celui-ci a été adaptée afin de répondre aux exigences de la mise en page du présent document.

Contribution des auteurs

Projet de recherche

- Conception : Mathieu Dallaire, Rubens A. da Silva
- Planification, organisation et exécution du projet : Mathieu Dallaire, Émilie Fortin, Alexandra Houde-Thibeault, Anais Wotto
- Recrutement des participantes : Mathieu Dallaire, Émilie Fortin, Alexandre Houde-Thibeault
- Analyse des données : Mathieu Dallaire, Émilie Fortin, Alexandra Houde-Thibeault, Rubens A. da Silva

Article

- Revue de littérature : Mathieu Dallaire
- Analyses statistiques : Mathieu Dallaire, Rubens A. da Silva
- Conception des tableaux, figures et graphiques et traitement des données : Mathieu Dallaire
- Écriture de la version soumise : Mathieu Dallaire, Rubens A. da Silva, Suzy Ngomo
- Révision critique de la version soumise : Rubens A. da Silva, Suzy Ngomo

INTRODUCTION

Le vieillissement est un processus dynamique et naturel, entraînant graduellement des changements biologiques et corporels. Ces changements sont conditionnés par le temps et caractérisés par une augmentation de la difficulté à résister au stress physiologique, et donc, à maintenir l'homéostasie (Arcand & Hébert, 2007). La vulnérabilité de l'individu y est donc augmentée (Arcand & Hébert, 2007). Au Québec, comme au Canada, le vieillissement de la population est un phénomène d'actualité et en constante progression. En effet, en 2011 au Québec, une personne sur six était âgée de 65 ans et plus et, d'ici 2031, ce sera une personne sur quatre alors que ce sera une personne sur trois d'ici 2061 (Ministère de la Famille, 2018).

Alors que l'espérance de vie augmente, l'incidence des maladies chroniques, dégénératives ainsi que la présence de troubles neuro-musculosquelettiques continue de croître dans la population en générale. Entre 25 et 29 ans, c'est environ 17% de la population qui présente au moins une maladie chronique alors que cette proportion grimpe à 90% chez les individus âgés de 85 ans et plus (Institut National de Santé Publique du Québec, 2019). L'une de ces maladies présente chez les personnes âgées est la maladie de Parkinson, soit celle qui sera étudiée dans le présent mémoire de maîtrise. La maladie de Parkinson est définie comme une maladie neurodégénérative entraînant une dysfonction des systèmes dopaminergiques dans le système nerveux central (Arcand & Hébert, 2007; Pringsheim et al., 2014). La prévalence de la maladie augmente avec le vieillissement, ainsi il devient très pertinent de s'en préoccuper dans la population. Chez les individus âgés de 50 à 59 ans, elle a une prévalence mondiale de 134 sur 100 000 (0,13%) hommes et de 41 sur 100 000 (0,04%) femmes (Pringsheim et al., 2014). Cette prévalence grimpe jusqu'à 2 101 sur 100 000 (2,10%) hommes âgés de 80 ans et plus et à 1 517 sur 100 000 (1,52%) femmes du même âge (Pringsheim et al., 2014). Au Canada, la prévalence est de 1 à 2 % et, au Québec, c'est plus de 23 000 individus qui vivent avec la maladie de Parkinson (Parkinson Canada, 2022b; Wong et al., 2014).

La maladie de Parkinson entraîne des déficiences physiques et limitations fonctionnelles. Ces déficiences et limitations sont secondaires à la dysfonction des systèmes dopaminergiques et associées principalement à trois signes cardinaux, soit la rigidité, les tremblements et la bradykinésie (O'Sullivan et al., 2014). Cette maladie se répercute également par une détérioration de l'équilibre postural et de la mobilité, en plus, d'augmenter le risque de chutes chez les aînés (Lewis, 1996; Santos et al., 2017).

Puisque cette maladie atteint majoritairement les personnes âgées, un autre concept important à considérer en parallèle à la maladie neurodégénérative, comme le Parkinson, est le syndrome de fragilité. Selon Fried et al. (2001), la fragilité se caractérise par une détérioration de l'homéostasie et de la capacité de résistance aux stressors endogènes et exogènes (Cesari et al., 2017; Fried et al., 2001). Dans le cas d'un individu vieillissant, la fragilité ajoute à la vulnérabilité globale associée au vieillissement, car ces individus présentent une altération ou diminution progressive de leurs capacités via l'atteinte de systèmes, par exemple, l'atteinte neuromusculosquelettique. Ajoutons qu'une détérioration du système neuromusculosquelettique peut entraîner une diminution de la force musculaire, de l'équilibre et de la mobilité de l'individu (Fried et al., 2001; Saxon et al., 2021).

Chacun des éléments abordés ci-haut (vieillesse, maladie de Parkinson et fragilité) a été démontré comme ayant individuellement un impact négatif sur le contrôle postural et la marche (Beijer et al., 2013; Chen & Chou, 2022; de Almeida et al., 2016; Franchignoni et al., 2005; Freire Junior et al., 2016; Rockwood et al., 2008). Les travaux antérieurs se sont principalement concentrés sur ces thématiques de façon séparée. Tout d'abord, les évidences associées à la maladie de Parkinson ont montré que la maladie entraîne une détérioration de l'équilibre postural (Harro et al., 2018; Rossi et al., 2009). L'origine de la détérioration de l'équilibre postural peut provenir de diverses sources, incluant une altération des réflexes posturaux, une diminution du contrôle volontaire du mouvement ainsi que d'autres

facteurs comme la faiblesse musculaire (Bloem, 1992). L'étude de Harro et al. (2018) a démontré une détérioration significative du contrôle postural via le *sensory organization test* évalué sur une plateforme de force. Cette étude a démontré que les individus atteints de la maladie de Parkinson présentent une instabilité posturale significativement supérieure à leurs homologues sains. Les participants parkinsoniens présentaient également une réduction significative de la vitesse du déplacement du centre de gravité lorsqu'évalué par le *limits of stability test* comparativement au groupe contrôle (Harro et al., 2018). D'autres études, comme celle de Roiz et al. (2010), se sont concentrés sur l'analyse de la marche et la comparaison entre le groupe d'individus atteints de la maladie de Parkinson et contrôle, où les individus atteints de la maladie Parkinson présentent une diminution significative de la vitesse du pas et de la longueur du pas. Ces éléments ont été démontré comme ayant une relation avec la gravité de la maladie ainsi qu'avec l'augmentation des risques de chute chez ces individus (Lai et al., 2022). Une revue systématique et méta-analyse de Zanardi et al. (2021) quant à elle a démontré, par l'inclusion de 72 études, que les individus atteints de la maladie de Parkinson présentent une détérioration significative de différents paramètres spatio-temporels de la marche comparativement aux individus sains. Ils présentent notamment des différences significatives au niveau de la vitesse de marche, la longueur de pas, de la cadence, du temps en double appui, du temps d'oscillation (Zanardi et al., 2021).

En ce qui concerne la fragilité, des différences significatives entre les groupes pré-fragile (ayant 1 à 2 critères de fragilité de Fried positifs) et non-fragile (sans maladie neurodégénérative) ont été rapportées sur les paramètres spatio-temporels de la marche où le groupe pré-fragile, composé de personnes âgées, présentait une réduction de la longueur de pas, de la vitesse de marche, du pourcentage du temps en appui unipodal, une augmentation de la largeur de la base de support et du pourcentage du temps en double appui (Freire Junior et al., 2016). Les études concernant la fragilité ont souvent été réalisées chez des aînés sans maladie spécifique ou certaines conditions comme le diabète (Assar et al., 2019; Freire Junior et al., 2016; Nishikawa et al., 2021). D'autres études, comme celle de

McMillan et al. (2021), se sont concentrés seulement sur la prévalence de la fragilité chez les personnes atteintes de la maladie de Parkinson ainsi que certaines associations, comme la fréquence des chutes, la démence, la fatigue, etc. Ainsi, il reste à savoir si des différences existent sur les déficits de trouble d'équilibre et de la marche chez des individus souffrant de la maladie de Parkinson, comme aucune étude n'a comparé le contrôle postural et les paramètres de la marche en fonction de la fragilité, ce qui encourage l'intérêt pour réaliser ce projet de maîtrise.

De plus, peu d'études ont comparé les mesures de contrôle postural et de la marche entre les hommes et femmes avec la maladie de Parkinson (Dallaire et al., 2021). Selon les conclusions de cette revue de littérature, les quelques évidences actuelles entre les hommes et les femmes atteints de la maladie de Parkinson concernant le contrôle postural sont imprécises. Toutefois, parmi d'autres études ayant étudié la marche, l'étude de Porta et al. (2019) a démontré que les hommes et les femmes atteints de la maladie de Parkinson, atteinte légère, présentaient des paramètres spatio-temporels similaires à la marche, excepté pour la largeur des pas, plus élevée chez l'homme.

À la lumière de la littérature, l'impact de la fragilité demeure imprécis chez les individus âgés parkinsoniens, surtout lorsque cette fragilité est associée à l'équilibre et à la marche. Dans cette perspective, le présent projet se veut le premier à intégrer, au sein d'un même protocole expérimental, l'évaluation du contrôle postural et de la marche dans une population parkinson fragile et non-fragile, incluant une comparaison aussi entre les deux sexes biologiques. Pour ce faire, un protocole robuste en biomécanique, par l'utilisation des équipements à la fine pointe de la technologie comme la plateforme de force et le système de marche GAITRite, a été appliqué pour bien répondre aux questions de recherche suivantes : 1) existe-t-il des différences entre l'équilibre postural et le patron de marche des personnes âgées atteintes de la maladie de Parkinson en fonction de leur niveau de fragilité ?

; 2) Est-ce que le sexe biologique influence les paramètres de l'équilibre postural et de la marche chez ces individus ?

Ces mesures permettront une meilleure compréhension de la problématique et de son impact en plus d'apporter une contribution visant une optimisation de la prise en charge en réadaptation gériatrique et des interventions, telles que la prescription d'exercices davantage personnalisée aux déficiences et limitations observées chez les aînés avec Parkinson, fragiles ou non-fragiles.

CHAPITRE 1

ÉTAT DES CONNAISSANCES

1.1 LE VIEILLISSEMENT

Le vieillissement est un processus naturel, dynamique impliquant une détérioration progressive au niveau du système biologique incluant le métabolisme, la neurophysiologie, la morphologie, et la biochimie, par exemple, l'altération de la structure des cristaux ou dans l'agrégation macromoléculaire, en plus d'affecter la fonction, comme la mobilité et sa capacité d'équilibre (Arcand & Hébert, 2007; Stefanacci, 2022; von Bonsdorff & Rantanen, 2011). Ces changements mènent graduellement à des modifications au corps comme la perte progressive de calcium dans les os et la diminution de la force musculaire par la réduction des unités motrices et des fibres musculaires (Saxon et al., 2021).

Le processus physiologique du vieillissement implique plus spécifiquement le processus de dégradation progressive des fonctions de la cellule, soit le processus de sénescence. La sénescence rend l'individu vieillissant davantage vulnérable aux agressions intrinsèques et extrinsèques, mène à une détérioration de son état, entraîne ensuite un état énergétique très faible avec un métabolisme de réponse très lent et peut donc engendrer comme finalité ultime, la mort (Arcand & Hébert, 2007; López-Otín et al., 2013). Ce processus de détérioration est un des facteurs de risque primaires de la majorité des pathologies chez l'humain, comme le cancer, le diabète, les maladies cardiovasculaires, etc. (López-Otín et al., 2013).

Le vieillissement à l'échelle de l'individu lui-même, comme nous venons de l'aborder, est une réalité primordiale à prendre en compte, considérant ce qui en découle sur la population globale, soit le phénomène de vieillissement démographique. Le vieillissement démographique correspond à l'augmentation de la proportion d'individus âgés de 65 ans par

l'augmentation de l'espérance de vie et plus secondaire à différents facteurs dont la diminution de la fécondité et de la mortalité des adultes (Institut national d'études démographiques, 2023). Ces éléments du processus de vieillissement de l'individu ainsi que le phénomène de vieillissement démographique témoignent de l'importance de ce présent projet de recherche intégrant comme principaux sujets, les personnes âgées de 65 ans et plus.

1.1.1 AU CANADA

En consultant les recensements de la population au Canada, le nombre d'individus âgés de 65 ans et plus était de 5 935 630, représentant 16,9 % de la population totale. Parmi ces 5 935 630 individus, 45 % étaient des hommes. Le groupe d'individus âgés de 65 ans et plus représentait, en 1982, 9,7 % de la population canadienne alors qu'il a atteint 14,9 % en 2012 (Statistique Canada, 2012). L'âge médian de la population du Canada était de 40,7 ans en 2016 alors qu'il était estimé à 41,1 ans en 2021 (Statistique Canada, 2022a). Selon les estimations faites par Statistique Canada, il est possible de constater que l'augmentation de la population de 65 ans et plus ne se limite pas à ces pourcentages tels que présentés dans la Figure 1. D'ici 2030, Statistique Canada estime que la proportion de personnes âgées de 65 ans et plus dépassera le seuil du 20 % de la population canadienne (Figure 2). Pour la période de 2017 à 2019, l'espérance de vie de l'homme s'élevait à 79,91 ans et à 84,13 ans pour la femme au Canada (Statistique Canada, 2022b).

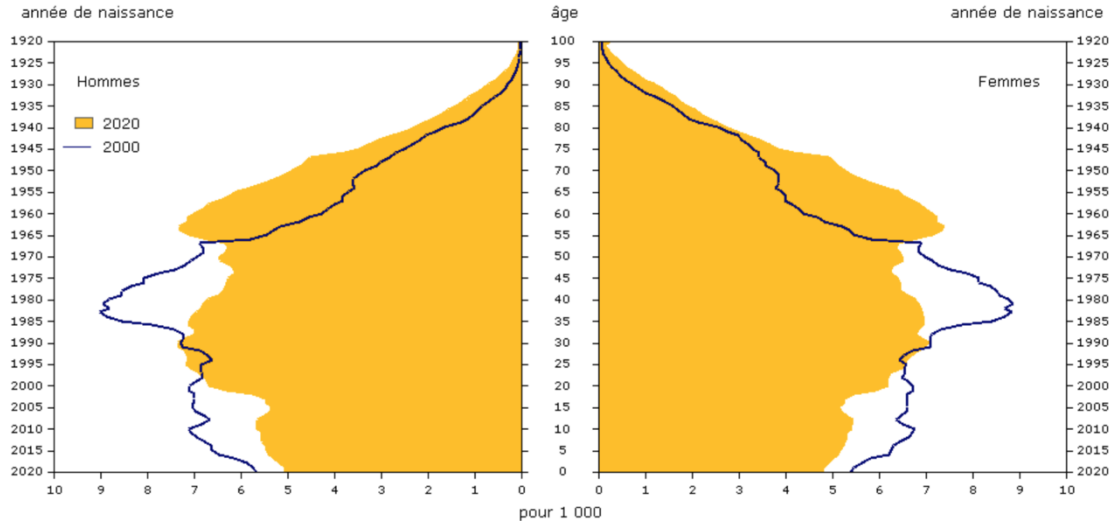
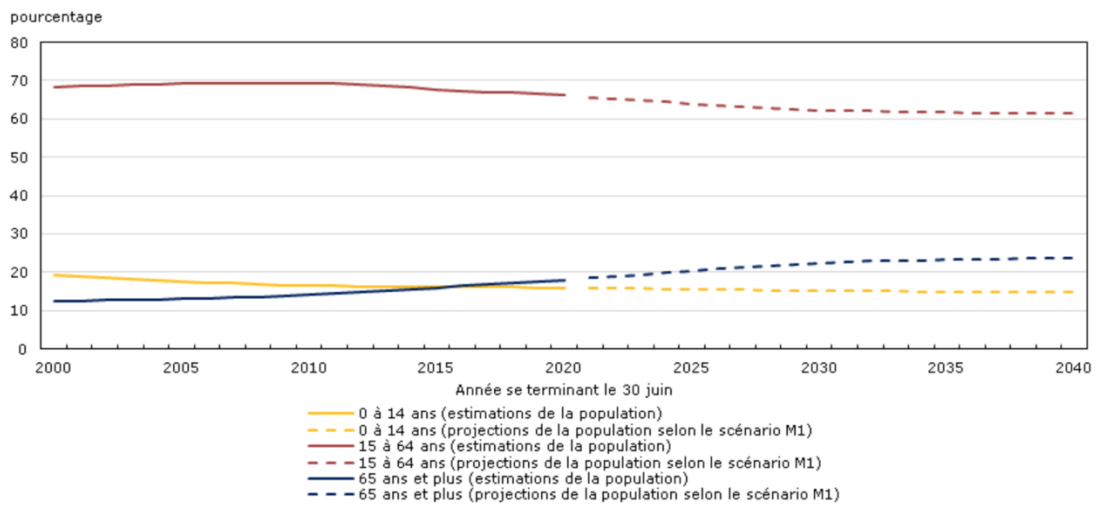


Figure 1 : Pyramide des âges des estimations de la population au 1^{er} juillet, 2000 et 2020, Canada

Tiré de Statistique Canada, Centre de démographie et repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/91-215-x/2021001/sec2-fra.htm>



Note : De 2000 à 2020, estimations démographiques. De 2021 à 2040, Population projetée, selon le scénario de projection, l'âge et le sexe au 1^{er} juillet (x1 000). Tableau n° 17-10-0057-01.

Figure 2 : Proportion de la population âgée de 0 à 14 ans, de 15 à 64 ans et de 65 ans et plus, 2000 à 2040, Canada

Tiré de Statistique Canada, Centre de démographie et repéré à <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/91-215-x/2021001/sec2-fra.htm>

1.1.2 AU QUÉBEC ET AU SAGUENAY-LAC-SAINT-JEAN

Le Québec n'échappe pas à ce phénomène de vieillissement de la population. En effet, la population québécoise âgée de 65 ans et plus comptait, en 2016, 1 495 195 individus, représentant 18,3 % de la population totale et constituée à 45% d'hommes (Statistique Canada, 2017). Les estimations de Statistiques Canada mettent de l'avant l'augmentation de l'âge médian de la population entre 2016 et 2021, ces valeurs sont respectivement 42,2 ans et 43,0 ans et appuient le vieillissement démographique de la province. La Figure 3 de Statistique Québec permet de visualiser adéquatement cette proportion grandissante du groupe d'individus âgés de 65 ans et plus d'ici 2040. En 2019, l'espérance de vie de l'homme s'élevait à 81,0 ans et à 84,7 ans pour la femme (Fleury-Payeur & Azeredo, 2021).

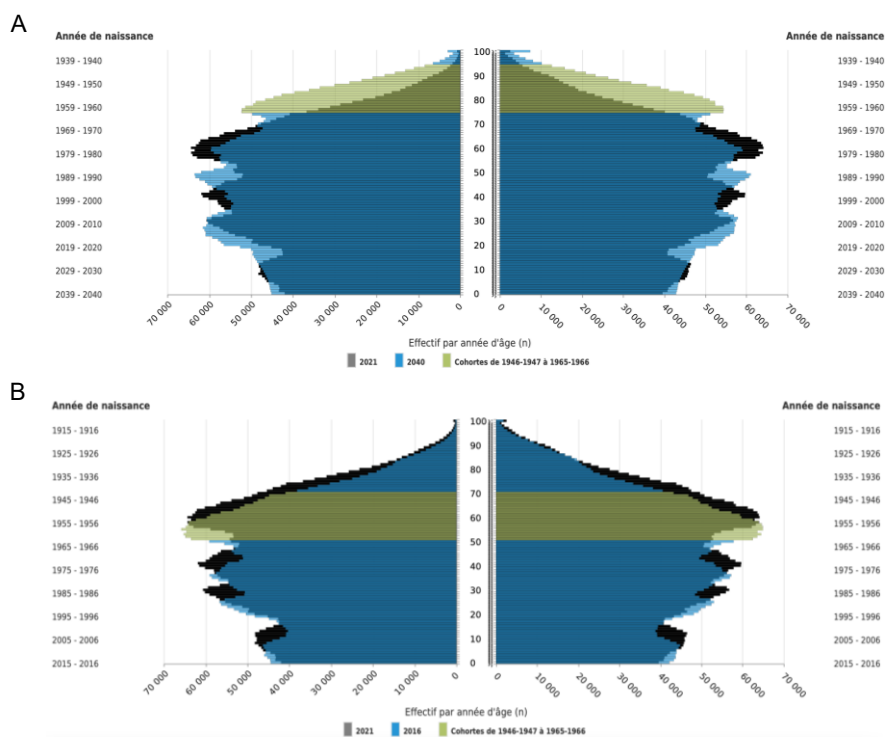


Figure 3 : Pyramide des âges animée, Québec, 1971-2066

A – Pyramide des âges comparant les années 2021 et 2040. B – Pyramide des âges comparant les années 2021 et 2016.

Tiré et adapté par l'Institut de la statistique du Québec et repéré à <https://statistique.quebec.ca/docs-ken/vitrine/vieillessement/index.html?theme=population&tab=6>

À plus petite échelle, la région du Saguenay Lac-Saint-Jean (SLSJ) n'est pas, non plus, épargnée par le phénomène de vieillissement de la population. De ce fait, la population âgée de 65 ans et plus pour cette région dénombrait, en 2016, 58 114 individus dont 46 % étaient des hommes (Institut de la statistique du Québec, 2017). La proportion d'individus âgés est passée de 21% de la population régionale du SLSJ en 2016 à 23,7% en 2020, ce qui représente bien le phénomène de vieillissement de la population (Institut de la statistique du Québec, 2017, 2021). Au-delà du vieillissement lui-même, il y aura un coût associé au vieillissement de la population étant donné la sénescence des systèmes, favorisant le développement de pathologies.

1.2 LA MALADIE DE PARKINSON

1.2.1 DÉFINITION

La maladie de Parkinson est une maladie neurodégénérative ayant une prévalence de 1 à 2% pour la population âgée de 65 ans et plus et affecte 1 à 2 individus par 1000 (Arcand & Hébert, 2007; Parkinson Canada, 2022b; Tysnes & Storstein, 2017). À l'heure actuelle, au Canada, la maladie de Parkinson touche 1 individu sur 500 (UCB Canada Inc, 2022). Entre 2011 et 2031, le nombre de Canadiens ayant la maladie de Parkinson devrait doubler et atteindre plus de 163 700 individus (Statistique Canada & Agence de la santé publique du Canada, 2014). Au Québec, c'est plus de 23 500 individus qui vivent avec la maladie de Parkinson (Parkinson Canada, 2022b). Les premiers symptômes apparaissent habituellement vers l'âge de 60 ans, toutefois, 5 à 10 % des individus diagnostiqués présentent la forme précoce, qui est diagnostiquée vers l'âge de 40 ans, alors que 20 % sont diagnostiqués entre 41 et 50 ans (Arcand & Hébert, 2007; Parkinson Canada, 2022a). Ainsi, l'âge moyen du diagnostic de la maladie de Parkinson est de 58 ans et elle atteint 1,2 à 1,5 fois plus souvent les hommes que les femmes (France Parkinson, 2023; O'Sullivan et al., 2014). Il s'agit d'une maladie impliquant ainsi le dysfonctionnement du système dopaminergique dans le système

nerveux central. Le tableau clinique présente des déficiences motrices (ex. rigidité, bradykinésie, tremblements, etc.) ainsi que des déficiences non motrices. La maladie de Parkinson influence le vieillissement normal en accentuant les changements liés à l'âge (Smaili, 2016). L'étiologie, la physiopathologie, les déficiences associées, le diagnostic ainsi que les modalités thérapeutiques seront abordés dans les prochains paragraphes de cette section.

1.2.2 L'ÉTIOLOGIE ET LA PHYSIOPATHOLOGIE

Dans la maladie de Parkinson, les neurones présents dans la substance noire se détériorent ce qui occasionne un déficit en dopamine (Arcand & Hébert, 2007; Balestrino & Schapira, 2020). La dopamine est un neurotransmetteur en provenance de la substance noire et a un rôle essentiel dans le fonctionnement adéquat des ganglions de la base (Arcand & Hébert, 2007).

Les ganglions de la base du cerveau (Figure 4) sont des structures primordiales associées aux mécanismes régissant la posture et le mouvement volontaire (Arcand & Hébert, 2007; Poewe et al., 2017). Tel que schématisé à la Figure 5, la diminution de l'activité dopaminergique occasionnée par la dégénérescence des neurones de la substance noire entraîne une difficulté accentuée à inhiber de façon transitoire l'activité du cortex cérébral par le striatum (Arcand & Hébert, 2007; Poewe et al., 2017). Ainsi, le noyau sous-thalamique projette une excitabilité augmentée alors que le noyau caudé et le putamen présentent une diminution de leur inhibition sur le globus pallidus interne (Arcand & Hébert, 2007; Obeso et al., 2008). Le globus pallidus interne se voit transmettre une inhibition tonique augmentée sur le thalamus ce qui, en retour, engendre une réponse d'excitabilité réduite sur le cortex frontal occasionnant ainsi la symptomatologie extrapyramidale (Arcand & Hébert, 2007; Obeso et al., 2008). La cause de cette dégénérescence reste encore nébuleuse à ce jour, toutefois, certaines hypothèses pointent dans la direction qu'il existerait une interaction entre des facteurs génétiques et environnementaux, comme l'utilisation de certains pesticides (Arcand &

Hébert, 2007; Balestrino & Schapira, 2020; Breckenridge et al., 2016). Chez environ 10 % des individus parkinsoniens, il y aurait des antécédents familiaux, ce qui concorde avec certaines études qui rapportent une susceptibilité génétique à l'origine de la maladie (Arcand & Hébert, 2007; Breckenridge et al., 2016).

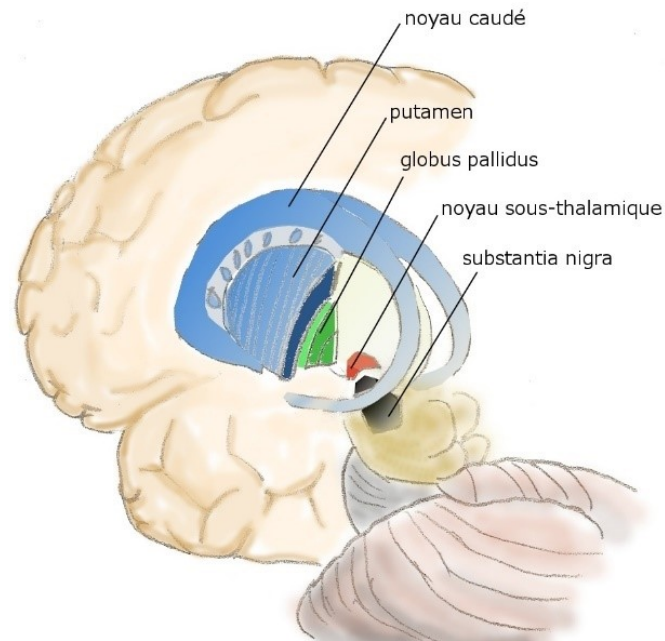


Figure 4 : Structures principales des ganglions de la base

Tiré de <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Noyau-gris-centraux3.jpg?uselang=fr>

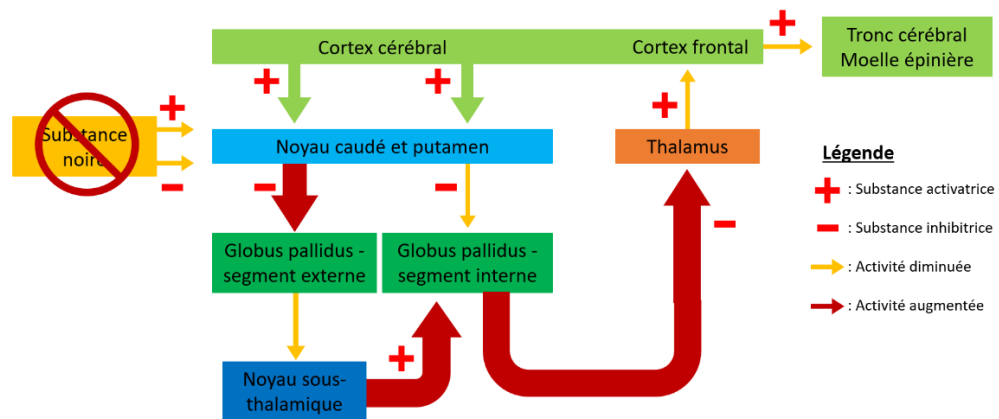


Figure 5 : Schématisation de l'altération du système dopaminergique dans le système nerveux central

Adapté de *Neurosciences* (5^e éd., 409), par D. Purves et al. (J-M Coquery, Trad.), 2005, De Boeck. Copyright 2005 par de Boeck

1.2.3 LES CRITÈRES DIAGNOSTIQUES ET LA CLASSIFICATION

Comme il n'existe pas de test de dépistage spécifique à la maladie, le diagnostic de la maladie de Parkinson se base principalement sur l'histoire médicale et l'évaluation clinique des caractéristiques du syndrome, soit le tremblement de repos, la bradykinésie et la rigidité. Ce sont, à ce jour, les critères diagnostiques de la société de Parkinson du Royaume-Uni (UKPDS) de 1992 qui sont connus et utilisés au niveau international pour ce qui est de l'établissement du diagnostic de la maladie. D'autres examens peuvent être indiqués, comme l'imagerie par résonance magnétique (IRM) à des fins d'exclusion d'autres conditions potentielles.

D'autres outils sont utilisés afin de permettre l'estimation de la gravité et de la progression de la maladie, par exemple, le *Hoehn-Yahr Classification of Disability Scale* (Tableau 2) permettant d'établir, de façon globale, le stade de l'incapacité de l'individu atteint à partir des déficiences motrices et de ses incapacités fonctionnelles (Goetz et al., 2004; Hoehn & Yahr, 1967). Un autre outil utilisé est le *Unified Parkinson's Disease Rating Scale* (UPDRS) étant considéré comme le « gold standard » depuis 1987 dans la classification de la progression de la maladie de Parkinson (O'Sullivan et al., 2014). Cet outil se subdivise en 4 parties : 1) Mentalité, comportement et humeur ; 2) Activités de la vie quotidienne ; 3) Examen moteur et 4) Complications de la thérapie. Dans le présent mémoire, la classification d'incapacité de Hoehn & Yahr de 1967 (Tableau 2) a été utilisée pour bien caractériser les individus souffrant de la maladie de Parkinson dans l'étude.

Tableau 1 : Classification d'incapacité de Hoehn & Yahr

Stade	Caractéristiques de l'incapacité
I	Atteinte unilatérale avec handicap fonctionnel minime ou nul
II	Atteinte bilatérale ou axiale, sans atteinte de l'équilibre
III	Altération de l'équilibre. Déséquilibres aux changements de direction ou au transfert assis-debout. Certaines activités sont restreintes, mais le patient demeure indépendant.
IV	Incapacité sévère. La marche et le maintien de la position debout sont possibles seulement avec assistance.
V	Sans assistance, le patient demeure au fauteuil roulant ou est grabataire.

Adapté avec permission de *Movement Disorder Society Task Force report on the Hoehn and Yahr staging scale: status and recommendations* par Goetz et al., 2004, [traduction libre], Copyright 2004 par Movement Disorders

La littérature actuelle a su mettre de l'avant certaines différences entre les hommes et les femmes quant à la maladie elle-même. Les femmes ont une prévalence plus faible pour la maladie et semblent la développer plus tardivement que les hommes (Arcand & Hébert, 2007). En effet, les femmes présentent une protection dite neuroprotection contre la maladie de Parkinson par certaines hormones, plus spécifiquement l'estrogène (Georgiev et al., 2017; Haaxma et al., 2007; Lee et al., 2015; Nirola et al., 2018). Une étude de Lumboski et al. (2014) a également démontré que les femmes présentent un plus faible fardeau de la maladie de Parkinson et que leurs déficiences sont moins graves que celles des hommes lorsqu'évaluées avec l'échelle *Unified Parkinson's Disease Rating Scale*.

1.2.4 LES DÉFICIENCES PHYSIQUES ET LIMITATIONS FONCTIONNELLES

Considérant le dysfonctionnement du système dopaminergique dans le système nerveux central (SNC), la maladie de Parkinson entraîne trois signes observables cardinaux : la rigidité, les tremblements et la bradykinésie (Arcand & Hébert, 2007; O'Sullivan et al., 2014). Toutefois, cette pathologie entraîne bien plus que ces 3 signes. La présentation clinique de la maladie de Parkinson se sous-divise en 2 grandes catégories de déficiences : les déficiences motrices et celles non motrices (Tableau 1; O'Sullivan et al., 2014).

Tableau 2 : Déficiences de la maladie de Parkinson

Déficiences motrices	Déficiences non motrices
Primaires <ul style="list-style-type: none"> • Rigidité • Tremblements de repos • Bradykinésie • Instabilité posturale • <i>Freezing</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Paresthésie • Douleur • Anosmie • Trouble de l'humeur • Hypotension orthostatique (HTO) • Salivation excessive

<ul style="list-style-type: none"> • Festination <p>Secondaires</p> <ul style="list-style-type: none"> • Faiblesse musculaire • Altération de la fonction • Altération du patron de marche 	<ul style="list-style-type: none"> • Trouble de la parole (dysarthrie, diminution du volume de la voix, monotonie du ton) • Dysphagie • Dysfonctions cognitives • Dépression et anxiété • Dysfonction autonome (troubles gastro-intestinaux, constipation, incontinence urinaire, ...) • Troubles du sommeil
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Adapté de *Physical Rehabilitation* (6^e éd., 816) par O'Sullivan et al. [traduction libre]

Copyright 2014 F.A. Davis Company

1.2.5 LES TROUBLES D'ÉQUILIBRE ET DE MARCHÉ AVEC LE PARKINSON

Un élément primordial à considérer chez les individus atteints de la maladie de Parkinson est leur niveau d'équilibre ainsi que la qualité de leur patron de marche. Comme la maladie de Parkinson entraîne des déficiences motrices et non motrices affectant de près ou de loin l'apprentissage, la planification et l'exécution du mouvement, l'équilibre postural et la marche s'en voient altérés, augmentant évidemment le risque de chute chez cette population (Lewis, 1996; Santos et al., 2017). Certaines études ont été en mesure de démontrer que des différences défavorables existent entre le contrôle postural des individus avec Parkinson et celui des individus de groupe contrôle lors de différentes tâches posturales (Latt et al., 2009; Martin, 2011; Tassorelli et al., 2017; Viitasalo et al., 2002). Les résultats de cette étude corroborent ce qui est rapporté par d'autres études, comme l'étude de Wood et al. (2002) stipulant que l'incidence des chutes chez les individus parkinsoniens monte jusqu'à 68%. En accord avec cela, une étude de Tassorelli et al. (2017) a mis en évidence, à l'aide d'une plateforme stabilométrique, des différences au niveau de l'amplitude des oscillations du centre de pression (COP) entre les personnes âgées saines et atteintes de la maladie de Parkinson. Pour ce qui est de la marche, différentes études ont démontré des altérations des paramètres de la marche chez la clientèle parkinsonienne, par exemple, la diminution de la longueur des

pas, la diminution de la cadence et de la vélocité, etc. notamment via l'utilisation du système de marche GAITRite (Nelson et al., 2002).

Toutefois, il est bien important de comprendre que des changements, ou adaptations, au niveau des paramètres de la marche surviennent également avec le vieillissement normal de l'individu. En effet, les individus âgés sans condition de santé spécifique présentent un patron de marche différent de celui des individus plus jeunes (Aboutorabi et al., 2016; Vieira et al., 2015). Selon certains auteurs, la dégénérescence associée au vieillissement normal de l'un ou plus des systèmes (visuel, vestibulaire et proprioceptif) peut compromettre l'équilibre à la marche forçant des modifications de la marche afin de maintenir l'équilibre lors de celle-ci (Robert W. Baloh, 1996; R. W. Baloh et al., 1993; Teasdale et al., 1991). Avec le vieillissement normal, la longueur des pas tend à diminuer et la vitesse de marche ralentit, réduisant ainsi le temps en appui unipodal et augmentant celui en double appui, position offrant davantage de stabilité (Aboutorabi et al., 2016; Vieira et al., 2015). Aussi, les individus âgés présentent une largeur de pas, ou base de support, plus large que chez les jeunes, ce qui témoigne également de stratégies d'adaptation voulant augmenter la stabilité de l'individu à la marche et réduisant les risques de chute associés à une base de support plus étroite (Aboutorabi et al., 2016; Vieira et al., 2015).

1.2.6 LES MODALITÉS THÉRAPEUTIQUES

À ce jour, il n'existe aucun traitement curatif pour cette pathologie neurodégénérative. Toutefois, certaines modalités de traitements ont été mises en place afin de ralentir la progression de la maladie ainsi que d'en diminuer la gravité des déficiences motrices et non motrices. Parmi ces modalités, on y retrouve entre autres la pharmacothérapie, les interventions neurochirurgicales et la physiothérapie.

Pour ce qui est de la pharmacothérapie, divers médicaments existent dans le but de ralentir la progression de la maladie et d'atténuer les déficiences de celle-ci. Les médicaments les plus couramment prescrits pour la maladie de Parkinson sont le Levodopa/Carbidopa (Sinemet), la classe de *dopamine agonists* (*Mirapex, Parlodel*), les anticholinergiques (Cogentin, Artane et les *monoamine Oxidase B Inhibitors* (*Eldepryl, Azilect*). La sélection de la médication se base sur le ratio de bénéfices et de risques d'effets adverses. Un élément complexifiant le traitement pharmacologique est que la médication doit être prise sur une base régulière rapprochée selon un horaire fixe afin d'éviter les effets de hauts et de bas en raison d'une métabolisation rapide de la médication. Les effets de hauts et de bas ou phase « ON » et phase « OFF » sont fréquemment présents chez les individus atteints de la maladie de Parkinson sous traitement pharmacologique. La phase « ON » se caractérise en étant la phase active de l'individu où les signes associés à la maladie de Parkinson sont réduits alors que la phase « OFF » représente la phase où la médication n'a plus d'effet et où les signes sont à leur maximum (ex. bradykinésie). De plus, l'horaire de la prise de médication doit être suivi soigneusement car cela entraîne de sérieuses complications chez 68 % des individus étant hospitalisés et n'ayant pas reçu leur médication au moment prescrit (O'Sullivan et al., 2014). Toutefois, malgré l'usage de pharmacologie, certaines déficiences persistent, ceci sans considérer les potentiels effets secondaires de la prise de la médication.

Même avec un traitement pharmacologique optimal, les individus atteints de la maladie de Parkinson subissent une détérioration de leur condition et de leur fonction (Ahlskog & Uitti, 2010; Tomlinson et al., 2010). De plus en plus, en adjuvant aux traitements pharmacologiques et neurochirurgicaux, les individus parkinsoniens sont référés vers la physiothérapie (Mizuno et al., 2018; Okada et al., 2021; Tomlinson et al., 2010). Plusieurs éléments et approches peuvent être mis en place afin de répondre aux besoins de ces individus en physiothérapie, notamment en ce qui a trait aux transferts, à la posture, la fonction des membres supérieurs, l'équilibre, les chutes, la marche et la capacité physique (Tomlinson et al., 2010). En accord avec l'importance grandissante de considérer cette pathologie, les études entourant la maladie

de Parkinson se font de plus en plus fréquentes. Dans la dernière décennie, plusieurs articles ont vu le jour, dont 3 articles, méta-analyses et revues systématiques, ont retenu mon attention.

Pour ce qui est du rôle de la physiothérapie, l'article de Tomlinson et al. (2012) incluant 39 essais contrôlés randomisés, soit 1827 patients, met de l'avant l'efficacité des interventions en physiothérapie chez les individus parkinsoniens. Il est démontré que les interventions en physiothérapie, comme la prescription et les programmes d'exercices, augmentent significativement la vitesse de marche, le score du 2 ou 6 *minutes de marche* (6MWT), celui du *freezing of gait questionnaire*, en plus d'améliorer significativement la mobilité fonctionnelle mesurée avec le *Time-Up-and-Go* (TUG) et l'équilibre mesurée avec l'échelle d'équilibre de BERG (EEB). De plus, il est rapporté une diminution du nombre de chutes après les interventions en physiothérapie, ainsi qu'une amélioration du score moteur au UPDRS.

Une méta-analyse de Radder et al. (2020), incluant 191 articles, a montré davantage l'efficacité des interventions en physiothérapie de type programme d'exercices, danse, marche, arts martiaux, etc. Les résultats ont montré des effets significatifs sur diverses déficiences motrices évaluées par le (MDS-) UPDRS, des mesures de l'équilibres (TUG, BBS) ou encore sur les variables de la marche (6MWT, 10mWT, paramètres de la marche; Radder et al., 2020). En moyenne les interventions se sont effectuées sur des périodes de 4 à 12 semaines d'entraînement, à une fréquence de 1 à 7 séances d'intervention par semaine pour une moyenne de 3 à 4 fois par semaine et d'une durée d'environ 67 +/- 52 minutes par séance. De plus, il est démontré que la physiothérapie apporte des bénéfices sur les déficiences motrices, le patron de marche et la qualité de vie des individus parkinsoniens. Également, les stratégies d'entraînement (incluant le *cueing*), la danse, les arts martiaux et la marche nordique entraînent des améliorations au niveau des déficiences motrices, notamment de la marche et de l'équilibre.

Finalement, une méta-analyse de Okada et al. (2021) a évalué l'effet à long terme de la physiothérapie sur l'amélioration du contrôle moteur et de la réduction du dosage de la médication antiparkinsonienne chez les individus atteints de la maladie de Parkinson. Un total de 10 articles, soit 448 participants, a été utilisé pour la rédaction de cet article. Les résultats découlant de cet article mettent de l'avant un effet à long terme bénéfique, mais non significatif de la physiothérapie ($p=0.06$) sur le score moteur du (MDS-)UPDRS en phase « ON » de la médication, toutefois, un effet bénéfique et significatif a été constaté lors de la phase « OFF » de la médication. De façon globale, l'article fournit des évidences en faveur des bénéfices de la physiothérapie à long terme (6 mois ou plus). En effet, les évidences démontrées sont de niveau léger à modéré en faveur de l'efficacité de la physiothérapie à la réduction des déficiences motrices en phase de médication « OFF » et lors de la réduction de la dose de médication antiparkinsonienne, comparé au groupe contrôle. Ainsi, les améliorations obtenues chez les individus parkinsoniens peuvent témoigner de la neuroplasticité du cerveau.

Ces articles témoignent de l'importance de porter notre attention sur l'implication de la physiothérapie dans la prise en charge d'individus atteints de la maladie de Parkinson et présentant des déficiences motrices associées à la maladie.

1.3 LE SYNDROME DE FRAGILITÉ

Le syndrome de fragilité se caractérise par une détérioration de l'homéostasie ainsi que de la capacité de résistance au stress, augmentant ainsi la vulnérabilité de l'individu fragile en plus des risques d'effets indésirables comme la progression d'une maladie, les chutes, les incapacités et la mort prématurée (Arcand & Hébert, 2007; Fried et al., 2001). Ainsi, les individus dits « fragiles » seraient moins en mesure de résister aux agressions comme les blessures et les maladies. Les agressions positionneraient ces individus dans des pentes descendantes où ils leur seraient davantage difficile, voire même impossible, de récupérer leurs capacités (Hoogendijk et al., 2019). En ce qui concerne la prévalence de la fragilité, celle-

ci augmente avec l'âge et est estimée, par la revue systématique de Collard et al. (2012) à 11% dans les pays développés (Fried et al., 2001; Hoogendijk et al., 2019). Par contre, selon ce même article de Collard et al. (2012), la prévalence serait estimée entre 4 et 59% en raison du manque de standardisation dans la mesure de la fragilité (Hoogendijk et al., 2019). À la Figure 6, il est possible de constater l'implication clinique de la fragilité chez l'individu. En effet, cette figure met en évidence l'impact du vieillissement et de la maladie impactant la masse musculaire et entraînant un cercle de détérioration physique et d'augmentation de l'incapacité de l'individu menant, au final, à la fragilité chez l'individu. Ainsi, l'évaluation de la fragilité peut permettre un dépistage précoce de facteurs de risque ou une performance physique limitée. Étant un concept relativement récent, préoccupant et d'actualité, de plus en plus d'études sont réalisées autour de la fragilité depuis les années 90. Au meilleur de nos connaissances, aucune étude n'a étudié le phénomène de fragilité sur le contrôle postural et la marche chez les individus atteints de la maladie de Parkinson.

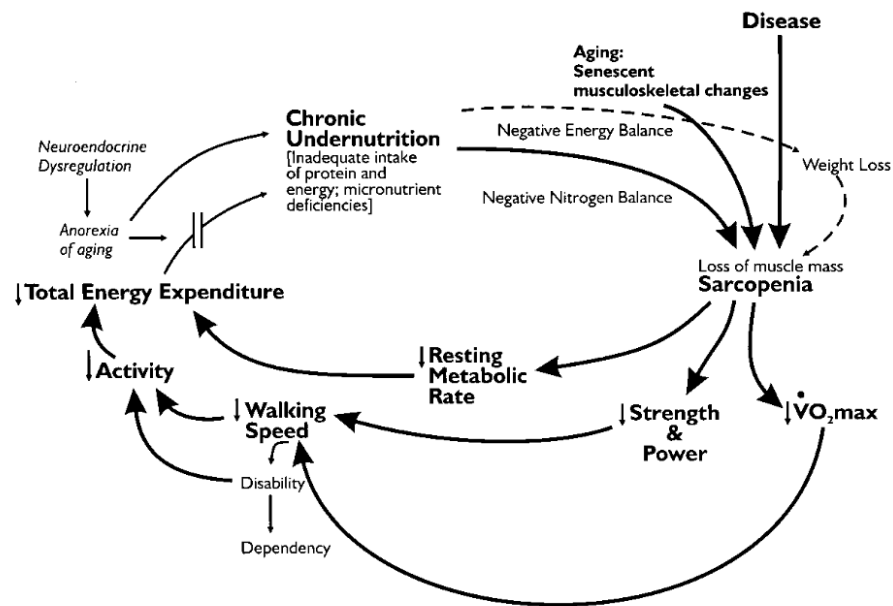


Figure 6 : Cycle de la fragilité hypothésisée en association avec les signes cliniques et les symptômes de la fragilité

Tiré de *Frailty in older adults: evidence for a phenotype*, Fried et al., 2001, *The Journal of Gerontology* : Series A. Réimprimé avec permission

1.3.1 LES CRITÈRES DE FRIED

L'une des études les plus connues sur la fragilité est une étude de Fried et al. (2001) dont l'objectif a été de documenter le phénotype de la fragilité chez les personnes âgées à partir des données du *Cardiovascular Health Study*. À partir des résultats de 5 317 participants, hommes et femmes, âgés de 65 ans et plus, ils ont été en mesure d'établir des critères caractérisant la fragilité (Tableau 3). Parmi ces critères de fragilité (Tableau 3), il est établi que l'individu doit posséder 3 des 5 critères établis pour être considéré « fragile » alors qu'il est considéré « pré-fragile » avec 1 à 2 critères.

Tableau 3 : Critères de fragilité de Fried

Perte de poids involontaire dans la dernière année (livres)	≥ 10
Épuisement auto-déclaré (jours)	≥ 3
Force de préhension manuelle (kg) en fonction de l'IMC de l'individu (kg/m ²)	<i>Hommes</i>
	IMC ≤ 24 ≤ 29
	IMC 24,1 – 26 ≤ 30
	IMC 26,1 – 28 ≤ 30
	IMC > 28 ≤ 32
	<i>Femmes</i>
	IMC ≤ 23 ≤ 17
	IMC 23,1 – 26 $\leq 17,3$
	IMC 26,1 – 29 ≤ 18
	IMC > 29 ≤ 21
Temps pour parcourir une distance de 15 pieds (secondes) en fonction de la taille de l'individu (cm)	<i>Hommes</i>
	Taille ≤ 173 cm ≥ 7
	Taille > 173 cm ≥ 6
	<i>Femmes</i>
	Taille ≤ 159 cm ≥ 7
	Taille > 159 cm ≥ 6
Faible activité physique	S'asseoir tranquillement et/ou se coucher durant la majorité des jours

IMC : Indice de masse corporelle

Adapté avec permission de *Frailty in older adults: evidence for a phenotype*, Fried et al., 2001, The Journal of Gerontology : Series A.

Finalement, en plus de son impact sur l'individu, la fragilité représente un fardeau pour les dépenses sociétales en soins de santé (Ensrud et al., 2018; Fried et al., 2001; Kim et al., 2019; Kojima, 2015, 2017).

1.4 LE CONTRÔLE POSTURAL

1.4.1 DÉFINITION

Le contrôle postural se définit comme l'ensemble des processus mis en place pour assurer le maintien de la posture du corps de l'individu dans l'espace, et ce, sans déséquilibres ni chutes (Fukunaga et al., 2014). Le contrôle postural découle principalement de l'intégration des informations en provenance de 3 systèmes primordiaux, soit les systèmes visuel, vestibulaire et proprioceptif (somatosensoriel; Pollock et al., 2000; Simoneau et al., 1995). Concrètement, le contrôle postural exige de conserver le centre de masse (ou centre de gravité) à l'intérieur de la base de support (BOS; Paillard, 2012; Pollock et al., 2000; Zemková, 2011). Lorsque l'humain est en position statique debout, le centre de gravité se retrouve en hauteur et la base de support, étroite (Maki & McIlroy, 1997; Winter, 1995). Cette situation rend au corps la tâche de maintenir la stabilité plus difficile (Maki & McIlroy, 1997; Winter, 1995). Contrairement aux objets inanimés, lorsque notre centre de gravité traverse la limite de notre base de support, le corps le ressent en traitant l'information et adaptant l'activité musculaire afin de prévenir la chute (Horak, 1987). Ainsi, le contrôle postural permet de maintenir l'équilibre dans l'espace (Paillard, 2012; Parreira et al., 2013). Finalement, le contrôle postural demeure un élément capital dans l'évaluation des risques de chute. Effectivement, les troubles d'équilibre augmentent les oscillations posturales et, par le fait même, les risques que le centre de gravité traverse la limite de la base de support et, ainsi, augmentent considérablement les risques de chute (Vieira et al., 2016).

1.4.2 MÉTHODES D'ÉVALUATION

Actuellement, il existe de nombreux outils scientifiques et cliniques qui permettent d'obtenir une appréciation et une évaluation du contrôle postural. En effet, en physiothérapie, l'échelle d'équilibre de BERG et le *Mini-BESTest* ne sont que des exemples d'outils cliniques parmi lesquels l'évaluateur donne une consigne à l'utilisateur pour chaque tâche à réaliser et effectue la cotation en fonction des capacités observées de l'utilisateur. Ces divers tests se basent sur différents paramètres d'évaluation du contrôle postural, comme les réactions posturales anticipatoires, l'équilibre statique et dynamique, etc. (Sibley et al., 2015). De plus, comme les paramètres observés sont hétérogènes d'un outil clinique à un autre, il devient complexe de faire une comparaison entre les différentes échelles. Parmi les instruments de mesure avec les meilleures qualités métrologiques, on y retrouve la plateforme de force, aussi appelée plateforme de stabilométrie (Ruhe et al., 2010).

1.4.3 PLATEFORME DE FORCE

La plateforme de force (BIOMEC400, EMG system do Brasil, SP, Ltda) permet d'objectiver de nombreux paramètres liés au centre de pression des pieds (COP), par exemple, l'amplitude de déplacement antéro-postérieur et médio-latéral, la vitesse de ces déplacements, la fréquence, l'aire couverte par le déplacement du COP durant la durée de l'échantillonnage, etc. (Figure 7; da Silva et al., 2018; Paillard, 2012). La quantification des paramètres du COP est démontrée comme valide dans l'évaluation du contrôle postural (Baltich et al., 2014). Les données des forces des réactions sont collectées par les capteurs situés aux extrémités de la plateforme et sont ensuite transmises au système d'analyse stabilographique pour compiler les paramètres du COP provenant de la plateforme de force. La fréquence d'échantillonnage est établie à 100 Hz et les signaux sont filtrés par un filtre *Butterworth* à 35 Hz avant que les données soient converties en paramètres linéaires du COP par les logiciels BIOMEC et

MATLAB. Finalement, l'analyse des résultats d'une collecte de données permet l'obtention de graphiques résumés en plus des paramètres sous forme de tableau numérique.

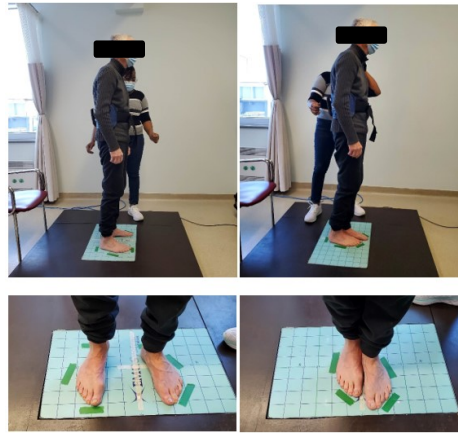


Figure 7 : Évaluation du contrôle postural et standardisation du positionnement des pieds sur la plateforme de force

Source : photo originale autorisée (équipe de recherche La Baie sous la direction de Rubens A. da Silva)

Une étude de Harro et al. (2016) avait pour objectif de vérifier la validité et la fidélité des mesures du COP provenant d'une plateforme de force pour l'évaluation de l'équilibre chez les individus atteints de la maladie de Parkinson et d'examiner les propriétés psychométriques pour 3 tests d'équilibre : le test d'organisation sensorielle (SOT), le test des limites de la stabilité (LOS) et le test du contrôle moteur (MCT) (Harro et al., 2016). L'étude a été réalisée avec 42 participants atteints de la maladie de Parkinson idiopathique et un coefficient de corrélation intraclasse (ICC). Les résultats démontrent que, pour toutes les variables utilisées pour l'évaluation du contrôle postural via le COP sur la plateforme de force, la fidélité est très élevée (ICC = 0,78 – 0,92), ce qui supporte l'utilisation de cette méthode en réadaptation. De façon générale, un ICC de 0,75 à 0,90 est un indicateur d'une bonne fidélité alors qu'un résultat d'ICC supérieur à 0,9 réfère à une fidélité excellente (Koo & Li, 2016).

Une autre étude de Terra et al. (2020) sur l'évaluation de l'équilibre via la plateforme de force chez les individus atteints de la maladie de Parkinson avait pour objectif d'évaluer la fidélité test-retest, de différentes tâches d'équilibre exécutées sur la plateforme de force . Les

tâches d'équilibre effectuées correspondaient aux stations bipodale, romberg, tandem et unipodale avec les yeux ouverts et fermés. À partir du coefficient de corrélation intraclasse, les paramètres les plus fidèles de cette étude sont l'aire ellipse du COP ainsi que les vitesses moyennes, ce qui supporte la valeur diagnostique de l'équipement et de mesures lors d'une intervention future sur le contrôle postural chez les personnes âgées atteintes de la maladie de Parkinson.

Finalement, à partir des résultats de ces études présentées, il est possible de conclure que l'utilisation de la plateforme de force pour l'évaluation du contrôle postural via les paramètres du centre de pression est tout à fait justifiée dans le présent projet. En effet, les diverses études appuient cette utilisation en ayant démontré que cet appareil démontre une fidélité et validité de mesure auprès de la clientèle âgée atteinte de la maladie de Parkinson.

1.5 LA MARCHÉ

1.5.1 DÉFINITION

La marche est le principal moyen de locomotion de l'individu sain et se définit comme le mouvement acquis de l'individu permettant le déplacement de son corps sur les pieds, et ce, dans une direction déterminée (Kharb et al., 2011; Sutherland, 1997). Autrement dit, il s'agit d'une translation de l'ensemble du corps dans une direction et correspondant à une perte et rattrapage de l'équilibre cyclique (Kharb et al., 2011). En effet, 80% de la marche se trouve en appui unipodal, ainsi le centre de masse se trouve à l'extérieur de la base de sustentation, ce qui met l'individu en situation de déséquilibre quasi-constant (Tobis et al., 1985). La marche se distingue de la course par l'absence d'aéroportation, c'est-à-dire qu'en tout temps, l'un des pieds est au contact du sol ainsi que par d'autres éléments, comme l'augmentation de la demande énergétique, de la demande en activation musculaire et en amplitude de mouvement (Kharb et al., 2011; Öunpuu, 1994).

Comme la marche consiste en une répétition subséquente de cycles, ceux-ci peuvent être décortiqués. Ainsi, un cycle de marche débute au contact d'un talon jusqu'au contact suivant de ce même talon. Il comprend une phase d'oscillation, représentant environ 40% du cycle, en plus d'une phase d'appui qui correspond à environ 60% du cycle de marche (Figure 8; Bieuzen, 2007).

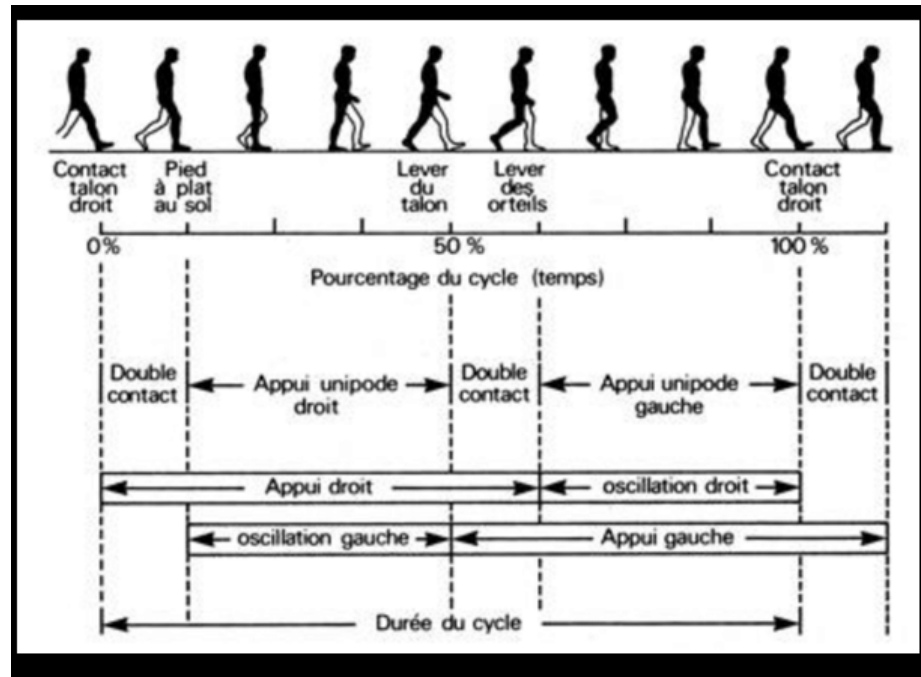


Figure 8 : Représentation d'un cycle de la marche

Tiré de Bieuzen (2007) et repéré à https://www.researchgate.net/figure/Representation-schematique-dun-cycle-de-marche_fig1_281660498

1.5.2 MÉTHODES D'ÉVALUATION

Il existe diverses méthodes pour évaluer le patron de marche en pratique clinique. En effet, ces techniques peuvent inclure l'observation descriptive de la marche jusqu'à des tests standardisés fidèles et valides. Parmi ces méthodes, on y retrouve entre autres la grille descriptive *Gait Analysis : Full Body* ainsi que le *Dynamic Gait Index* (Burnfield et al., 2019; Shumway-Cook & Woollacott, 1995). Du côté de la recherche, des outils sont développés au fil des années afin d'optimiser l'évaluation de la marche, ces outils font partie de la classe des

appareils de haute technologie, tels que le système de marche GAITRite. Considérant cet élément, le système de marche GAITRite est ainsi essentiel pour l'évaluation spécialisée du patron de marche et sera utilisé pour le présent projet de recherche bien que d'autres appareils tout aussi performants existent.

1.5.3 LE SYSTÈME DE MARCHE GAITRITE

Le système de marche GAITRite est un tapis d'évaluation de marche portable muni de capteurs sensibles à la pression. Ce système est en mesure de détecter le moment d'activation des capteurs ainsi que la distance entre les capteurs activés (Webster et al., 2005). Pour notre étude, le tapis de marche était d'une longueur de 14 pieds sur laquelle les capteurs avaient une fréquence d'échantillonnage de 100 Hz. Lorsque le pied se dépose sur le tapis, celui-ci active les capteurs engendrant des coordonnées X, Y (figure 9). Ces informations sont ensuite transmises directement au logiciel d'exploitation qui procède au calcul des paramètres spatio-temporels du patron de marche de l'individu, dont la vitesse de marche, la cadence, la longueur du pas ainsi que les variables temporelles associées au pas (Webster et al., 2005).

L'étude de Webster et al. (2005) est très importante dans la démonstration de la validité du système de marche GAITRite pour l'évaluation des paramètres de la marche. En effet, cette étude a démontré la fidélité de ce système (ICC = 0,91-0,99) en le comparant au système Vicon-512, système d'analyse en trois dimensions. Ces résultats ont été obtenus dans une étude de 10 participants âgés entre 54 et 83 ans (moyenne = 66,5 ans) ayant subi une intervention chirurgicale de remplacement du genou. Le protocole consistait à marcher à une vitesse confortable déterminée par le participant ainsi qu'à une vitesse rapide. La collecte des données des deux appareils s'est faite simultanément, c'est-à-dire que le participant marchant sur le tapis de marche GAITRite étant simultanément évalué par le système d'analyse tridimensionnel Vicon-512.

Une étude de Vieira et al. (2015) a développé et testé une méthode d'évaluation des paramètres spatio-temporels du patron de marche chez les jeunes adultes (âge moyen = 25 ± 2 ans) et aînés (âge moyen = 73 ± 6 ans). Les participants devaient compléter 3 essais de marche en simulation d'une traversée de rue en fonction d'un délai régulier et d'un délai raccourci. Sur le parcours, se trouvait le système de marche GAITRite permettant la collecte des données. La procédure développée et utilisant le système GAITRite permet d'évaluer le risque de chute et d'accident des individus durant la traversée de la rue, de faire une comparaison entre les différents groupes et d'établir le temps approprié accordé aux personnes âgées pour la traversée de la rue sécuritairement.

Finalement, une étude de Nelson et al. (2002) a déterminé la validité du système de marche GAITRite dans l'évaluation du patron de marche chez les individus atteints de la maladie de Parkinson à un stade précoce. Les participants atteints de la maladie de Parkinson ont été comparés à un groupe contrôle d'individus sains. La grande majorité des paramètres sont significativement différents ($p < 0.05$) entre le groupe contrôle et le groupe parkinson, et ce, pour la vitesse préférée par le participant ainsi que pour celle rapide. Parmi les paramètres évalués, la vitesse moyenne normalisée correspond, dans cette étude, au paramètre le plus puissant et discriminant entre les deux groupes pour chacune des vitesses de marche.



Figure 9 : Évaluation des paramètres de la marche sur le GAITRite

Source : photo originale autorisée (équipe de recherche La Baie sous la direction de Rubens A. da Silva)

1.6 PERSPECTIVES

Durant les premières années de ma maîtrise, j'ai pu réaliser une revue de la littérature, disponible en annexe du présent document. À partir de ces évidences, j'ai constaté le manque flagrant d'évidences de la littérature étaient largement manquantes surtout lorsqu'on combine la maladie, soit maladie de Parkinson, aux différences entre les sexes sur le plan du contrôle postural. En effet, cette revue de la littérature, Dallaire et al. (2021), a inclus un total de 10 articles, soit ceux qui répondaient aux critères d'inclusion et d'exclusion. Les résultats ont principalement démontré que le sexe ne semble pas influencer les paramètres du contrôle postural chez la population âgée atteinte de la maladie de Parkinson. Vous pouvez apprécier cette revue en annexe de ce présent mémoire.

Suite aux conclusions de l'article et à l'absence de données sur la fragilité chez les individus parkinsoniens dans la littérature, le développement de mon projet a poursuivi vers le présent projet visant l'intégration, dans un même devis, de l'évaluation du contrôle postural et du patron de marche tout en considérant le niveau de fragilité et le sexe biologique chez une population âgée atteinte de la maladie de Parkinson. Ceci nous amène donc au chapitre 2 où la question de recherche sera abordée plus en détail pour mieux répondre aux lacunes de la littérature actuelle sur le sujet.

CHAPITRE 2

OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

La question de recherche du présent projet aborde le sujet dans la même direction que les objectifs décrits ci-dessous ; le tout, dans l'objectif de déterminer : est-ce que des différences existent au niveau du contrôle postural et des paramètres de la marche entre les individus âgés atteints de la maladie de Parkinson fragiles et ceux non-fragiles ?

2.1 OBJECTIF PRINCIPAL

L'objectif principal de cette étude a été de comparer le contrôle postural et les paramètres du patron de marche chez les aînés atteints de la maladie de Parkinson avec et sans fragilité.

2.1.1 HYPOTHÈSE PRINCIPALE

L'hypothèse principale est qu'une différence significative sera observée au niveau du contrôle postural et de la qualité de la marche entre les personnes âgées atteintes de la maladie de parkinson fragiles et non-fragiles.

2.2 OBJECTIF SECONDAIRE

L'objectif secondaire a été de déterminer si des différences existent entre les hommes et les femmes âgés atteints de la maladie de Parkinson en termes de contrôle postural et de patron de marche.

2.2.1 HYPOTHÈSE SECONDAIRE

L'hypothèse associée à cet objectif secondaire est que des différences seront présentes entre les hommes et les femmes au niveau du contrôle postural et de la qualité du patron de marche.

CHAPITRE 3

Article scientifique pour répondre à la question de recherche, incluant la méthodologie et les résultats scientifiques

Impact of frailty and sex-related differences on postural control and gait parameters in older adults with Parkinson's Disease

Authors

Mathieu Dallaire^{a,b}, Alexandra Houde-Thibeault^b, Jérôme Bouchard-Tremblay^b, Enafa Anais Wotto^{a,b}, Charlène Côté^c, Claudia Santos Oliveira^d, Suzy Ngomo^{b,e}, Rubens A. da Silva^{b,c,d,e*}

Affiliations

^a Programme de maîtrise en sciences biomédicales, Département des Sciences de la Santé de l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Saguenay, Quebec, Canada, G7H 2B1.

^b Laboratoire de recherche BioNR, Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Saguenay, Quebec, Canada, G7H 2B1.

^c Centre intégré de santé et services sociaux du Saguenay—Lac-Saint-Jean (CIUSSS SLSJ), Specialized Geriatrics Services at La Baie Hospital, Saguenay, Quebec, Canada, G7H 7K9.

^d Doctoral and Master Programs in Human Movement and Rehabilitation, Universidade Evangélica de Goiás, Anapolis 75083-515, Brazil

^e Département des Sciences de la Santé l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Saguenay, Quebec, Canada, G7H 2B1.

*Corresponding Author

Rubens A. da Silva, Ph.D., pht.
Département Sciences de la Santé
Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)
555, boul. de l'Université
Saguenay G7H 2B1
418 545-5011, poste 6123
Email: rubens.dasilva@uqac.ca

Compliance with ethical standards

Conflict of interest No conflicts of interest are declared for any author.

Ethical approval The protocol and the consent form had been previously approved by the Research Ethics Committee of CIUSSS Saguenay-Lac-Saint-Jean. CER #2019 008

Informed consent The participants were informed about the research protocol and the potential risks of the study, and gave written consent before their participation.

Funding: PDSMU – Fondation de ma vie (CIUSSS-SLSJ, #2021/2022), FUQAC (projet spécial #2021); PSDrc / UQAC (#2022).

Cet article a été soumis et est actuellement en révision (under review) au *Physiotherapy Journal* (JCR = 3.704) : <https://www.sciencedirect.com/journal/physiotherapy>.

3.1 RÉSUMÉ

Problématique : La maladie de Parkinson, trouble neurodégénératif, perturbe le processus normal de vieillissement en entraînent une détérioration plus importante de la condition globale et, notamment, en entraînent une réduction des capacités motrices de l'individu. De plus, le syndrome de fragilité, autre phénomène associé au vieillissement, augmente la vulnérabilité globale de l'individu et entraîne une augmentation des risques d'effets indésirables comme la progression de la maladie, des chutes, de l'incapacité et, même, un décès prématuré.

Objectifs : Évaluer l'impact de la fragilité sur le contrôle postural et les paramètres de la marche chez les personnes âgées atteintes de la maladie de Parkinson et de déterminer si le sexe biologique influence ces résultats.

Méthodologie : Vingt-sept (27) participants (n= 18 hommes ; n= 10 individus fragiles) ont été évalués lors de 4 tâches d'équilibre (yeux ouverts/fermés en position bipodale/semi-tandem) sur la plateforme de force via les paramètres du centre de pression (COP). Ces participants ont également été évalués sur le système de marche GAITRite via 2 conditions expérimentales de marche (vitesse habituelle et vitesse rapide) pour l'évaluation des paramètres spatio-temporels de la marche.

Résultats : Des différences significatives au niveau du contrôle postural ont été démontrées entre le groupe fragile et celui non-fragile (aire du COP $p= 0.013/d= 0.47$, vitesse

de l'oscillation $p=0.048/d=0.41$ et fréquence d'oscillation $p=0.042/d=0.52$). Aucune différence significative n'a été observée entre les sexes pour ces paramètres du COP. Le patron de marche est comparable entre les individus fragiles et non-fragiles alors que des différences significatives ont été démontrées entre les hommes et les femmes (longueur du pas $p=0.002/d=0.71$, largeur du pas $p=0.001/d=0.75$ et la base de support $p=0.012/d=0.64$).

Conclusion : Les personnes âgées fragiles atteintes de la maladie de Parkinson présentent un équilibre postural inférieur à ceux non-fragiles, mais un patron de marche similaire. Les hommes et les femmes, quant à eux, démontrent un contrôle postural comparable alors que des différences significatives sont démontrées à la marche. Ces résultats sont pertinents dans le but d'optimiser ou de faciliter la prise de décision clinique en contexte de réadaptation avec des hommes et des femmes fragiles atteints de la maladie de Parkinson, notamment, lorsque l'équilibre postural et la marche sont concernés.

Mots-clés : Fragilité, équilibre, marche, maladie de Parkinson, vieillissement, sexe

3.2 ABSTRACT

Background: Parkinson's Disease, a neurodegenerative condition, affects normal aging and leads to reduced motor abilities. In addition to this, frailty syndrome increases vulnerability and risks of undesirable effects such as disease progression, falls, disability, and premature death.

Aims: To assess the impact of frailty on balance and gait parameters in older parkinsonian adults and to determine if sex mediates the results.

Methods: Twenty-seven (27) participants ($n=18$ men; $n=10$ frail) performed 4 balance tasks on a force platform (eyes opened/closed in bipodal/semi-tandem position) while center

of pressure (COP) parameters were calculated. Participants also performed two different speed walks on a gait analysis system to assess main gait spatiotemporal parameters.

Results: Significant differences between the frail and non-frail group were observed on postural control (area of COP $p= 0.013/d= 0.47$, sway velocity $p= 0.048/d= 0.41$ and sway frequency $p= 0.042/d= 0.52$). No significant sex differences were reported for these variables. Gait was comparable between frail and non-frail subjects, while significant differences between men and women were reported with regards to step length ($p= 0.002$, $d= 0.71$), step width ($p= 0.001$, $d= 0.75$) and base of support ($p= 0.012$, $d= 0.64$).

Conclusion: Frail Parkinson's individuals present worse postural control than non-frail individuals, but comparable gait parameters. Men and women are comparable on postural control but show different gait parameters. These results may have implications in clinical decision-making in rehabilitation with frail men and women with Parkinson's Disease when balance and gait are of concern.

Contribution of the paper

- It appears that older men and women with Parkinson's Disease present comparable postural control but show different gait parameters.
- Frailty and sex remain essential to consider to make better clinical decisions in rehabilitation with older adults with Parkinson's Disease when balance and gait are of concern.
- Further studies assessing the impact of physical rehabilitation or prescription of exercise on postural control and gait in older adults with Parkinson's Disease and frailty and investigating whether sex should be considered when prescribing exercise are needed.

Keywords: Frailty, balance, gait, Parkinson's Disease, aging, sex

3.3 INTRODUCTION

Parkinson's Disease (PD) is a brain disorder causing neuromuscular impairments and affecting 1% of the population aged 65 years and older (1). Motor abilities are reduced by tremor, bradykinesia, rigidity, freezing of gait (1, 2). Furthermore, gait impairment and postural control deficits are typical of PD, which in turn increase the risk of falls and predict frailty (2). Frailty syndrome is characterized by the deterioration of homeostasis and resistance capacity to stress, increasing the individual's global vulnerability and risk of undesirable effects such as faster disease progression, falls, disability and premature death (1, 3). Consequently, frail PD individuals would be less resistant to injuries such as hip fractures and diseases, intensifying the decrease of their motor abilities, such as balance disorders (3, 4). However, it is not that clear this phenomenon generalizes for both sexes. Some differences in balance and gait also exist between men and women, but there is minimal knowledge about sex-related differences in PD (5). In fact, the comparison between balance and gait parameters on PD people according to frailty or sex is unclear. This scenario increases the interest of our research team to better address on issue.

The aim of this study was thus to compare postural control during four balance tasks and on gait in two speed conditions between older adults with PD and frailty or not and to determine if there were differences between sex. Our hypothesis was that frail PD subjects would show worse postural control and gait parameters than non-frail subjects; and that sex would mediate the results in some way.

3.4 METHODS

This cross-sectional design study was conducted in the CIUSSS Saguenay-Lac-Saint-Jean (SLSJ, Quebec, Canada), at the La Baie Hospital specialized geriatric rehabilitation services, between 2021 and 2022.

3.4.1 PARTICIPANTS

Twenty-seven (27) participants (n=18 men) including 10 frail people with PD were recruited by convenience from the local community, Parkinson's association and the hospital services and were stratified by sex and presence or absence of frailty. London Brain Bank's inclusion criteria were used to classify PD according to the modified Hoehn & Yahr scale (6). Participants who were able to walk independently and were not enrolled in any other therapeutic programs were included.

As no study has compared older PD patients with frailty vs. non-frail, our calculation of power was based between two groups (pathological vs. control) to get an idea of an adequate sample number in our study. Thus, two calculations made: one for gait speed (velocity) and one for balance to give a global overview of the probable statistical power. Based in Rennie et al. (2018) who determined the mean values of the velocity for normal gait in older adults with Parkinson's ($126\pm 21\text{cm/s}$) and older healthy adults ($145\pm 19\text{cm/s}$), 14 participants were determined to be needed per group to run an unpaired t-test (95% CI), with a power of 0.80 (from BioStat 5.3.0 software analysis of power sample) (7). Based in de Almeida et al. (2016), in which mean values of the center of pressure (COP) ellipse area under the force platform from a challenge balance condition (unipodal up 30-seconds) of older subjects with PD ($16\pm 8\text{cm}^2$) and older healthy control ($10\pm 3\text{cm}^2$), 16 participants were determined to be needed per group to also run an unpaired t-test 95% CI), with a power of 0.80 (8).

3.4.2 PROCEDURES

Participants were informed about the experimental protocol and potential risks of the study and gave written consent before their participation. The study was approved by the local Research Ethics Committee (CIUSSS-SLSJ; CER #2019 008). The participants first completed questionnaires and the criteria of frailty according to Fried (9): 1) Low physical activity (self-reported in questionnaire); 2) exhaustion (self-reported in questionnaire); 3) unintentional weight loss >10lbs. in past year (self-reported in questionnaire); 4) weakness (grip strength evaluated with a Jamar dynamometer with two evaluators); 5) slow walking speed (walking

speed with 10mWT with two evaluators) (9). Based on these criteria (at least 3), Parkinson's individuals were then classified as frail (n=10) or non-frail (n=17). Afterwards, anthropometric, and demographic variables were measured while each participant was familiarized with balance and gait protocol under a force platform and the GAITRite system before testing with two trained evaluators.

Clinical questionnaires

The Hoehn and Yahr (H&Y) scale was used to distinguish between five stages of PD from unilateral impairment (Stage 1) to bilateral impairment, without balance difficulties (Stage 2), to postural instability (Stage 3), to loss of physical independence (Stage 4) and finally, to wheelchair-bound or bed-bound (Stage 5) (6, 10). For the cognitive assessment, Mini-Mental State Examination (MMSE) in the validated French version was applied (11). Falls Efficacy Scale-International (FES-I) which includes 16 questions for a highest possible score of 64 was also applied (12).

Instruments

A force platform (BIOMECA400, EMG system do Brasil, SP, Ltda) was used to measure force reactions and COP with sampling frequency at 100Hz. Force signals were filtered with a 35-Hz low-pass second-order Butterworth filter and converted into stabilographic analysis allowing to obtain the 95% confidence ellipse area of COP (A-COP) in cm², mean sway COP velocity (VEL) and mean frequency (MF) in anteroposterior and mediolateral directions in cm/s and mean frequency of COP (MF) in AP and ML directions (13, 14). These COP parameters are valid and reliable in PD (15).

Gait assessment was performed on the GAITRite® system (SN: Q209, CIR Systems Inc., Franklin, NJ), with sampling frequency at 100 Hz. The walkway is composed of sensor pads along the 14 feet carpet and each sensor pad has an active area of 24 square inches containing 2.304 sensors arranged in a grid pattern. Sensors are activated by pressure exerted by the feet and provide x,y coordinates. Footprint analysis results from the software's special algorithms. The gait spatiotemporal parameters were calculated, and the main variables used

in the study were step time, step length, cadence and speed, as in the previous study (16). This system reported a high validity (ICC=0.91-0.99) in comparison to Vicon-5121 systems measures and is reliable for PD (17).

Experimental protocol

Balance tasks were performed with a standardized protocol including four random conditions (Figure 1): 1) Bipodal position with eyes opened (BPEO), 2) bipodal position with eyes closed (BPEC), 3) semi-tandem position with eyes opened (STEO) and 4) semi-tandem with eyes closed (STEC) (18). Participants were asked to stand barefoot, arms relaxed on a force platform, and faced a target (dot) on the wall, at eye level, 2 meters from the platform (18). For each experimental condition, two 30-second trials were performed (ICC>0.80), with 60-second rest intervals between each trial, to minimize fatigue (18). Participants were asked to sit during recovery periods (18). The average across 2-trials was retained for subsequent analysis (18). For both BPEO or BPEC and STEO or STEC tasks, landmarks on the platform allowed to maintain a constant foot position between trials and participants.

For gait assessment, two experimental conditions, were performed, in random order: Preferred and fast walking under GAITRite, but, due to PD, strict control of walking speed could not be done precisely (i.e., with a metronome) (19). Participants were instructed to walk on a carpet with comfortable shoes, arms relaxed, with their eyes open (19). Two trials for each speed were completed without walking aids, with 30-seconds rest intervals (19). Participant safety was ensured by wearing a walking belt and a trained evaluator was positioned near them throughout data collection.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using IBM SPSS Statistics 27 with a signification $\alpha=0,05$. Normal distribution (Shapiro-Wilk) and homogeneity (Levene) of postural control and gait variables were confirmed. Anthropometric and demographic characteristics were compared between non-frail and frail groups and between sexes, using a Student T-test.

A two-way MANOVA (2 factors: 2 Groups x4 conditions) with repeated measures was applied for each dependent COP variable to determine the differences between non-frail and frail, as well as between BPEO, BPEC, STEO and STEC tasks and interactions effects. When necessary, a post hoc Tukey analysis was performed. When significant differences were demonstrated, effect size (ES) and clinical difference based on mean values between-groups or conditions (% Δ) were calculated (20). Again, two-way MANOVA was used for gait variables, including two groups (non-frail and frail) and two speed gait conditions, including the ES clinical differences between groups or conditions. Finally, these analyses were run a second time to compare sexes in the same way.

3.5 RESULTS

For total cohort, mean age (total) was 69.19 ± 6.04 years and severity of PD, according to Hoehn and Yahr's stages (total) was 2.03 ± 0.95 (Table 4), corresponding to a mild stage. Men and women also presented similar anthropometric and demographic characteristics (Table 4). A higher M-FES score was reported by the non-frail group ($p=0.024$), representing a higher concern about falling during social and physical activities.

3.5.1 POSTURAL CONTROL

Poorer balance was found in the frail group compared to the non-frail. A-COP, VEL AP and MF ML were significantly ($p<0.05$) different between frail and non-frail groups across balance conditions (Table 5), with moderate ES in mean $d=0.47$, 0.41 and 0.52 respectively. Group differences were observed in 43% for A-COP; 21% for VEL AP and 17% for MF ML in favor non-frail. For both groups, experimental conditions showed that all COP parameters increased with task difficulty, which was mostly observed in BPOE and STCE, reaching a 77% difference between them for A-COP with a strong ES ($d=1.89$).

No sex differences were found in COP parameters across four experimental conditions, although the men tended to have higher COP values (Table 6). The experimental conditions

are different (4 out of 5 parameters), as observed in frailty comparisons. More challenging balance tasks were better tasks to demonstrate worse postural control, mainly between BPOE and STCE reaching 79% for A-COP in mean with a strong ES ($d=1.17$) in both sexes.

3.5.2 GAIT ASSESSMENT

No significant differences were found between frail and non-frail groups for gait parameters assessed with the GAITRite at preferred and fast speed (Table 7). As expected for gait speed in total cohort (preferred vs. fast), differences were present and significant for most of the evaluated parameters (9 over 10), with strong ES varying of $d=0.58$ to 2.20 across them.

Significant differences were demonstrated for step length ($p=0.002$; $d=0.71$), step width ($p=0.001$; $d=0.75$) and base of support (BOS) ($p=0.012$; $d=0.64$), including preferred and fast speed of walking, between men and women (Table 8). These parameters demonstrate moderate to strong ES, with men reporting longer step length (10% Δ in cm), larger step width (11% Δ in cm) and BOS (18% Δ in cm) across both speeds.

As expected, significant differences ($p<0.01$) were observed between both speed conditions (preferred and fast) for spatiotemporal parameters, except for BOS ($p=0.763$) in both sexes. Mean velocity speed increased by 29% between preferred and fast speed and 9/10 gait parameters with a strong ES varying of $d=0.85$ to 1.85.

3.6 DISCUSSION

Differences exist in postural control between frail and non-frail group, but not in gait. Sex mediates gait parameters but not postural control. This study was the first to assess frail and non-frail individuals and sexes in PD and to compare postural control and gait. Results highlight the importance to be aware of frailty, particularly during the assessment and rehabilitation of balance in PD. They may also help clinicians to be more specific in their exercise's prescription.

As this is the first study incorporating the concept of frailty in older adults with PD, a comparison of our results with studies of identical design is difficult. We can only extrapolate

by comparing frail and non-frail subjects in different older populations. Our results differ from the study of Thiede et al. (2016) (21) that evaluated frailty and reported none difference for postural control. In our study, non-frail had better balance than frail. The inconsistency between these findings could be due to sample from their study (only pre-frail participants and peripheral artery disease, while our sample was frail and PD).

Some other factors can explain our results. First, reduced hand grip strength is one important feature present in frailty and hand grip strength was previously demonstrated to be representative of global muscle strength (22). In the present study, grip strength of the non-frail group was 18% ($d=0.65$) higher than the frail group, which has a significant impact on muscle performance in postural control (23). Frail people are more likely to have lower hand grip strength, which correlate with global muscle weakness and poor postural control (22, 24). Second, fatigue is another criterion for frailty and reduces postural control. Kowalski et al. (2021) demonstrated that fatigue and energy level were predictors of postural control, being that more fatigability would be associated to poor balance. Although not associated with our research question specifically, nor a measurement in the study, a hypothesis helping in the reflection of results for poor balance performance is related to chronic inflammation and immune activation from the frailty syndrome (25, 26). Previous studies demonstrate that frail older adults have an upregulated expression of stress-responsive inflammatory pathway genes and this inflammatory pathway leads to chronic inflammation (27). Consequently, chronic inflammation negatively impacts the physiologic musculoskeletal system such as in sarcopenia, which is defined as the loss of muscle strength and mass (28, 29). Evidence reports that weakened muscles in lower limbs reduce the ability to maintain balance, which could explain our results (30, 31).

On the other hand, no significant difference was observed in gait parameters between frail people with PD and non-frail. However, Kirkwood et al. (2019) demonstrated that older vulnerable women with diabetes walked with reduced velocity, cadence, step length and with

increased stance time, compared to healthy women, which was not observed in our study (32). This difference could be explained even if the same frailty criteria were applied. Indeed, our study included 27 participants compared to a sample of 203 diabetes participants in the study by Kirkwood et al., where only self-selected pace gait was assessed, whereas the current study included preferred pace and fast pace, which limits the generalization of these results in different way.

The absence of significant differences on gait parameters in our study can be explained by several hypotheses. First, our non-frail group has a higher H&Y stage of PD and more severe functional disability than the frail group (Table 1). Even if the difference is not significant, this suggests that the non-frail group is more likely to have a bilateral or midline involvement of PD instead of a unilateral, which would potentially reduce balance compared to the frail group. Also, non-frail group had a lower confidence in their gait capacities compared to the frail group, which can be counterintuitive. This could reduce gait performance in the non-frail group because some studies report that fear or perception of falls could impact more functional mobility in older adults than static, as for example in the study by Kumar et al. (2008) (33). Indeed, fear of falling can lead to decreased functional mobility and avoidance of physical activity, associated with gait impairment (34, 35). These phenomena could reduce differences between frail and non-frail groups and lead to non-significant differences in this study.

Our results do not suggest significative differences between sexes in balance in PD population. Some results, as A-COP, tend to indicate poorer postural control in men, which would agree with previous literature, but these results are not significant. However, our results differ from Espinoza-Araneda et al. (2022) (36), who reported a significant difference in balance between older men and women (36). Espinoza-Araneda et al. (2022) assessed 123 adults without specific conditions with a force platform under different conditions (eyes opened and closed, hard and soft surfaces). The A-COP was collected as COP parameter. Men presented poor postural control ($p < 0.001$) than women, in all conditions. Sample size could explain the

discrepancies between those results and ours, as well as a probable type-2 error in our study because we observed higher COP values in men (worse postural control for A-COP) with a 28%Δ of difference than women.

One explanation if a true difference exists for postural control between sexes could be a smaller somatosensory and proprioceptive decline in women compared to men, impacting balance (37). Another explanation may be anthropometric characteristics differences such as height. Men tend to be taller, elevating the center of mass and increases balance strategies, compared to women (37). Both groups were, however, homogeneous in our study with regards to anthropometric characteristics.

With regards to gait, a study by Park et al. (2018) showed no significant differences between sexes after adjusting for height as a covariate (38). This, even if older women walk with shorter stride length, step length and longer double support in this study (38). Another study demonstrated that the only significant difference between sexes was step width, which was wider in men (39). Some results of this work could be explained by this adjusting for height as covariate. Moreover, women are diagnosed with PD later than men, which may be associated to a later development of PD. In women, the development of PD may be delayed by a neuroprotective effect of sex hormones, especially estrogens (40-43). This also impacts the severity of PD and its complications. Indeed, Angelopoulou et al. (2022) demonstrated that early-onset PD presents more motor complications (motor fluctuations and hyperkinesia), compared to mid-and-late-onset PD (44). This supports Lubomski et al. (2014), indicating that women presented a lower disease burden and less severe symptoms (45). Thus, a difference in age at onset between sexes could explain some of our results on comparative gait parameters, in men and women.

Finally, some limits would be addressed as low sample size related to women. We could not reach the required estimated sample size to achieve statistical power (a minimal of

14 to 16 by group), which could explain the lack of significant differences for some variables and conditions. Also, results of this study do not represent all PD people, but mainly those with stage 1 and 2 and less pronounced cognitive disorders.

As perspectives, this study presents a balance and gait protocol that can be useful to make better clinical decisions in rehabilitation. Clinicians must consider frailty and biological sex differences in PD. Prescribing exercise could be more optimal with this information to classify frailty, balance and gait conditions that would be more sensitive to determine cause-effect in an intervention point of view. This scenario instructs clinicians to better classify the more affected individuals (frail, vulnerable, at higher risk of falls) and start a rehabilitation program in a timely manner, with aims for sustained improvement in health for older individuals with PD.

3.7 CONCLUSION

This study found that differences exist on postural control between frail and non-frail older adults with PD but not on gait parameters. Furthermore, women differ from men in walking parameters, while frailty does not influence gait.

3.8 REFERENCES

1. Arcand M, Hébert R. Précis pratique de gériatrie. 3rd ed ed. Canada2007. 1270 p.
2. Mirelman A, Bonato P, Camicioli R, Ellis TD, Giladi N, Hamilton JL, et al. Gait impairments in Parkinson's disease. *Lancet Neurol*. 2019;18(7):697-708.
3. Rockwood K, Mitnitski A. Frailty defined by deficit accumulation and geriatric medicine defined by frailty. *Clin Geriatr Med*. 2011;27(1):17-26.
4. Ruiz-Ruiz L, Jimenez AR, Garcia-Villamil G, Seco F. Detecting Fall Risk and Frailty in Elders with Inertial Motion Sensors: A Survey of Significant Gait Parameters. *Sensors [Internet]*. 2021; 21(20).
5. Dallaire M, Gagnon G, Fortin E, Nepton J, Severn AF, Cote S, et al. The Impact of Parkinson's Disease on Postural Control in Older People and How Sex can Mediate These Results: A Systematic Review. *Geriatrics (Basel)*. 2021;6(4).
6. Hoehn MM, Yahr MD. Parkinsonism: onset, progression and mortality. *Neurology*. 1967;17(5):427-42.
7. Rennie L, Löfgren N, Moe-Nilssen R, Opheim A, Dietrichs E, Franzén E. The reliability of gait variability measures for individuals with Parkinson's disease and healthy older adults - The effect of gait speed. *Gait Posture*. 2018;62:505-9.

8. Almeida IAd, Terra MB, Oliveira MRd, Silva Júnior RAd, Ferraz HB, Santos SMS. Comparing postural balance among older adults and Parkinson's disease patients. *Motriz: Revista de Educação Física*. 2016;22(4):261-5.
9. Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, et al. Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56(3):M146-56.
10. Opara J, Małeckki A, Małeckka E, Socha T. Motor assessment in Parkinson's disease. *Ann Agric Environ Med*. 2017;24(3):411-5.
11. Trivedi D. Cochrane Review Summary: Mini-Mental State Examination (MMSE) for the detection of dementia in clinically unevaluated people aged 65 and over in community and primary care populations. *Prim Health Care Res Dev*. 2017;18(6):527-8.
12. Yardley L, Beyer N, Hauer K, Kempen G, Piot-Ziegler C, Todd C. Development and initial validation of the Falls Efficacy Scale-International (FES-I). *Age Ageing*. 2005;34(6):614-9.
13. Pereira C, Da Silva RA, de Oliveira MR, Souza RDN, Borges RJ, Vieira ER. Effect of body mass index and fat mass on balance force platform measurements during a one-legged stance in older adults. *Aging Clin Exp Res*. 2018;30(5):441-7.
14. Belvisi D, Canevelli M, Costanzo M, Giangrosso M, Fabbrini A, Borraccino A, et al. The role of frailty in Parkinson's disease: a cross-sectional study. *J Neurol*. 2022;269(6):3006-14.
15. da Silva RA, Bilodeau M, Parreira RB, Teixeira DC, Amorim CF. Age-related differences in time-limit performance and force platform-based balance measures during one-leg stance. *J Electromyogr Kinesiol*. 2013;23(3):634-9.
16. Vieira ER, Da Silva RA, Severi MT, Barbosa AC, Amick lii BC, Zevallos JC, et al. Balance and Gait of Frail, Pre-Frail, and Robust Older Hispanics. *Geriatrics (Basel)*. 2018;3(3).
17. Beijer TR, Lord SR, Brodie MA. Comparison of handheld video camera and GAITRite® measurement of gait impairment in people with early stage Parkinson's disease: a pilot study. *J Parkinsons Dis*. 2013;3(2):199-203.
18. de Oliveira FCL, Larivière C, Dallaire M, Mecheri H, Ngomo S, da Silva RA. Immediate Effect of Lumbosacral Orthosis and Abdominal Drawing-In Maneuver on Postural Control in Adults With Nonspecific Chronic Low Back Pain. *J Manipulative Physiol Ther*. 2022;45(6):425-35.
19. Richer L, Fortin E, Gagnon G, Ngomo S, Fernandes KBP, Cortis C, et al. Impact of plantar fasciitis on postural control and walking in young middle-aged adults. *Foot (Edinb)*. 2022;53:101951.
20. Portney LG, Watkins MP. *Foundations of Clinical Research Applications to Practice*. 2nd Edition ed. Upper Saddle River, New Jersey 2000.
21. Thiede R, Toosizadeh N, Mills JL, Zaky M, Mohler J, Najafi B. Gait and balance assessments as early indicators of frailty in patients with known peripheral artery disease. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2016;32:1-7.
22. Porto JM, Nakaishi APM, Cangussu-Oliveira LM, Freire Junior RC, Spilla SB, Abreu DCC. Relationship between grip strength and global muscle strength in community-dwelling older people. *Arch Gerontol Geriatr*. 2019;82:273-8.
23. Kowalski KL, Boolani A, Christie AD. State and Trait Fatigue and Energy Predictors of Postural Control and Gait. *Motor Control*. 2021;25(3):519-36.
24. Song Q, Zhang X, Mao M, Sun W, Zhang C, Chen Y, et al. Relationship of proprioception, cutaneous sensitivity, and muscle strength with the balance control among older adults. *J Sport Health Sci*. 2021;10(5):585-93.
25. Leng SX, Xue QL, Tian J, Walston JD, Fried LP. Inflammation and frailty in older women. *J Am Geriatr Soc*. 2007;55(6):864-71.
26. Hubbard RE, O'Mahony MS, Savva GM, Calver BL, Woodhouse KW. Inflammation and frailty measures in older people. *J Cell Mol Med*. 2009;13(9b):3103-9.
27. Qu T, Yang H, Walston JD, Fedarko NS, Leng SX. Upregulated monocytic expression of CXC chemokine ligand 10 (CXCL-10) and its relationship with serum interleukin-6 levels in the syndrome of frailty. *Cytokine*. 2009;46(3):319-24.
28. Fried LP, Xue QL, Cappola AR, Ferrucci L, Chaves P, Varadhan R, et al. Nonlinear multisystem physiological dysregulation associated with frailty in older women: implications for etiology and treatment. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2009;64(10):1049-57.

29. Chaves PH, Semba RD, Leng SX, Woodman RC, Ferrucci L, Guralnik JM, et al. Impact of anemia and cardiovascular disease on frailty status of community-dwelling older women: the Women's Health and Aging Studies I and II. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2005;60(6):729-35.
30. Wolfson L, Judge J, Whipple R, King M. Strength is a major factor in balance, gait, and the occurrence of falls. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995;50 Spec No:64-7.
31. Orr R. Contribution of muscle weakness to postural instability in the elderly. A systematic review. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2010;46(2):183-220.
32. Kirkwood RN, Borém IL, Sampaio RF, Ferreira VKG, de Almeida JC, Guimarães SBB, et al. Frailty Status and Gait Parameters of Older Women With Type 2 Diabetes. *Can J Diabetes.* 2019;43(2):121-7.
33. Kumar S, Vendhan GV, Awasthi S, Tiwari M, Sharma V. Relationship between fear of falling, balance impairment and functional mobility in community dwelling elderly. *Indian J Phys Med Rehabil.* 2008;19(2):48-52.
34. Franchignoni F, Martignoni E, Ferriero G, Pasetti C. Balance and fear of falling in Parkinson's disease. *Parkinsonism Relat Disord.* 2005;11(7):427-33.
35. Murphy SL, Williams CS, Gill TM. Characteristics associated with fear of falling and activity restriction in community-living older persons. *J Am Geriatr Soc.* 2002;50(3):516-20.
36. Espinoza-Araneda J, Bravo-Carrasco V, Álvarez C, Marzuca-Nassr GN, Muñoz-Mendoza CL, Muñoz J, et al. Postural Balance and Gait Parameters of Independent Older Adults: A Sex Difference Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(7).
37. Puszczalowska-Lizis E, Bujas P, Jandzis S, Omorczyk J, Zak M. Inter-gender differences of balance indicators in persons 60-90 years of age. *Clin Interv Aging.* 2018;13:903-12.
38. Park YS, Kim JW, Kwon Y, Kwon MS. Effect of Age and Sex on Gait Characteristics in the Korean Elderly People. *Iran J Public Health.* 2018;47(5):666-73.
39. Porta M, Pilloni G, Arippa F, Casula C, Cossu G, Pau M. Similarities and Differences of Gait Patterns in Women and Men With Parkinson Disease With Mild Disability. *Arch Phys Med Rehabil.* 2019;100(11):2039-45.
40. Nirola A, Batra P, Kaur J. Ascendancy of sex hormones on periodontium during reproductive life cycle of women. *Journal of the International Clinical Dental Research Organization.* 2018;10(1).
41. Haaxma CA, Bloem BR, Borm GF, Oyen WJ, Leenders KL, Eshuis S, et al. Gender differences in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2007;78(8):819-24.
42. Georgiev D, Hamberg K, Hariz M, Forsgren L, Hariz GM. Gender differences in Parkinson's disease: A clinical perspective. *Acta Neurol Scand.* 2017;136(6):570-84.
43. Lee JJ, Ham JH, Lee PH, Sohn YH. Gender Differences in Age-Related Striatal Dopamine Depletion in Parkinson's Disease. *J Mov Disord.* 2015;8(3):130-5.
44. Angelopoulou E, Bozi M, Simitsi AM, Koros C, Antonelou R, Papagiannakis N, et al. Clinical differences between early-onset and mid-and-late-onset Parkinson's disease: Data analysis of the Hellenic Biobank of Parkinson's disease. *J Neurol Sci.* 2022;442:120405.
45. Lubomski M, Louise Rushworth R, Lee W, Bertram KL, Williams DR. Sex differences in Parkinson's disease. *J Clin Neurosci.* 2014;21(9):1503-6.

3.9 FIGURES

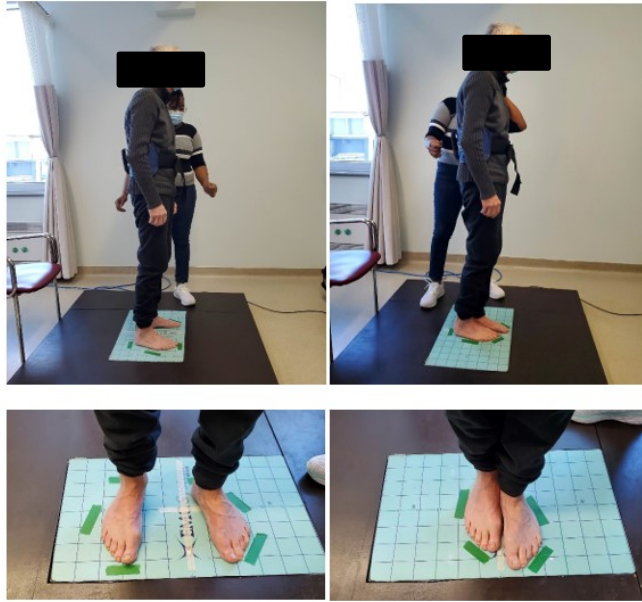


Figure 10. Illustration of protocol under force platform. Two-foot positions were used across four experimental conditions: Bipodal (left in the picture) and semi-tandem (right in the picture) using standardized measurement to assure foot position in each trial.



Figure 11. Illustration of protocol on GAITRite® system walkway.

3.10 TABLES

Tableau 4. Characteristics of the participants and measurements (means \pm standard deviations)

Variables	Men n = 18	Women n = 9	Test-t (<i>p</i>)	Non-frail n = 17	Frail n = 10	Test-t (<i>p</i>)	Total n = 27
Age (years)	68.25 \pm 4.50	69.83 \pm 8.70	0.146	69.94 \pm 6.21	67.90 \pm 6.86	0.606	69.19 \pm 6.04
Weight (kg)	76.36 \pm 11.69	64.11 \pm 6.63	0.628	70.52 \pm 22.23	76.60 \pm 14.74	0.701	72.77 \pm 19.70
Height (m)	1.72 \pm 0.06	1.60 \pm 0.08	0.065	1.68 \pm 0.08	1.67 \pm 0.10	0.374	1.68 \pm 0.08
BMI (kg/m ²)	25.91 \pm 3.51	25.18 \pm 3.26	0.764	26.06 \pm 5.23	27.38 \pm 3.63	0.183	26.55 \pm 4.67
Grip strength (kg)	33.30 \pm 5.95	19.63 \pm 3.73	0.072	31.37 \pm 8.75	25.65 \pm 6.30	0.174	29.25 \pm 8.29
H&Y Stage	2.21 \pm 0.99 (n=12)	1.67 \pm 0.82 (n=6)	0.485	2.28 \pm 0.91 (n=9)	1.78 \pm 0.97 (n=9)	0.644	2.03 \pm 0.95 (n=18)
Total Score M- FES	8.80 \pm 1.89	8.07 \pm 1.87	0.917	8.87 \pm 1.01	8.00 \pm 2.35	0.024	8.55 \pm 1.76 (n=21)
Total Score MMSE	26.83 \pm 3.38	28.14 \pm 2.07	0.149	27.53 \pm 3.30	26.78 \pm 3.16	0.675	27.25 \pm 3.21

BMI: Body Mass Index; H&Y: Hoehn and Yahr's stage (2, 13); M-FES: Modified Falls Efficacy Scale (18); MMSE: Mini Mental State Examination (17).

Tableau 5. Force platform parameters of Parkinson's Disease participants according to frailty status (means \pm standard deviations)

Variable	Group	Experimental condition				<i>p</i> MANOVA		
		BPOE (1)	BPCE (2)	STOE (3)	STCE (4)	Frailty group	Experimental condition	Interaction
	Frail (n=10)							
	Non-frail (n=17)							
A-COP (cm ²)	Frail	4.62 ± 6.51	7.00 ± 8.97	8.70 ± 5.65	16.69 ± 9.35	0.013	< 0.001 ‡4 > 1, 2	0.763
	Non-frail	1.84 ± 1.88	4.30 ± 8.27	5.89 ± 3.09	9.73 ± 6.56			
VEL AP (cm/s)	Frail	1.13 ± 0.59	1.59 ± 0.92	1.67 ± 0.87	2.57 ± 1.21	0.048	< 0.001 ‡4 > 1, 2, 3	0.951
	Non-frail	0.86 ± 0.32	1.33 ± 0.64	1.30 ± 0.57	2.01 ± 0.80			
VEL ML (cm/s)	Frail	1.10 ± 0.52	1.24 ± 0.65	2.13 ± 0.65	3.64 ± 1.44	0.138	< 0.001 ‡3 > 1, 2 ‡4 > 1, 2, 3	0.733
	Non-frail	0.88 ± 0.35	1.16 ± 0.80	1.66 ± 0.36	2.56 ± 0.88			
MF AP (Hz)	Frail	0.37 ± 0.18	0.39 ± 0.21	0.42 ± 0.18	0.45 ± 0.09	0.494	0.153	0.707
	Non-frail	0.28 ± 0.10	0.39 ± 0.17	0.37 ± 0.18	0.48 ± 0.14			
MF ML (Hz)	Frail	0.52 ± 0.20	0.46 ± 0.08	0.38 ± 0.09	0.49 ± 0.11	0.042	< 0.001 ‡4 > 1, 2	0.054
	Non-frail	0.67 ± 0.25	0.72 ± 0.28	0.34 ± 0.07	0.48 ± 0.09			

A-COP: 95% confidence ellipse area of center of pressure (COP); VEL: COP velocity; AP: Anteroposterior; ML: Mediolateral; MF: Mean frequency; BP: Bipodal; ST: Semi tandem; OE: Opened eyes; CE: Closed eyes; SD: Standard deviation.

‡Significant differences among experimental conditions ($p < 0.01$) and localized by *Post hoc* of Tuckey

Tableau 6. Force platform parameters of Parkinson's Disease participants according to sex
(means \pm standard deviations)

Variable	Group	Experimental condition				<i>p</i> MANOVA		
		Men (n=18)	BPOE (1)	BPCE (2)	STOE (3)	STCE (4)	Sex group	Experimental condition
A-COP (cm ²)	Men	3.22 \pm 4.65	6.32 \pm 9.36	6.90 \pm 4.49	12.20 \pm 8.38	0.455	<0.001 ‡4 > 1, 2, 3	0.669
	Women (n=9)	2.48 \pm 3.62	6.68 \pm 13.41	7.28 \pm 4.32	17.52 \pm 11.94			
VEL AP (cm/s)	Men	1.02 \pm 0.50	1.54 \pm 0.80	1.43 \pm 0.67	2.38 \pm 1.41	0.821	<0.001 ‡4 > 1, 2, 3	0.986
	Women	1.05 \pm 0.55	1.38 \pm 0.89	1.44 \pm 0.62	2.32 \pm 1.13			
VEL ML (cm/s)	Men	0.96 \pm 0.46	1.25 \pm 0.81	1.74 \pm 0.54	2.91 \pm 1.26	0.555	<0.001 ‡3 > 1, 2 ‡4 > 1, 2, 3	0.875
	Women	0.83 \pm 0.12	0.94 \pm 0.27	1.82 \pm 0.45	2.85 \pm 1.21			
MF AP (Hz)	Men	0.30 \pm 0.11	0.39 \pm 0.17	0.38 \pm 0.16	0.49 \pm 0.17	0.204	0.078	0.838
	Women	0.41 \pm 0.19	0.41 \pm 0.20	0.42 \pm 0.19	0.52 \pm 0.24			
MF ML (Hz)	Men	0.62 \pm 0.27	0.66 \pm 0.27	0.36 \pm 0.08	0.51 \pm 0.09	0.068	0.024 ‡3 > 1, 2	0.514
	Women	0.55 \pm 0.13	0.48 \pm 0.13	0.37 \pm 0.09	0.42 \pm 0.14			

A-COP: 95% confidence ellipse area of center of pressure (COP); VEL: COP velocity; AP: Anteroposterior; ML: Mediolateral; MF: Mean frequency; BP: Bipodal; ST: Semi tandem; OE: Opened eyes; CE: Closed eyes; SD: Standard deviation.

‡Significant differences among experimental conditions ($p < 0.01$) and localized by *Post hoc* of Tuckey

Tableau 7. GAITRite parameters of Parkinson's Disease participants according to frailty status
(means \pm standard deviations)

Variable	Group	Experimental condition	<i>p</i> MANOVA			
	Frail (n=10) Non-frail (n=17)	Preferred velocity	Fast velocity	Frailty group	Experimental condition	Interaction
Velocity (cm/s)	Frail	102.9 \pm 26.06	142.31 \pm 31.50	0.701	<0.001	0.791
	Non-frail	98.17 \pm 14.45	141.44 \pm 28.09			
Cadence (steps/min)	Frail	101.82 \pm 8.51	121.94 \pm 11.94	0.912	<0.001	0.825
	Non-frail	104.60 \pm 5.81	126.13 \pm 10.15			
Step Length (cm)	Frail	58.49 \pm 9.35	69.00 \pm 13.27	0.374	<0.001	0.845
	Non-frail	55.11 \pm 8.06	66.64 \pm 8.06			
BOS (cm)	Frail	7.06 \pm 2.56	7.67 \pm 3.11	0.984	0.763	0.578
	Non-frail	7.47 \pm 2.10	7.29 \pm 2.21			
Step Time (s)	Frail	0.60 \pm 0.05	0.48 \pm 0.03	0.258	<0.001	0.859
	Non-frail	0.56 \pm 0.04	0.48 \pm 0.03			
Oscillation Time (s)	Frail	0.42 \pm 0.03	0.37 \pm 0.03	0.084	0.015	0.807
	Non-frail	0.37 \pm 0.58	0.34 \pm 0.03			
Support Time (s)	Frail	0.77 \pm 0.08	0.60 \pm 0.11	0.179	<0.001	0.968
	Non-frail	0.70 \pm 0.09	0.56 \pm 0.08			
SLS (s)	Frail	0.40 \pm 0.06	0.36 \pm 0.03	0.086	0.016	0.789
	Non-frail	0.37 \pm 0.06	0.34 \pm 0.06			
DLS (s)	Frail	0.34 \pm 0.09	0.24 \pm 0.05	0.556	<0.001	0.809
	Non-frail	0.33 \pm 0.06	0.22 \pm 0.04			
Step Width (cm)	Frail	59.59 \pm 9.18	69.88 \pm 13.45	0.354	0.001	0.873

Non-frail 60.37 ±5.56 74.28 ±5.88

BOS: Base of support; SLS: Single limb support; DLS: Double limb support.

Tableau 8. GAITRite parameters of Parkinson's Disease participants according to sex (means \pm standard deviations)

Variable	Group	Experimental condition		<i>p</i> MANOVA		
		Men (n=18) Women (n=9)	Preffered velocity	Fast velocity	Sex group	Experimental condition
Velocity (cm/s)	Men	104.13 \pm 18.45	146.87 \pm 27.65	0.108	<0.001	0.744
	Women	94.70 \pm 21.03	132.71 \pm 29.80			
Cadence (steps/min)	Men	102.82 \pm 7.70	120.23 \pm 12.21	0.128	<0.001	0.247
	Women	103.98 \pm 10.50	128.61 \pm 10.81			
Step Length (cm)	Men	58.07 \pm 7.94	70.21 \pm 11.17	0.020	0.002	0.395
	Women	53.53 \pm 8.86	60.66 \pm 11.23			
BOS (cm)	Men	7.58 \pm 2.18	8.03 \pm 2.31	0.038	0.773	0.352
	Women	6.77 \pm 2.17	5.92 \pm 2.69			
Step Time (s)	Men	0.56 \pm 0.06	0.48 \pm 0.04	0.671	<0.001	0.270
	Women	0.57 \pm 0.05	0.46 \pm 0.03			
Oscillation Time (s)	Men	0.38 \pm 0.06	0.35 \pm 0.05	0.971	0.009	0.466
	Women	0.39 \pm 0.04	0.34 \pm 0.04			
Support Time (s)	Men	0.70 \pm 0.11	0.57 \pm 0.07	0.503	<0.001	0.439
	Women	0.73 \pm 0.08	0.57 \pm 0.04			
SLS (s)	Men	0.38 \pm 0.06	0.35 \pm 0.05	0.983	0.009	0.453
	Women	0.39 \pm 0.04	0.34 \pm 0.04			
DLS (s)	Men	0.32 \pm 0.06	0.22 \pm 0.04	0.198	<0.001	0.482
	Women	0.35 \pm 0.08	0.24 \pm 0.05			

Step Width (cm)	Men	59.21 ±7.80	71.20 ±11.18	0.014	0.002	0.392
	Women	54.37 ±8.61	61.37 ±11.00			

BOS: Base of support; SLS: Single limb support; DLS: Double limb support.

CHAPITRE 4

DISCUSSION

Le but de cette étude a été d'évaluer l'impact du niveau de fragilité sur le contrôle postural, via l'évaluation sur plateforme de force, et sur les paramètres de la marche, évalués sur le GAITRite, chez les personnes âgées atteintes de la maladie de Parkinson. S'ajoute à cela, l'objectif secondaire qui était de déterminer comment le sexe biologique de l'individu, soit homme ou femme, influence-t-il ces résultats. Selon les résultats obtenus lors des conditions expérimentales, la présence ou l'absence de fragilité mène à des différences en termes de contrôle postural chez l'individu âgé atteint de la maladie de Parkinson alors que les paramètres de la marche restent similaires entre les deux groupes (fragiles et non-fragiles). Le sexe de l'individu, quant à lui, influence les paramètres de marche alors qu'aucune différence significative n'a été observée pour le contrôle postural. Ces résultats mettent de l'avant l'importance d'optimiser la capacité des professionnels cliniciens, comme les physiothérapeutes, à mieux cibler les usagers vulnérables lors de l'évaluation en réadaptation pour mieux entraîner l'équilibre et la marche durant les programmes de réadaptation, en étant plus spécifique lors de la prescription d'exercices selon l'impact de fragilité de chacun.

La principale force de cette étude relève de l'intégration, dans un même protocole de recherche expérimental, de l'évaluation du contrôle postural et des paramètres de la marche utilisant des appareils de haute technologie, comme la plateforme de force et le système de marche GAITRite et de bien explorer l'état de fragilité chez les individus atteints de la maladie de Parkinson. En plus des équipements d'évaluation utilisés, les comparaisons de données se font entre un groupe fragile et un non-fragile sans oublier les comparaisons entre le groupe d'hommes et celui de femmes. Il s'agit ici de la première étude à intégrer tous ces concepts au sein de la même démarche scientifique. Comme il s'agit de la première étude à intégrer l'ensemble de ces concepts, la discussion des résultats devient davantage ardue pour une comparaison avec un devis similaire incluant la clientèle parkinsonienne fragile. Ainsi, nous

allons plutôt procéder en mettant en parallèle nos résultats à ceux d'autres articles de la littérature qui font également la comparaison entre la population fragile et celle non-fragile. Il sera davantage possible d'en comprendre l'implication et de déterminer leur impact.

4.1 IMPACT DE LA FRAGILITE SUR LE CONTROLE POSTURAL ET LA MARCHE

Les résultats de cette étude sont en partie en accord avec certains travaux et en désaccord avec d'autres (Thiede et al., 2016; Toosizadeh et al., 2015). L'étude de Thiede et al. (2016) a évalué l'impact de la fragilité sur le contrôle postural chez les individus de plus de 55 ans atteints d'une maladie artérielle périphérique. Cette étude n'a démontré aucune différence significative entre les groupes évalués alors que le présent projet a mis en évidence des différences significatives en faveur du groupe non-fragile, soit un meilleur contrôle postural pour les individus non-fragiles pour les paramètres A-COP, VEL AP et MF ML. Cette inconsistance entre les résultats de l'étude de Thiede et al. (2016) et les nôtres peuvent provenir de différents facteurs. Tout d'abord, cette étude n'a inclus aucun participant fragile, mais exclusivement des participants en contexte de pré-fragilité (n = 17) alors que notre étude comparait la fragilité à l'absence de fragilité. Ceci peut nous porter à croire que les individus pré-fragiles, qui sont donc moins impactés par la fragilité, présenteraient une condition physique (ex. contrôle postural et marche) moins altérée que les individus fragiles et, lorsque comparés à un groupe sain, il y aurait moins de différences. Rappelons également que la fragilité, selon Fried, s'évalue sur la base de cinq critères et dont un nombre de 3 critères ou plus sont nécessaires pour établir un contexte de fragilité. Ainsi, 3 critères remplis pourraient varier d'un individu à l'autre et mener à une présentation de capacités physiques différentes. Ensuite, les participants de l'étude de Thiede et al. (2016) sont des individus ayant été diagnostiqués avec une maladie artérielle périphérique plutôt que la maladie de Parkinson, comme notre étude. Nous savons que la maladie de Parkinson entraîne, dans sa présentation clinique, des déficiences qui peuvent résulter en une altération de l'équilibre et de la marche. Toutefois, il y a possiblement une différence dans l'ampleur de la présentation des altérations

du contrôle postural et de la marche entre les individus parkinsoniens et ceux atteints de maladie artérielle périphérique. Aussi, les outils d'évaluation utilisés entre l'étude de Thiede et al. (2016) et la nôtre diffèrent. En effet, l'étude de Thiede et al. (2016) a fait l'utilisation, pour l'évaluation du contrôle postural, d'une technologie de senseurs portatifs fonctionnant avec un accéléromètre tri-axial et un gyroscope tri-axial alors que notre étude a fait l'usage d'une plateforme de force quantifiant les paramètres du centre de pression.

Les différences significatives entre les participants fragiles et non-fragiles s'expliquent possiblement par différents facteurs. En effet, la réduction de force de préhension et l'épuisement sont deux facteurs contributifs importants aux caractéristiques de la fragilité. Tout d'abord, nous savons que la force de préhension est un indicateur important de la force globale d'une personne âgée (Porto et al., 2019). En effet, une force de préhension réduite pointe en direction d'une faiblesse musculaire globale chez cette clientèle (Porto et al., 2019). Dans un contexte de fragilité, la force de préhension est également réduite comparativement à un individu non-fragile, ce qui nous porte à croire à une réduction globale de la force musculaire de l'individu fragile (Fried et al., 2001). Pour corroborer ces éléments, dans la présente étude, la force de préhension des participants non-fragiles est supérieure de 18 % ($d = 0,65$) comparativement à ceux fragiles. Ainsi, nous pouvons considérer que les participants fragiles présentent une faiblesse musculaire globale davantage marquée que les participants non-fragiles ce qui, en retour, pourrait impacter négativement le contrôle postural de ceux-ci. Effectivement, des études antérieures ont su démontrer l'association entre une faiblesse musculaire et un contrôle postural réduit (Song et al., 2021). En effet, une diminution du contrôle musculaire actif, ou faiblesse musculaire, peut entraîner une difficulté accrue à maintenir les segments corporels dans l'axe adéquat permettant de maintenir une posture d'équilibre adéquate (Hoffman & Gabel, 2013; Toosizadeh et al., 2015). Aussi, certains autres facteurs contributifs à la fragilité pourraient induire une réduction de force et de masse musculaire via la sarcopénie. La sarcopénie se caractérise par une perte accélérée de la masse musculaire et de la fonction associée à ces muscles (Cruz-Jentoft & Sayer, 2019). Des

études ont démontré que la présence d'inflammation chronique et des changements dans l'activation immunitaire chez les individus fragiles contribuent à la sarcopénie qui, conséquemment, affecte le contrôle postural (Fried et al., 2005; Lipsitz, 2002).

Comme pour la force de préhension, l'épuisement, ou la fatigue, fait partie des critères d'évaluation de la fragilité selon Fried. Il devient ainsi un élément important à considérer lorsqu'on aborde le contrôle postural en contexte de fragilité. En effet, la fatigue est démontrée comme affectant le contrôle postural, et ce, négativement (Brahms et al., 2022; Chen & Chou, 2022; Jo & Bilodeau, 2021; Pitts & Bhatt, 2023). Effectivement, selon différentes études, la fatigue entraîne un épuisement des ressources attentionnelles ou une réduction de la perception sensorimotrice retardant les réponses d'ajustements posturaux et entraînant une altération du contrôle moteur (Kowalski et al., 2021; Pitts & Bhatt, 2023). De par ce facteur, il est possible de croire que les individus fragiles présenteraient un risque accru d'altération négative de leur contrôle postural comparativement à ceux non-fragiles.

En contrepartie, la fragilité ne semble pas avoir d'impact sur les paramètres de marche des personnes âgées atteintes de la maladie de Parkinson. Aucune étude n'a été réalisée auprès de la population atteinte de la maladie de Parkinson, mais il est possible de comparer avec d'autres populations. Une étude a démontré une différence significative sur les paramètres de marche chez les femmes âgées avec le diabète de type II fragiles et non-fragiles (Kirkwood et al., 2019). Les femmes âgées avec le diabète de type II marchent avec une vitesse diminuée, une cadence réduite, une longueur de pas inférieure et une augmentation du temps en appui au sol comparativement aux femmes âgées sans diabète, ce qui n'a pas été observé chez la clientèle atteinte de la maladie de Parkinson. Cette divergence entre les résultats de notre étude et celle-ci peuvent s'expliquer par différents facteurs, et ce, même si les critères de fragilité de Fried ont été appliqués. Tout d'abord, notre étude comporte un total de 27 participants comparativement à un total de 203 participantes dans celle de Kirkwood et al. (2019). Le protocole de l'étude de Kirkwood et al. (2019) a seulement fait

l'évaluation de la marche à vitesse auto-déterminée, soit la vitesse choisie par la participante. Notre étude a fait l'évaluation de la marche à une vitesse habituelle du participant ainsi que celle à une vitesse rapide, limitant la généralisation des résultats lorsque le protocole expérimental est considéré. De plus, les différences entre la pathologie même des échantillons peut aussi être à l'origine des différences entre la population à l'étude dans l'article ainsi que celle présente dans notre étude.

De plus, l'absence de différence significative dans notre étude pourrait s'expliquer par d'autres hypothèses. Comme nous le savons, la maladie de Parkinson impacte le contrôle postural et les paramètres de marche, ceci dit, la gravité, quant à elle, va impacter sur la mesure dans laquelle le contrôle postural et les paramètres de marche seront affectés. Une maladie de Parkinson plus grave entraîne des déficiences davantage importantes au niveau des capacités physiques de l'individu selon le stade de Hoehn & Yarh (H&Y). Dans le présent projet, la maladie de Parkinson est davantage grave chez le groupe d'individus non-fragiles. Ceci suggère, en se référant au stade de H&Y, une plus importante incapacité fonctionnelle chez le groupe non-fragile, soit d'avoir une atteinte bilatérale de la maladie de Parkinson et, donc, une réduction de la performance de l'équilibre comparativement au groupe fragile, même si cette différence est non significative (Hoehn & Yahr, 1967). Un autre facteur important est le score au M-FES, évaluant la confiance de l'individu envers sa capacité à maintenir son équilibre. Effectivement, les participants du groupe non-fragile présentent une confiance en leur capacité à maintenir l'équilibre inférieure à celle des individus fragiles. Cet élément concorde avec la réduction de la performance de la marche dans le groupe non-fragile. Certaines études ont rapporté que la peur ou la perception de chuter pouvait impacter négativement la marche et la mobilité fonctionnelle chez l'adulte âgé (Kumar et al., 2008). En effet, la peur de chuter peut entraîner à une diminution de la mobilité fonctionnelle et à des comportements d'évitement de l'activité physique, qui sont associés à l'incapacité de la marche (Franchignoni et al., 2005; Murphy et al., 2002). Comme dans la présente étude ces facteurs

différent du groupe fragile et non-fragile, ceci peut mener à une réduction de, du moins influencer, l'écart réel entre les deux groupes et entraîner des différences non-significatives.

4.2 IMPACT DU SEXE SUR LE CONTROLE POSTURAL ET LA MARCHE

Les résultats de l'évaluation du contrôle postural suggèrent que celui-ci ne serait pas médié par le sexe chez les personnes âgées atteintes de la maladie de Parkinson. Toutefois, certains paramètres du centre de pression (COP), comme l'aire du COP (A-COP), pointent en direction d'un contrôle postural inférieur ou réduit chez l'homme comparativement à la femme, ce qui est en accord avec la littérature. Les résultats de la présente étude concordent avec une étude de Espinoza-Araneda et al. (2022), dans laquelle des différences significatives du contrôle postural sont rapportées entre les hommes et les femmes âgés. Dans l'étude d'Espinoza et al. (2022), 123 adultes âgés sans condition spécifique ont vu leur contrôle postural évalué par différentes conditions expérimentales (yeux ouverts et fermés, sur surface ferme et molle) via une plateforme de force. Parmi les paramètres évalués du contrôle postural de cette étude, seulement l'aire de l'ellipse de 95 % de la dispersion des données (A-COP) a été collectée. Les résultats démontrent que les hommes présentent un contrôle postural inférieur à celui des femmes ($p < 0.001$) dans chacune des conditions expérimentales. Il est possible que la taille de notre échantillon, 18 hommes et 9 femmes, soit à l'origine ces divergences entre notre étude et la littérature et, probablement, la présence d'une erreur de type 2 dans notre étude. En effet, nous pouvons observer que les hommes présentent des paramètres du COP plus élevés, soit représentant un pauvre contrôle postural, comparativement aux femmes. Ces différences entre les sexes représentent une moyenne de 28 %.

Des différences du contrôle postural entre les hommes et les femmes serait associée à un plus petit déclin somatosensoriel et proprioceptif chez les femmes âgées comparativement aux hommes âgés, ce qui entraîne un impact sur l'équilibre (Puszczalowska-

Lizis et al., 2018). En effet, nous savons que l'équilibre provient de l'intégration sensorielle des informations somatosensorielles/proprioceptives, visuelle et vestibulaire (Bronstein, 2016; Pasma et al., 2014; Peterka, 2018). Nous savons également que l'altération de ces systèmes sensoriels entraîne l'altération du contrôle postural. Avec le vieillissement, la diminution du nombre et de la densité des fibres nerveuses et la dégénérescence axonale seraient à l'origine de ce déclin de la proprioception chez l'humain (Dorfman & Bosley, 1979; Gilman, 2002). Comme ce déclin serait plus important chez l'homme que chez la femme, ceci entraînerait l'augmentation de la différence du contrôle postural entre les sexes. De plus, un autre facteur à considérer pouvant impacter le contrôle postural provient des caractéristiques anthropométriques, comme la taille des individus. Les hommes sont généralement plus grands que les femmes, ce qui élève le centre de mass et induit une augmentation des stratégies de contrôle postural comparativement aux femmes (Puszczalowska-Lizis et al., 2018). Finalement, certaines études ont mis l'accent sur les différences entre les hommes et les femmes dans la maladie de Parkinson, ces éléments seront discutés dans le prochain paragraphe.

En ce qui concerne la marche, des études ont démontré qu'il n'y a aucune différence significative entre les paramètres de marche des hommes et des femmes âgés de 65 ans et plus après l'ajustement des variables à la taille comme covariable (Park et al., 2018). Ceci, même si, les femmes âgées marchent avec une longueur d'enjambée et de pas plus courte et un plus grand temps de double appui que les hommes (Park et al., 2018). Une autre étude a démontré que le seul paramètre de marche significativement différent entre les hommes et les femmes était la largeur du pas, qui était davantage large chez l'homme (Porta et al., 2019). Ainsi, certains résultats de ce présent travail pourraient s'expliquer par différents mécanismes. Premièrement, le diagnostic de la maladie de Parkinson chez la femme tend à se faire plus tardivement que chez l'homme, ce qui serait associé avec un développement plus tardif de la maladie. Chez la femme, le développement de la maladie de Parkinson serait retardé comparativement à l'homme en raison des hormones sexuelles, plus spécifiquement

l'œstrogène (Nirola et al., 2018). L'œstrogène posséderait des effets neuroprotecteurs sur le système dopaminergique nigrostrié, influençant la pathogenèse de la maladie de Parkinson et, probablement, médiant les différences entre les hommes et les femmes. Les femmes posséderaient en moyenne 16 % plus de liaisons du transporteur de la dopamine striatale que les hommes (Haaxma et al., 2007). Il est aussi important de comprendre que les niveaux d'œstrogène fluctuent au fil du cycle de vie de la femme (Nirola et al., 2018). En effet, un déclin des niveaux d'œstrogènes se fait avec le vieillissement et corrèle avec la perte des effets neuroprotecteurs de l'hormone et la réduction de l'activité du transporteur actif de la dopamine (Georgiev et al., 2017; Lee et al., 2015). Ce mécanisme supporte le plus haut niveau de neurones dopaminergiques chez la femme et supporte le retardement dans l'émergence de la maladie de Parkinson en comparaison à l'homme. Ces éléments concordent également avec l'incidence plus élevée de la maladie chez les personnes âgées (Georgiev et al., 2017; Lee et al., 2015). En retardant l'apparition de la maladie via les effets neuroprotecteurs de l'œstrogène, les femmes seraient moins propices à développer une forme précoce de la maladie de Parkinson. Ceci impacte également la gravité de la maladie de Parkinson ainsi que ses complications. En effet, une forme précoce de la maladie de Parkinson entraîne davantage de complications motrices (hyperkinésie et fluctuations motrices) en comparaison aux formes plus tardives (Angelopoulou et al., 2022). Ces éléments supportent également les conclusions d'une étude de Lubomski et al. (2014) qui a démontré que les femmes présentaient moins de fardeau associé à la maladie et de moins sévères symptômes que les hommes (Lubomski et al., 2014).

4.3 LIMITES DE L'ETUDE

La principale limite de l'étude provient de la petite taille d'échantillon liée aux difficultés de recrutement, principalement au recrutement de femmes âgées atteintes de la maladie de Parkinson. En effet, ce manque de femmes âgées restreint la taille de notre échantillon et nous éloigne de la puissance statistique souhaitée (minimalement 14 à

16 participants par groupe). Les groupes de comparaison étaient malheureusement inégaux : fragile = 10 comparé à non-fragile = 17 et hommes = 18 comparé à femmes = 9). Ceci peut expliquer l'absence de différence entre eux concernant certaines variables et conditions. Toutefois, la représentation de notre échantillon corrèle avec la prévalence de la maladie de Parkinson chez l'homme et la femme. De plus, les résultats de la présente étude ne s'appliquent et ne représentent pas l'entièreté des individus atteints de la maladie de Parkinson. En effet, les résultats peuvent différer pour une clientèle avec un stade de maladie plus grave ou encore la clientèle avec troubles cognitifs plus avancés.

4.4 PERSPECTIVES

Malgré les limites de l'étude, ce projet présente des résultats novateurs et pertinents pour la recherche en plus d'avoir une portée sur l'application clinique. L'étude présente des résultats sur le contrôle postural et les paramètres de marche pouvant être utilisés par les cliniciens dans un but d'optimisation des soins ou d'optimisation des décisions cliniques en réadaptation. De plus, les résultats intègrent l'impact de la fragilité et le potentiel biologique associé aux différences entre les sexes sur l'équilibre et la marche chez la clientèle atteinte de la maladie de Parkinson. Ce scénario se veut facilitant le diagnostic et la classification des individus plus affectés (fragiles, vulnérable, à risque de chutes) permettant ainsi le programme de réadaptation ou le réentraînement de l'équilibre, du patron de marche pour améliorer la mobilité fonctionnelle et la santé globale des individus âgés, et ce, le plus rapidement possible d'une façon plus spécifique au niveau de la prescription d'exercices. Avec ce type de classification ou de dépistage des individus fragiles, la prescription d'exercices pourrait, en effet, être davantage optimale en ce qui concerne l'équilibre et la marche chez cette clientèle et, donc, associée aux stratégies neuromusculaires et biomécaniques nécessaires pour leur récupération.

CONCLUSION

En conclusion, les personnes âgées atteintes de la maladie de Parkinson considérées fragiles présentent une détérioration du contrôle postural alors qu'il n'y aurait pas de différence significative directement sur les paramètres de marche. Ainsi, ceci sous-entend que ces individus fragiles seraient exposés à de plus grands risques de chute que leurs égaux non-fragiles. Lorsque les comparaisons sont faites entre les sexes, les hommes et les femmes présenteraient un contrôle postural similaire alors que les paramètres de marche diffèreraient, rendant les comportements de marche adoptés différents entre les hommes et les femmes âgées atteints de la maladie de Parkinson. Les résultats présentés dans ce mémoire mettent donc de l'avant l'importance de considérer les différences de patron de marche entre les sexes, mais également d'avoir une considération particulière, voire même une priorisation plus importante, pour les usagers atteints de la maladie de Parkinson présentant la fragilité. Le tout exécuté dans un objectif d'optimisation de priorisation des soins de réadaptation et d'optimisation des interventions par les thérapeutes et professionnels de la santé en réadaptation.

BIBLIOGRAPHIE

- Aboutorabi, A., Arazpour, M., Bahramizadeh, M., Hutchins, S. W., & Fadayevaran, R. (2016). The effect of aging on gait parameters in able-bodied older subjects: a literature review. *Aging Clinical and Experimental Research*, 28(3), 393-405. <https://doi.org/10.1007/s40520-015-0420-6>
- Ahlskog, J. E., & Uitti, R. J. (2010). Rasagiline, Parkinson neuroprotection, and delayed-start trials: still no satisfaction? *Neurology*, 74(14), 1143-1148. <https://doi.org/10.1212/WNL.0b013e3181d7d8e2>
- Angelopoulou, E., Bozi, M., Simitsi, A. M., Koros, C., Antonelou, R., Papagiannakis, N., Maniati, M., Poula, D., Stamelou, M., Vassilatis, D. K., Michalopoulos, I., Geronikolou, S., Scarmeas, N., & Stefanis, L. (2022). Clinical differences between early-onset and mid-and-late-onset Parkinson's disease: Data analysis of the Hellenic Biobank of Parkinson's disease. *Journal of the Neurological Sciences*, 442, 120405. <https://doi.org/10.1016/j.jns.2022.120405>
- Arcand, M., & Hébert, R. (2007). *Précis pratique de gériatrie* (3e éd.). Maloine.
- Assar, M. E., Laosa, O., & Rodríguez Mañas, L. (2019). Diabetes and frailty. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, 22(1), 52-57. <https://doi.org/10.1097/mco.0000000000000535>
- Balestrino, R., & Schapira, A. H. V. (2020). Parkinson disease. *European Journal of Neurology*, 27(1), 27-42. <https://doi.org/10.1111/ene.14108>
- Baloh, R. W. (1996). Disequilibrium and gait disorders in older people. *Reviews in Clinical Gerontology*, 6(1), 41-48. <https://doi.org/10.1017/S095925980004470>
- Baloh, R. W., Jacobson, K. M., & Socotch, T. M. (1993). The effect of aging on visual-vestibuloocular responses. *Exp Brain Res*, 95(3), 509-516. <https://doi.org/10.1007/bf00227144>
- Baltich, J., von Tscherner, V., Zandiyeh, P., & Nigg, B. M. (2014). Quantification and reliability of center of pressure movement during balance tasks of varying difficulty. *Gait & Posture*, 40(2), 327-332. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.04.208>
- Beijer, T. R., Lord, S. R., & Brodie, M. A. (2013). Comparison of handheld video camera and GAITRite® measurement of gait impairment in people with early stage Parkinson's disease: a pilot study. *Journal of Parkinson's Disease*, 3(2), 199-203. <https://doi.org/10.3233/jpd-130179>
- Bieuzen, F. (2007). *Influence of the muscular lower properties on the locomotor pattern : efficiency to locomotor deficiency Influence des propriétés musculaires sur un exercice de locomotion humaine : de l'efficience à la déficience motrice* (Publication no. tel-00194541) [Thèse de doctorat]. Université du Sud Toulon Var. <https://doi.org/https://theses.hal.science/tel-00194541>. HAL theses.
- Bloem, B. R. (1992). Postural instability in Parkinson's disease. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, 94, 41-45. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0303-8467\(92\)90018-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0303-8467(92)90018-X)
- Brahms, M., Heinzl, S., Rapp, M., Mückstein, M., Hortobágyi, T., Stelzel, C., & Granacher, U. (2022). The acute effects of mental fatigue on balance performance in healthy young

- and older adults - A systematic review and meta-analysis. *Acta Psychologica*, 225, 103540. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2022.103540>
- Breckenridge, C. B., Berry, C., Chang, E. T., Sielken, R. L., Jr., & Mandel, J. S. (2016). Association between Parkinson's Disease and Cigarette Smoking, Rural Living, Well-Water Consumption, Farming and Pesticide Use: Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS One*, 11(4), e0151841. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151841>
- Bronstein, A. M. (2016). Multisensory integration in balance control. Dans *HandBook of Clinical Neurology* (Éd.), *Neuro-Otology* (1, Vol. 137, pp. 57-66). Shirley Decker-lucke. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63437-5.00004-2>
- Burnfield, J. M., Cesar, G. M., & Norkin, C. C. (2019). Examination of Gait. Dans S. B. O'Sullivan, T. J. Schmitz, & G. Fulk (Éds.), *Physical Rehabilitation* (7e éd.). F. A. Davis Company.
- Cesari, M., Calvani, R., & Marzetti, E. (2017). Frailty in Older Persons. *Clinics in Geriatric Medicine*, 33(3), 293-303. <https://doi.org/10.1016/j.cger.2017.02.002>
- Chen, S. H., & Chou, L. S. (2022). Gait balance control after fatigue: Effects of age and cognitive demand. *Gait & Posture*, 95, 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2022.04.020>
- Collard, R. M., Boter, H., Schoevers, R. A., & Oude Voshaar, R. C. (2012). Prevalence of frailty in community-dwelling older persons: a systematic review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(8), 1487-1492. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2012.04054.x>
- Cruz-Jentoft, A. J., & Sayer, A. A. (2019). Sarcopenia. *The Lancet*, 393(10191), 2636-2646. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(19\)31138-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(19)31138-9)
- da Silva, R. A., Vieira, E. R., Fernandes, K. B. P., Andraus, R. A., Oliveira, M. R., Sturion, L. A., & Calderon, M. G. (2018). People with chronic low back pain have poorer balance than controls in challenging tasks. *Disability and Rehabilitation*, 40(11), 1294-1300. <https://doi.org/10.1080/09638288.2017.1294627>
- Dallaire, M., Gagnon, G., Fortin, E., Nepton, J., Severn, A. F., Cote, S., Smaili, S. M., Goncalves de Oliveira Araujo, H. A., de Oliveira, M. R., Ngomo, S., Bouchard, J., & da Silva, R. A. (2021). The Impact of Parkinson's Disease on Postural Control in Older People and How Sex can Mediate These Results: A Systematic Review. *Geriatrics (Basel)*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/geriatrics6040105>
- de Almeida, I. A., Terra, M. B., de Oliveira, M. R., da Silva Júnior, R. A., Ferraz, H. B., & Santos, S. M. S. (2016). Comparing postural balance among older adults and Parkinson's disease patients. *Motriz: Revista de Educação Física*, 22(4), 261-265. <https://doi.org/10.1590/s1980-6574201600040007>
- Dorfman, L. J., & Bosley, T. M. (1979). Age-related changes in peripheral and central nerve conductaon man. *Neurology*, 29(1), 38-44. <https://doi.org/10.1212/wnl.29.1.38>
- Ensrud, K. E., Kats, A. M., Schousboe, J. T., Taylor, B. C., Cawthon, P. M., Hillier, T. A., Yaffe, K., Cummings, S. R., Cauley, J. A., & Langsetmo, L. (2018). Frailty Phenotype and Healthcare Costs and Utilization in Older Women. *Journal of the American Geriatric Society*, 66(7), 1276-1283. <https://doi.org/10.1111/jgs.15381>

- Espinoza-Araneda, J., Bravo-Carrasco, V., Álvarez, C., Marzuca-Nassr, G. N., Muñoz-Mendoza, C. L., Muñoz, J., & Caparrós-Manosalva, C. (2022). Postural Balance and Gait Parameters of Independent Older Adults: A Sex Difference Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph19074064>
- Fleury-Payeur, F., & Azeredo, A. C. (2021). La mortalité et l'espérance de vie au Québec. *Bulletin sociodémographique*, 25(3). <https://statistique.quebec.ca/fr/fichier/la-mortalite-et-lesperance-de-vie-au-quebec-en-2020.pdf>
- France Parkinson. (2023). *Définition de la maladie*. <https://www.franceparkinson.fr/la-maladie/presentation-maladie-parkinson/definition-maladie/>
- Franchignoni, F., Martignoni, E., Ferriero, G., & Pasetti, C. (2005). Balance and fear of falling in Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 11(7), 427-433. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2005.05.005>
- Freire Junior, R. C., Porto, J. M., Rodrigues, N. C., Brunelli, R. d. M., Braga, L. F. P., & de Abreu, D. C. C. (2016). Spatial and temporal gait characteristics in pre-frail community-dwelling older adults. *Geriatrics & Gerontology International*, 16(10), 1102-1108. <https://doi.org/10.1111/ggi.12594>
- Fried, L. P., Hadley, E. C., Walston, J. D., Newman, A. B., Guralnik, J. M., Studenski, S., Harris, T. B., Ershler, W. B., & Ferrucci, L. (2005). From bedside to bench: research agenda for frailty. *Science of Aging Knowledge Environment*, 2005(31), pe24. <https://doi.org/10.1126/sageke.2005.31.pe24>
- Fried, L. P., Tangen, C. M., Walston, J., Newman, A. B., Hirsch, C., Gottdiener, J., Seeman, T., Tracy, R., Kop, W. J., Burke, G., McBurnie, M. A., & Cardiovascular Health Study Collaborative Research Group. (2001). Frailty in older adults: evidence for a phenotype. *The Journal of Gerontology : Series A*, 56(3), M146-156. <https://doi.org/10.1093/gerona/56.3.m146>
- Fukunaga, J. Y., Quitschal, R. M., Doná, F., Ferraz, H. B., Ganança, M. M., & Caovilla, H. H. (2014). Postural control in Parkinson's disease. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology*, 80(6), 508-514. <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2014.05.032>
- Georgiev, D., Hamberg, K., Hariz, M., Forsgren, L., & Hariz, G. M. (2017). Gender differences in Parkinson's disease: A clinical perspective. *Acta Neurologica Scandinavica*, 136(6), 570-584. <https://doi.org/10.1111/ane.12796>
- Gilman, S. (2002). Joint position sense and vibration sense: Anatomical organisation and assessment. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 73(5), 473-477. <https://doi.org/10.1136/jnnp.73.5.473>
- Goetz, C. G., Poewe, W., Rascol, O., Sampaio, C., Stebbins, G. T., Counsell, C., Giladi, N., Holloway, R. G., Moore, C. G., Wenning, G. K., Yahr, M. D., & Seidl, L. (2004). Movement Disorder Society Task Force report on the Hoehn and Yahr staging scale: status and recommendations. *Movement Disorders*, 19(9), 1020-1028. <https://doi.org/10.1002/mds.20213>
- Haaxma, C. A., Bloem, B. R., Borm, G. F., Oyen, W. J., Leenders, K. L., Eshuis, S., Booij, J., Dluzen, D. E., & Horstink, M. W. (2007). Gender differences in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 78(8), 819-824. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2006.103788>

- Harro, C. C., Kelch, A., Hargis, C., & DeWitt, A. (2018). Comparing Balance Performance on Force Platform Measures in Individuals with Parkinson's Disease and Healthy Adults. *Parkinson's Disease*, 2018, 6142579. <https://doi.org/10.1155/2018/6142579>
- Harro, C. C., Marquis, A., Piper, N., & Burdis, C. (2016). Reliability and Validity of Force Platform Measures of Balance Impairment in Individuals With Parkinson Disease. *Physical Therapy & Rehabilitation Journal*, 96(12), 1955-1964. <https://doi.org/10.2522/ptj.20160099>
- Hoehn, M. M., & Yahr, M. D. (1967). Parkinsonism: onset, progression and mortality. *Neurology*, 17(5), 427-442. <https://doi.org/10.1212/wnl.17.5.427>
- Hoffman, J., & Gabel, P. (2013). Expanding Panjabi's stability model to express movement: A theoretical model. *Medical Hypotheses*, 80(6), 692-697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.mehy.2013.02.006>
- Hoogendijk, E. O., Afilalo, J., Ensrud, K. E., Kowal, P., Onder, G., & Fried, L. P. (2019). Frailty: implications for clinical practice and public health. *The Lancet*, 394(10206), 1365-1375. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(19\)31786-6](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(19)31786-6)
- Horak, F. B. (1987). Clinical measurement of postural control in adults. *Physical Therapy & Rehabilitation Journal*, 67(12), 1881-1885. <https://doi.org/10.1093/ptj/67.12.1881>
- Institut de la statistique du Québec. (2017). *Bulletin statistique régional, édition 2017*. <https://statistique.quebec.ca/fr/fichier/bulletin-statistique-regional-saguenay-lac-saint-jean-edition-2017.pdf>
- Institut de la statistique du Québec. (2021). *Bulletin statistique régional, édition 2021*. https://bdso.gouv.qc.ca/docs-ken/multimedia/PB01608FR_RA02_2021A00F00.pdf
- Institut national d'études démographiques. (2023). *Vieillesse démographique*. <https://www.ined.fr/fr/lexique/vieillesse-demographique/>
- Institut National de Santé Publique du Québec. (2019). *La prévalence de la multimorbidité au Québec : portrait pour l'année 2016-2017*. https://www.inspq.qc.ca/sites/default/files/publications/2577_prevalence_multimorbidite_quebec_2016_2017.pdf
- Jo, D., & Bilodeau, M. (2021). Rating of perceived exertion (RPE) in studies of fatigue-induced postural control alterations in healthy adults: Scoping review of quantitative evidence. *Gait & Posture*, 90, 167-178. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2021.08.015>
- Kharb, A., Saini, V., Jain, Y., & Dhiman, S. (2011). A review of gait cycle and its parameters. *IJCEM International Journal of Computational Engineering & Management*, 13, 78-83.
- Kim, D. H., Glynn, R. J., Avorn, J., Lipsitz, L. A., Rockwood, K., Pawar, A., & Schneeweiss, S. (2019). Validation of a Claims-Based Frailty Index Against Physical Performance and Adverse Health Outcomes in the Health and Retirement Study. *The Journal of Gerontology : Series A*, 74(8), 1271-1276. <https://doi.org/10.1093/gerona/gly197>
- Kirkwood, R. N., Borém, I. L., Sampaio, R. F., Ferreira, V. K. G., de Almeida, J. C., Guimarães, S. B. B., & Moreira, B. S. (2019). Frailty Status and Gait Parameters of Older Women With Type 2 Diabetes. *Canadian Journal of Diabetes*, 43(2), 121-127. <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2018.06.008>

- Kojima, G. (2015). Frailty as a Predictor of Future Falls Among Community-Dwelling Older People: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of the American Medical Directors Association*, 16(12), 1027-1033. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2015.06.018>
- Kojima, G. (2017). Frailty as a predictor of disabilities among community-dwelling older people: a systematic review and meta-analysis. *Disability and Rehabilitation*, 39(19), 1897-1908. <https://doi.org/10.1080/09638288.2016.1212282>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, 15(2), 155-163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>
- Kowalski, K. L., Boolani, A., & Christie, A. D. (2021). State and Trait Fatigue and Energy Predictors of Postural Control and Gait. *Motor Control*, 25(3), 519-536. <https://doi.org/10.1123/mc.2020-0106>
- Kumar, S., Vendhan, G. V., Awasthi, S., Tiwari, M., & Sharma, V. (2008). Relationship between fear of falling, balance impairment and functional mobility in community dwelling elderly. *Indian Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 19(2), 48-52.
- Lai, Y.-R., Lien, C.-Y., Huang, C.-C., Lin, W.-C., Chen, Y.-S., Yu, C.-C., Cheng, B.-C., Kung, C.-T., Kung, C.-F., Chiang, Y.-F., Hung, Y.-T., Chang, H.-W., & Lu, C.-H. (2022). Clinical Disease Severity Mediates the Relationship between Stride Length and Speed and the Risk of Falling in Parkinson's Disease. *Journal of Personalized Medicine*, 12(2). <https://doi.org/10.3390/jpm12020192>
- Latt, M. D., Lord, S. R., Morris, J. G., & Fung, V. S. (2009). Clinical and physiological assessments for elucidating falls risk in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 24(9), 1280-1289. <https://doi.org/10.1002/mds.22561>
- Lee, J. J., Ham, J. H., Lee, P. H., & Sohn, Y. H. (2015). Gender Differences in Age-Related Striatal Dopamine Depletion in Parkinson's Disease. *Journal of Movement Disorders*, 8(3), 130-135. <https://doi.org/10.14802/jmd.15031>
- Lewis, C. (1996). *Aging: the health care challenge* (3e éd.). F.A. Davis Co.
- Lipsitz, L. A. (2002). Dynamics of stability: the physiologic basis of functional health and frailty. *The Journal of Gerontology : Series A*, 57(3), B115-125. <https://doi.org/10.1093/gerona/57.3.b115>
- López-Otín, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2013). The hallmarks of aging. *Cell*, 153(6), 1194-1217. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.05.039>
- Lubomski, M., Louise Rushworth, R., Lee, W., Bertram, K. L., & Williams, D. R. (2014). Sex differences in Parkinson's disease. *Journal of Clinical Neuroscience*, 21(9), 1503-1506. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2013.12.016>
- Maki, B. E., & McIlroy, W. E. (1997). The role of limb movements in maintaining upright stance: the "change-in-support" strategy. *Physical Therapy & Rehabilitation Journal*, 77(5), 488-507. <https://doi.org/10.1093/ptj/77.5.488>
- Martin, F. C. (2011). Falls risk factors: assessment and management to prevent falls and fractures. *Canadian Journal on Aging*, 30(1), 33-44. <https://doi.org/10.1017/s0714980810000747>

- McMillan, J. M., Michalchuk, Q., & Goodarzi, Z. (2021). Frailty in Parkinson's disease: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Parkinsonism & Related Disorders*, 4, 100095. <https://doi.org/10.1016/j.prdoa.2021.100095>
- Ministère de la Famille. (2018). *Les aînés du Québec - Quelques données récentes*. <https://publications.msss.gouv.qc.ca/msss/fichiers/ainee/aines-quebec-chiffres.pdf>
- Mizuno, Y., Shimoda, S., & Origasa, H. (2018). Long-term treatment of Parkinson's disease with levodopa and other adjunctive drugs. *Journal of Neural Transmission*, 125(1), 35-43. <https://doi.org/10.1007/s00702-016-1671-x>
- Murphy, S. L., Williams, C. S., & Gill, T. M. (2002). Characteristics associated with fear of falling and activity restriction in community-living older persons. *Journal of the American Geriatric Society*, 50(3), 516-520. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2002.50119.x>
- Nelson, A. J., Zwick, D., Brody, S., Doran, C., Pulver, L., Rooz, G., Sadownick, M., Nelson, R., & Rothman, J. (2002). The validity of the GaitRite and the Functional Ambulation Performance scoring system in the analysis of Parkinson gait. *NeuroRehabilitation*, 17(3), 255-262.
- Nirola, A., Batra, P., & Kaur, J. (2018). Ascendancy of sex hormones on periodontium during reproductive life cycle of women. *Journal of the International Clinical Dental Research Organization*, 10(1), 3-11. https://doi.org/10.4103/jicdro.jicdro_29_17
- Nishikawa, H., Fukunishi, S., Asai, A., Yokohama, K., Ohama, H., Nishiguchi, S., & Higuchi, K. (2021). Sarcopenia, frailty and type 2 diabetes mellitus (Review). *Molecular Medicine Reports*, 24(6). <https://doi.org/10.3892/mmr.2021.12494>
- O'Sullivan, S. B., Schmitz, T. J., & Fulk, G. D. (2014). *Physical Rehabilitation* (6e éd.). F.A. Davis Company.
- Obeso, J. A., Rodríguez-Oroz, M. C., Benitez-Temino, B., Blesa, F. J., Guridi, J., Marin, C., & Rodríguez, M. (2008). Functional organization of the basal ganglia: therapeutic implications for Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 23 Suppl 3, S548-559. <https://doi.org/10.1002/mds.22062>
- Okada, Y., Ohtsuka, H., Kamata, N., Yamamoto, S., Sawada, M., Nakamura, J., Okamoto, M., Narita, M., Nikaido, Y., Urakami, H., Kawasaki, T., Morioka, S., Shomoto, K., & Hattori, N. (2021). Effectiveness of Long-Term Physiotherapy in Parkinson's Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Parkinson's Disease*, 11(4), 1619-1630. <https://doi.org/10.3233/jpd-212782>
- Öunpuu, S. (1994). The Biomechanics Of Walking And Running. *Clinics in Sports Medicine*, 13(4), 843-863. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0278-5919\(20\)30289-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0278-5919(20)30289-1)
- Paillard, T. (2012). Effects of general and local fatigue on postural control: a review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 36(1), 162-176. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2011.05.009>
- Park, Y. S., Kim, J. W., Kwon, Y., & Kwon, M. S. (2018). Effect of Age and Sex on Gait Characteristics in the Korean Elderly People. *Iranian Journal of Public Health*, 47(5), 666-673.
- Parkinson Canada. (2022a). *Forme précoce de la maladie de Parkinson*. <https://www.parkinson.ca/fr/la-maladie/forme-precoce-de-la-maladie-de-parkinson/>

- Parkinson Canada. (2022b). *Rapport de la table ronde Québec*. <https://www.parkinson.ca/wp-content/uploads/PS-FR-Quebec-FinalReport-AUG2022-V01.pdf>
- Parreira, R. B., Amorim, C. F., Gil, A. W., Teixeira, D. C., Bilodeau, M., & da Silva, R. A. (2013). Effect of trunk extensor fatigue on the postural balance of elderly and young adults during unipodal task. *European Journal of Applied Physiology*, 113(8), 1989-1996. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2627-6>
- Pasma, J. H., Engelhart, D., Schouten, A. C., van der Kooij, H., Maier, A. B., & Meskers, C. G. M. (2014). Impaired standing balance: The clinical need for closing the loop. *Neuroscience*, 267, 157-165. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.02.030>
- Peterka, R. J. (2018). Sensory integration for human balance control. Dans *HandBook of Clinical Neurology* (Éd.), *Balance, Gait, and Falls* (Vol. 159, pp. 27-42). Nikki Levy. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63916-5.00002-1>
- Pitts, J., & Bhatt, T. (2023). Effects of mentally induced fatigue on balance control: a systematic review. *Experimental Brain Research*, 241(1), 13-30. <https://doi.org/10.1007/s00221-022-06464-x>
- Poewe, W., Seppi, K., Tanner, C. M., Halliday, G. M., Brundin, P., Volkman, J., Schrag, A. E., & Lang, A. E. (2017). Parkinson disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 3, 17013. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2017.13>
- Pollock, A. S., Durward, B. R., Rowe, P. J., & Paul, J. P. (2000). What is balance? *Clinical Rehabilitation*, 14(4), 402-406. <https://doi.org/10.1191/0269215500cr342oa>
- Porta, M., Pilloni, G., Arippa, F., Casula, C., Cossu, G., & Pau, M. (2019). Similarities and Differences of Gait Patterns in Women and Men With Parkinson Disease With Mild Disability. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 100(11), 2039-2045. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.04.010>
- Porto, J. M., Nakaishi, A. P. M., Cangussu-Oliveira, L. M., Freire Junior, R. C., Spilla, S. B., & Abreu, D. C. C. (2019). Relationship between grip strength and global muscle strength in community-dwelling older people. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 82, 273-278. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2019.03.005>
- Pringsheim, T., Jette, N., Frolkis, A., & Steeves, T. D. (2014). The prevalence of Parkinson's disease: a systematic review and meta-analysis. *Movement Disorders*, 29(13), 1583-1590. <https://doi.org/10.1002/mds.25945>
- Puszczalowska-Lizis, E., Bujas, P., Jandzis, S., Omorczyk, J., & Zak, M. (2018). Inter-gender differences of balance indicators in persons 60-90 years of age. *Clinical Interventions in Aging*, 13, 903-912. <https://doi.org/10.2147/cia.S157182>
- Radder, D. L. M., Lúgia Silva de Lima, A., Domingos, J., Keus, S. H. J., van Nimwegen, M., Bloem, B. R., & de Vries, N. M. (2020). Physiotherapy in Parkinson's Disease: A Meta-Analysis of Present Treatment Modalities. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 34(10), 871-880. <https://doi.org/10.1177/1545968320952799>
- Rockwood, K., Rockwood, M. R., Andrew, M. K., & Mitnitski, A. (2008). Reliability of the hierarchical assessment of balance and mobility in frail older adults. *Journal of the American Geriatric Society*, 56(7), 1213-1217. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2008.01773.x>

- Roiz, R. d. M., Cacho, E. W. A., Pazinato, M. M., Reis, J. G., Cliquet Jr., A., & Barasnevičius-Quagliato, E. M. A. (2010). Gait analysis comparing Parkinson's disease with healthy elderly subjects. *Arq Neuropsiquiatr*, 68(1), 81-86. <https://doi.org/10.1590/s0004-282x2010000100018>
- Rossi, M., Soto, A., Santos, S., Sesar, A., & Labella, T. (2009). A prospective study of alterations in balance among patients with Parkinson's Disease. Protocol of the postural evaluation. *European Neurology*, 61(3), 171-176. <https://doi.org/10.1159/000189270>
- Ruhe, A., Fejer, R., & Walker, B. (2010). The test-retest reliability of centre of pressure measures in bipedal static task conditions--a systematic review of the literature. *Gait & Posture*, 32(4), 436-445. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2010.09.012>
- Santos, S. M., da Silva, R. A., Terra, M. B., Almeida, I. A., de Melo, L. B., & Ferraz, H. B. (2017). Balance versus resistance training on postural control in patients with Parkinson's disease: a randomized controlled trial. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 53(2), 173-183. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.16.04313-6>
- Saxon, S. V., Etten, M. J., & Perkins, E. A. (2021). *Physical Change and Aging* (7e éd.). Springer Publishing Company. <https://doi.org/10.1891/9780826150561>
- Shumway-Cook, A., & Woollacott, M. H. (1995). *Motor control : theory and practical applications*. Williams & Wilkins.
- Sibley, K. M., Beauchamp, M. K., Van Ooteghem, K., Straus, S. E., & Jaglal, S. B. (2015). Using the systems framework for postural control to analyze the components of balance evaluated in standardized balance measures: a scoping review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(1), 122-132.e129. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.06.021>
- Simoneau, G. G., Ulbrecht, J. S., Derr, J. A., & Cavanagh, P. R. (1995). Role of somatosensory input in the control of human posture. *Gait & Posture*, 3(3), 115-122. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0966-6362\(95\)99061-O](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0966-6362(95)99061-O)
- Smaili, S. (2016). Comparing postural balance among older adults and Parkinson's disease patients. *Motriz. Revista de Educação Física*, 22, 261-265. <https://doi.org/10.1590/S1980-6574201600040007>
- Song, Q., Zhang, X., Mao, M., Sun, W., Zhang, C., Chen, Y., & Li, L. (2021). Relationship of proprioception, cutaneous sensitivity, and muscle strength with the balance control among older adults. *Journal of Sport and Health Science*, 10(5), 585-593. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2021.07.005>
- Statistique Canada. (2012). *Estimations démographiques annuelles : Canada, provinces et territoires*. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/91-215-x/91-215-x2012000-fra.pdf>
- Statistique Canada. (2017). *Québec [Province] Canada [Pays] (tableau) Profil du recensement, Recensement de 2016* <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/index.cfm?Lang=F>
- Statistique Canada. (2022a). *Estimations de la population au 1er juillet, par âge et sexe*. <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1710000501&pickMembers%5B0%5D=1.1&pickMembers%5B1%5D=2.1&cubeTimeFrame.startYear=2016&cubeTimeFrame.endYear=2021&referencePeriods=20160101%2C20210101>

- Statistique Canada. (2022b). *Tableau 13-10-0114-01 Espérance de vie et autres éléments de la table complète de mortalité, estimations sur 3 ans, Canada, toutes les provinces sauf l'Île-du-Prince-Édouard*. <https://doi.org/https://doi.org/10.25318/1310011401-fra>
- Statistique Canada, & Agence de la santé publique du Canada. (2014). *Tableau 3-5 : Prévalence projetée, selon l'affection neurologique sélectionnée, Canada, 2011, 2016, 2021, 2026 et 2031, Projet – Microsimulation*. <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/rapports-publications/etablir-connexions-mieux-comprendre-affections-neurologiques/etablir-connexions-mieux-comprendre-affections-neurologiques-canada-13.html>
- Stefanacci, R. G. (2022). *Présentation du vieillissement*. <https://www.merckmanuals.com/fr-ca/accueil/la-sant%C3%A9-des-personnes-%C3%A2g%C3%A9es/le-vieillissement/pr%C3%A9sentation-du-vieillissement#top>
- Sutherland, D. (1997). The development of mature gait. *Gait & posture*, 6(2), 163-170.
- Tassorelli, C., Berlangieri, M., Buscone, S., Bolla, M., De Icco, R., Baricich, A., Pacchetti, C., Cisari, C., & Sandrini, G. (2017). Falls, fractures and bone density in Parkinson's disease - a cross-sectional study. *International Journal of Neuroscience*, 127(4), 299-304. <https://doi.org/10.1080/00207454.2016.1206897>
- Teasdale, N., Stelmach, G. E., Breunig, A., & Meeuwssen, H. J. (1991). Age differences in visual sensory integration. *Exp Brain Res*, 85(3), 691-696. <https://doi.org/10.1007/bf00231755>
- Terra, M. B., Da Silva, R. A., Bueno, M. E. B., Ferraz, H. B., & Smaili, S. M. (2020). Center of pressure-based balance evaluation in individuals with Parkinson's disease: a reliability study. *Physiother Theory Pract*, 36(7), 826-833. <https://doi.org/10.1080/09593985.2018.1508261>
- Thiede, R., Toosizadeh, N., Mills, J. L., Zaky, M., Mohler, J., & Najafi, B. (2016). Gait and balance assessments as early indicators of frailty in patients with known peripheral artery disease. *Clinical Biomechanics*, 32, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2015.12.002>
- Tobis, J. S., Reinsch, S., Swanson, J. M., Byrd, M., & Scharf, T. (1985). Visual Perception Dominance of Fallers Among Community-dwelling Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 33(5), 330-333. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1985.tb07132.x>
- Tomlinson, C. L., Patel, S., Meek, C., Clarke, C. E., Stowe, R., Shah, L., Sackley, C. M., Deane, K. H., Herd, C. P., Wheatley, K., & Ives, N. (2012). Physiotherapy versus placebo or no intervention in Parkinson's disease. *Cochrane Database of Systematic Review*, (8), Cd002817. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD002817.pub3>
- Tomlinson, C. L., Stowe, R., Patel, S., Rick, C., Gray, R., & Clarke, C. E. (2010). Systematic review of levodopa dose equivalency reporting in Parkinson's disease. *Movement Disorders*, 25(15), 2649-2653. <https://doi.org/10.1002/mds.23429>
- Toosizadeh, N., Mohler, J., Wendel, C., & Najafi, B. (2015). Influences of frailty syndrome on open-loop and closed-loop postural control strategy. *Gerontology*, 61(1), 51-60. <https://doi.org/10.1159/000362549>

- Tysnes, O.-B., & Storstein, A. (2017). Epidemiology of Parkinson's disease. *Journal of Neural Transmission*, 124(8), 901-905. <https://doi.org/10.1007/s00702-017-1686-y>
- UCB Canada Inc. (2022). *Maladie de Parkinson*. <https://www.ucb-canada.ca/fr/Patients/Domains-Th%C3%A9rapeutiques/MALADIE-DE-PARKINSON>
- Vieira, E. R., Lim, H. H., Brunt, D., Hallal, C. Z., Kinsey, L., Errington, L., & Gonçalves, M. (2015). Temporo-spatial gait parameters during street crossing conditions: a comparison between younger and older adults. *Gait & Posture*, 41(2), 510-515. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2014.12.001>
- Vieira, E. R., Palmer, R. C., & Chaves, P. H. M. (2016). Prevention of falls in older people living in the community. *BMJ: British Medical Journal*, 353. <https://www-jstor-org.sbiiproxy.uqac.ca/stable/26942575>
- Viitasalo, M. K., Kampman, V., Sotaniemi, K. A., Leppävuori, S., Myllylä, V. V., & Korpelainen, J. T. (2002). Analysis of sway in Parkinson's disease using a new inclinometry-based method. *Movement Disorders*, 17(4), 663-669. <https://doi.org/10.1002/mds.10023>
- von Bonsdorff, M. B., & Rantanen, T. (2011). Progression of functional limitations in relation to physical activity: a life course approach. *European Review of Aging and Physical Activity*, 8(1), 23-30. <https://doi.org/10.1007/s11556-010-0070-9>
- Webster, K. E., Wittwer, J. E., & Feller, J. A. (2005). Validity of the GAITRite walkway system for the measurement of averaged and individual step parameters of gait. *Gait & Posture*, 22(4), 317-321. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2004.10.005>
- Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*, 3(4), 193-214. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0966-6362\(96\)82849-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0966-6362(96)82849-9)
- Wong, S. L., Gilmour, H., & Ramage-Morin, P. (2014). La maladie de Parkinson : prévalence, diagnostic et conséquences. *Rapports sur la santé*, 25(11), 11-16. <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/pub/82-003-x/2014011/article/14112-fra.pdf?st=pe9iOpZR>
- Wood, B. H., Bilclough, J. A., Bowron, A., & Walker, R. W. (2002). Incidence and prediction of falls in Parkinson's disease: a prospective multidisciplinary study. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 72(6), 721-725. <https://doi.org/10.1136/jnnp.72.6.721>
- Zanardi, A. P. J., da Silva, E. S., Costa, R. R., Passos-Monteiro, E., Dos Santos, I. O., Krueh, L. F. M., & Peyre-Tartaruga, L. A. (2021). Gait parameters of Parkinson's disease compared with healthy controls: a systematic review and meta-analysis. *Scientific Reports*, 11(1), 752. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80768-2>
- Zemková, E. (2011). Assessment of balance in sport: Science and reality. *Serbian Journal of Sports Sciences*, 5, 127-139.

CERTIFICATION ÉTHIQUE

Ce mémoire a fait l'objet d'une certification éthique. Le numéro du certificat est CER #2019 008.

**ANNEXE 1 – THE IMPACT OF PARKINSON’S DISEASE ON POSTURAL CONTROL IN
OLDER PEOPLE AND HOW SEX CAN MEDIATE THESE RESULTS: A SYSTEMATIC
REVIEW**

Dallaire, M., Gagnon, G., Fortin, E., Nepton, J., Severn, A. F., Cote, S., Smali, S. M., Goncalves de Oliveira Araujo, H. A., de Oliveira, M. R., Ngomo, S., Bouchard, J., & da Silva, R. A. (2021). The Impact of Parkinson's Disease on Postural Control in Older People and How Sex can Mediate These Results: A Systematic Review. *Geriatrics (Basel)*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/geriatrics6040105>

Systematic Review

The Impact of Parkinson's Disease on Postural Control in Older People and How Sex can Mediate These Results: A Systematic Review

Mathieu Dallaire ^{1,2}, Guillaume Gagnon ³, Émilie Fortin ³, Josée Nepton ⁴, Anne-France Severn ⁴,
Sharlene Côté ⁴, Suhaila Mahmoud Smali ⁵, Hayslenne Andressa Gonçalves de Oliveira Araújo ⁵,
Márcio Rogério de Oliveira ⁶, Suzy Ngomo ^{1,2,3}, Julie Bouchard ² and Rubens A. da Silva ^{1,2,3,4,5,*}



Citation: Dallaire, M.; Gagnon, G.; Fortin, É.; Nepton, J.; Severn, A.-F.; Côté, S.; Smali, S.M.; Gonçalves de Oliveira Araújo, H.A.; de Oliveira, M.R.; Ngomo, S.; et al. The Impact of Parkinson's Disease on Postural Control in Older People and How Sex can Mediate These Results: A Systematic Review. *Geriatrics* 2021, 6, 105. <https://doi.org/10.3390/geriatrics6040105>

Academic Editor: Ralf Lobmann

Received: 15 September 2021
Accepted: 27 October 2021
Published: 29 October 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

- ¹ Masters of Biomedical Science Program at l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Saguenay, QC G7H 2B1, Canada; mathieu.dallaire2@uqac.ca (M.D.); Suzy_Ngomo@uqac.ca (S.N.)
- ² Laboratoire de Recherche BioNR, Centre Intersectoriel en Santé Durable, Département des Sciences de la Santé, Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Saguenay, QC G7H 2B1, Canada; Julie_L.Bouchard@uqac.ca
- ³ Physical Therapy McGill Program in Extension at the Université du Québec à Chicoutimi (UQAC), Saguenay, QC G7H 2B1, Canada; guillaume.gagnon2@uqac.ca (G.G.); emilie.fortin@uqac.ca (É.F.)
- ⁴ Centre Intégré de Santé et Services Sociaux du Saguenay—Lac-Saint-Jean (CIUSSS SLSJ), Specialized Geriatrics services—La Baie Hospital, Saguenay, QC G7H 7K9, Canada; josee.nepton.ccc@sss.gouv.qc.ca (J.N.); anne-france.severn.labaie@sss.gouv.qc.ca (A.-F.S.); shar.cote@gmail.com (S.C.)
- ⁵ Doctoral Program in Rehabilitation Sciences, UEL/UNOPAR, Londrina 86041-120, Brazil; suhailaneuro@gmail.com (S.M.S.); HAndressa.GOA@hotmail.com (H.A.G.d.O.A.)
- ⁶ Doctoral and Masters Program in Physical Exercise on Health Promotion, Universidade Pitagoras UNOPAR, Londrina 86041-120, Brazil; marxroge@hotmail.com
- * Correspondence: rubens.dasilva@uqac.ca; Tel.: +418-545-5011 (ext. 6123)

Abstract Introduction: Parkinson's disease is most prevalent among elderly people, 65 years and over, and leads to an alteration in motor control associated with postural instability. Current evidence shows that postural control decreases with the aging process. In addition, postural control is more altered in healthy aged men than in women. Until today, few studies have evaluated the combined impact of Parkinson's disease and sex on postural control. This review has allowed to evaluate the impact of Parkinson's disease and sex on postural control measurements in elderly people. Methodology: Studies have been selected from two main databases: PubMed and EBSCO using the keywords "Parkinson", "postural control OR balance" and "sex". Articles related to the evaluation of postural control, including men and women with Parkinson's aged over 65 years old, regardless of stage, were included ($n = 179$). Articles were excluded if not written in French or English or not presenting original content. Results: Ten (10) studies out of 179 that fulfilled inclusion and exclusion criteria were reported in the final analysis, which cumulates a total of 944 individuals with Parkinson's (410 women). In general, results show greater postural instability among people with Parkinson's compared to healthy subjects, and this according to different objective measurements using stabilographic parameters from force platforms. Only two studies out of ten evaluated postural control while briefly considering distinctions between sex, but without showing a significant difference between men and women with Parkinson's. Parkinson's severity, length of time of Parkinson's disease and cognitive state of the person are the three variables with a negative impact on postural control. Conclusion: Older people with Parkinson's disease have greater postural instability. Sex does not seem to influence the postural control of elderly people with Parkinson's, although more studies are necessary.

Keywords: motor control; postural control; postural instability; balance; aging; Parkinson's disease; rehabilitation; sex

1. Introduction

The proportion of people aged 65-years-old and over is increasing, worldwide. When following this progression, these people should represent 23.1% in North America by 2031, like the Canadian population [1]. With the natural process of aging, chronic degenerative diseases are more prevalent and further impact the biological changes associated with the proper aging process, such as muscular weakness, mobility impairment and poor balance or postural control [2–4]. These changes may predict frailty in the older individual as well as an increase in the risk of falls in this population [5–7]. Furthermore, poor postural control is one of the most important risk factors of falls in older adults [8]. Falls can be responsible for 85% of hospitalizations with injury in the elderly [9]. They are associated with multiple injuries and disabilities [10–12] as well as physical injuries, social isolation, psychological problems (anxiety, fear and depression) and increased mortality rates [12–15].

Among chronic and degenerative diseases in older adults, Parkinson's disease is one of the most prevalent in individuals aged 65 years and over [16,17]. Moreover, the incidence of this disease would be two times higher in older men than in older women [18]. Parkinson's disease involves a malfunction of the dopaminergic mechanism in the central nervous system [7,19]. As we know, dopaminergic neurotransmitters are essential in the production of coordinated movement [20,21]. Therefore, due to deficiencies in the dopaminergic system, this disease is characterized by motor symptoms such as stiffness, bradykinesia, tremors, coordination deficits and poor balance [20–22]. The progression of Parkinson's disease can be considered according to the severity of symptoms [12,23], such as more important balance, speech, autonomic, cognitive and psychological disorders in more advanced stages [24]. Pharmacologic, surgical, psychological treatments and rehabilitation exist to alleviate the symptoms and limitations caused by the disease, associated or not with the effect of aging, but none aim to recovery [25].

Some evidence reported an impairment of balance among patients due to Parkinson's disease [12,26,27], and this phenomenon, associated or not to the aging process, often, affects motor function, vision, vestibular system and proprioception of postural control [21,28,29]. In addition, a study reports worse postural control in the older adults with Parkinson's versus the young Parkinson's group [30]. However, few studies have assessed the impact of sex on postural control and health condition in older Parkinson individuals [31,32]. The results from these two studies were not completely related to force platform measurements only. In fact, Tassorelli et al. [31], which evaluated the functional balance of 42 individuals suffering from idiopathic Parkinson's disease (mild-to-moderate severity), reported a greater degree of osteoporosis in their participants males than females (Z-score: M -3.8 ± 1.6 , respectively) and that women fell more than men (fallers: 20 F/7 M; non fallers: 4 F/11 M), but not directly comparing the balance themselves. The second study [32] assessed the postural sway during quiet stance with eyes opened and eyes closed under force platform in 28 individuals with Parkinson's disease and in 32 age- and sex-matched control subjects. The amount of postural sway in the patients was greater than in the control subjects, the higher level being most marked in patients with severe or long-duration of disease. The sex-related to differences on balance were again not reported for these authors. When looking for other types of disease (ex: respiratory), apparently older women show better postural control under center of pressure measurements with a force platform than men in the same age group [33]. Wolfson et al. [34] ($n = 234$) demonstrated, however, that elderly healthy women show balance impairments when deprived of somatosensory and visual inputs and tend towards falling compared to elderly men.

To summarize, the results are controversial, as only from one population and task-dependent when the sex is of concern [35,36]. It would be interesting to know the actual profile of the literature review with regard to postural control based in force platform measurement in older people with Parkinson's disease and if sex can really mediate the results. Thus, the main purpose of this study was to highlight the state-of-the-art literature regarding the results of the impact of Parkinson's disease on postural control in older

people and to determine if the person’s sex as well as other factors can mediate these results of balance.

2. Methodology

This systematic review (not related to a registered protocol) was conducted in alignment with checklist from Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA).

2.1. Search Strategy and Studies Selection

The search was conducted in the form of a search until the years 2020. Two main databases were consulted to conduct this research: PubMed and EBSCO. Various combinations of keywords were used to minimize the risk of selection bias. In general, the following strategy was used: (“Postural Balance”[Mesh] OR “Force plat*” OR postural control OR balance) AND (“Aged”[Mesh] OR elder* OR age* OR Aging) AND (“Parkinson disease”[Mesh] OR “Parkinson” OR Parkinson older) AND (“Sex”[Mesh] OR Gender* OR Men* OR Women). In each database, filters for language (French and English), species (human) and without final publication date were applied. A total of 179 studies were found and analyzed for the first step of this research (see Figure 1).

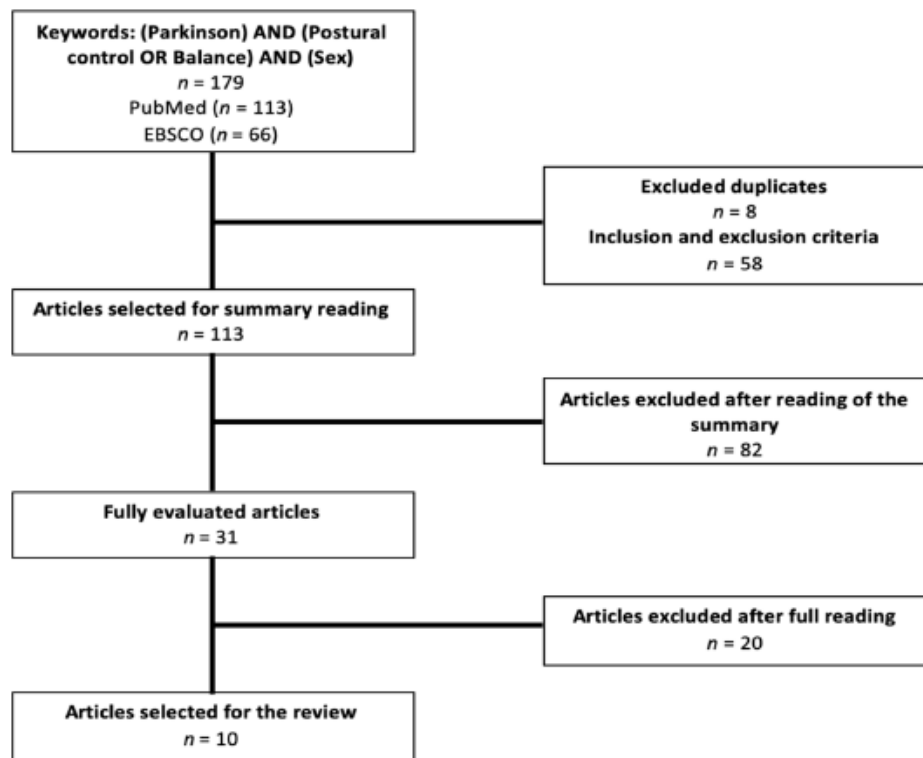


Figure 1. Articles selection process.

Two reviewers carried out the initial search strategy in the databases, extracting the titles and abstracts. Subsequently, the selection of studies, evaluation, and data extraction, was conducted independently by two evaluators (two physiotherapists), based on the reading of titles and abstracts. Potentially eligible articles were read in full. A manual search was performed in the reference lists of all eligible articles, to find new references. Disagreement between physiotherapist evaluations was resolved through discussion or by consulting a third review author (RDS). The same form for data extraction was used by the authors.

The selection criteria included randomized and non-randomized studies: (i) includes a Parkinson aging population (≥ 65 years old), [32] includes postural control measurement from force platform, and (iii) men and women in the assessment. The articles were excluded if (i) written in a language other than French or English, [32] they did not present original content (i.e., literature reviews).

The duplicates ($n = 8$) and articles not respecting inclusion/exclusion criteria ($n = 58$) were removed to obtain a total of 113 articles corresponding to the research subject. Articles not related with this research subject or containing exclusion criteria were also removed as illustrated in the Table 1. The evaluators also elaborated a list of abbreviation with variables for help in the selection (Table 2). Then, a reading of the entire articles was done ($n = 31$) and exclusion criteria were applied. An evaluation of study quality was done, namely using the “Quality Assessment Tool for Studies with Diverse Designs” [37] and was finally reported in Table 3. Only 10 articles were ultimately selected for the literature review after final analysis as illustrated in the Figure 1.

Table 1. Inclusion and exclusion criteria.

	Inclusion Criteria	Exclusion Criteria
Main features	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> English or French 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Other language <input type="radio"/> Text not available in full version
Participants	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Mean age >65 years old <input type="radio"/> Human subjects <input type="radio"/> Presence of men and women, regardless of the proportion <input type="radio"/> Parkinson’s diagnosis established, any Hoehn and Yahr’s stage included 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Mean age <65 years
Interventions/measures	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Objective assessment of postural stability, both static and dynamic <input type="radio"/> With or without intervention 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> Subjective assessment of postural stability
Quote	<ul style="list-style-type: none"> <input type="radio"/> All types of quotes 	

Table 2. List of abbreviations.

Abbreviations	Definitions
BBS	BERG Balance Scale
BTD	Bone Density
COM	Center of Mass
COP	Center of Pressure
DLB (LBD)	Dementia with Lewy bodies (Lewy body Dementia)
FES	Fall Efficacy Scale
F8W test	Figure of 8 Walk Test
FIM	Functional Independence Measure
H&Y stage	Hoehn and Yahr's Stage
MMSE	Mini-Mental State Examination
n/a	Not Applicable
ND	Not Determined
N.E.	Not Evaluated
PD	Parkinson's Disease
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses
QATSDD	Quality Assessment Tool for Studies with Diverse Designs
TMT	Tinetti Mobility Test
TUG	Timed Up and Go
UBPI	Ultrasound Bone Profile Index
UPDRS	Unified Parkinson's Disease Rating Scale
YO	Eyes opened
YF	Eyes closed

Table 3. Table from Quality Assessment Tool for Studies with Diverse Designs (QATSDD).

Criteria	Score (0-3)									
	Paper: Fritz et al. (2016)	Paper: Tassorelli et al. (2016)	Paper: Galna et al. (2013)	Paper: Hirth et al. (2013)	Paper: Galna et al. (2010)	Paper: Latt et al. (2009)	Paper: Rochester et al. (2004)	Paper: Marchese et al. (2003)	Paper: Viitasalo et al. (2002)	Paper: Morris et al. (2000)
Explicit theoretical framework	2	1	2	2	3	2	2	2	3	3
Statement of aims/objectives in main body of report	3	2	3	3	3	3	3	2	3	3
Clear description of research setting	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2
Evidence of sample size considered in terms of analysis	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Representative sample of target group of a reasonable size	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1
Description of procedure for data collection	2	2	3	2	2	3	2	2	2	2
Rationale for choice of data collection tool(s)	2	0	0	0	2	2	2	1	3	3
Detailed recruitment data	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2
Statistical assessment of reliability and validity of measurement tool(s) (Quantitative only)	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Fit between stated research question and method of data collection(Quantitative only)	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2
Fit between stated research question and format and content of data collection tool e.g., interview schedule (Qualitative only)	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Fit between research question and method of analysis (Quantitative only)	2	2	2	2	3	2	3	3	2	2
Good justification for analytic method selected	1	1	1	2	2	3	2	2	0	2
Assessment of reliability of analytic process (Qualitative only)	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.	N.E.
Evidence of user involvement in design	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Strengths and limitations critically discussed	1	2	1	2	0	2	2	0	0	1
Total (/42)	22	17	20	20	25	28	26	19	21	23

N.E., not evaluated.

2.2. Data Extraction

First, a table reported the characteristics of Parkinson’s participants in the review such as age, sex, Hoehn and Yahr stage of disease and the number of participants for studies analyzed is shown in Table 4. Afterwards, the results for each study were compiled in table form, including the different groups, measurement tools used, goal of the study and main results of the literature (Table 5).

Table 4. Characteristics of participants and measurements.

Studies	N	Mean Age ± SD (Mean)	Gender (M/F)	H&Y Stage	Mean Time Since Parkinson’s Diagnosis ± SD (Mean)	N Falls (M/F)	Mean Total Score MMSE ± SD	Mean Dose L-Dopa (mg)	Dyskinesia Freezing	Balance
1. Fritz et al. 2016	Parkinson 21	72.36 ± 4.72	13/8	ND	ND	ND	27.81 ± 1.36	ND	ND	ND
	Parkinson with dementia 30	74.2 ± 5.16	7/23	ND	ND	ND	27.6 ± 2.51	ND	ND	ND
	LBD 21	75.05 ± 4.96	13/8	n/a	n/a	ND	22.45 ± 4.25	n/a	n/a	ND
	DLB 21	73.95 ± 4.78	13/8	n/a	n/a	ND	22.97 ± 3.57	n/a	n/a	ND
2. Tansen et al. 2016	DLB 11	73.7 ± 4.59	6/5	n/a	n/a	ND	24.45 ± 4.46	n/a	n/a	ND
	Parkinson 42	74.28 ± 6.8	18/24	4 (stage 1) 20 (stage 2) 18 (stage 3)	8.5 ± 5.5	27 (7/20)	>24	ND	ND	Mean score BBS ± SD: 47.9 ± 12.9
3. Galna et al. 2010	Control 21	75.2 ± 6.5	11/10	n/a	n/a	n/a	ND	ND	n/a	ND
	Parkinson 20	65.6 ± 7.7	16/4	Stages 1 & 3	ND	ND	28.1 ± 1.5	662.5	n = 0 Freezing	ND
4. Galna et al. 2013	Control 20	65.3 ± 8.0	16/4	n/a	n/a	ND	28.6 ± 1.6	n/a	n = 0	ND
	Same to Galna et al. 2010 study									
5. Hirth et al. 2013	Parkinson 1: 232	73.5 ± 8.5	113/119	Mean 2.8 ± 1.1	8.6 ± 5.7	103	24.3 ± 6.8		ND	ND
	Parkinson 2: 207	67.9 ± 9.2	122/85	Mean 1.9 ± 0.6	2.3 ± 1.8	34	27.7 ± 2.5		n/a	ND
	Control 175	67.6 ± 9.1	104/71	n/a	n/a	3	28.5 ± 1.5		n/a	ND
6. Latt et al. 2009	Parkinson falling 51	68.3 ± 2.1	29/22	7 (stage 1) 11 (stage 2) 33 (stage 3)	<2: n = 18 2-4: n = 13 5-7: n = 12 >7: n = 8	40	>24 (including n = 25 post ≤ 27)	<500: 8 500-750: 11 750-25	Dyskinesia n = 35 Freezing n = 31	Freezing add Mean TUG score ± SD: 12 ± 3.9
	Parkinson’s non-falling 62	64.4 ± 2.7	35/27	32 (stage 1) 22 (stage 2) 8 (stage 3)	<2: n = 33 2-4: n = 15 5-7: n = 9 >7: n = 5	21		<500: 16 500-750: 35-750: 13	Dyskinesia n = 17 Freezing n = 13	Freezing add Mean TUG score ± SD: 9 ± 1.8
7. Rochester et al. 2004	Parkinson 20	64.6 ± 7.96	12/8	Mean 2.7 ± 0.69	10 ± 6.2	ND	27.15 ± 1.98	ND	Dyskinesia ND Freezing get quantification/24: 10.7 ± 6.23	Mean score BBS ± SD: 49.4 ± 8.33
	Control 10	63.5 ± 7.03	6/4	n/a	n/a	ND	28.9 ± 0.75	n/a	n/a	Mean score BBS ± SD: 55.9 ± 8.31
8. Marrosso et al. 2002	Parkinson 24	66.4 ± 7.9	16/8	Mean 2.5	106.8 ± 39.8 months	ND	>26	ND (all with L-Dopa)	Dyskinesia n = 0 Freezing ND	ND
	Control 20	60.9 ± 7.4	13/7	n/a	n/a	ND	ND	n/a	n/a	ND
9. Vittebio et al. 2002	Parkinson 28	64.9	14/14	Mean 2.4 ± 0.8	Mean 7.1 <5: n = 18 >5: n = 10	ND	ND	ND (all with L-Dopa)	Dyskinesia n = 14 Freezing ND	ND
	Control 32	63.1	16/16	n/a	n/a	ND	ND	n/a	n/a	ND
10. Morris et al. 2000	Parkinson falling 15	67.5 ± 8.6	7/8	>4	12.5 ± 4.9	15	ND	ND	ND	Freezing add
	Parkinson non-falling 15	68.5 ± 7.2	7/8	>4	7.5 ± 5.6	0	ND	ND	ND	Freezing add
	Control 15	68.6 ± 7.7	7/8	n/a	n/a	ND	ND	ND	n/a	Freezing add

PD: Parkinson’s disease; DLB: dementia with Lewy bodies; LBD: Lewy body dementia, UPDRS: Unified Parkinson’s Disease Rating Scale; BBS: Berg Balance Scale; TUG: time up and go; MMSE: Mini-Mental State Examination; H&Y stage: Hoehn and Yahr’s stage; ND: not determined; n/a: not applicable.

Table 5. Summary of general results from studies.

Article	Groups	Measures	Objective	Resume
1. Fritz et al. 2016	Gr. 1: Lewy body Dementia (LBD) Gr. 2: Alzheimer (AD) Gr. 3: Parkinson (PD) Gr. 4: Dementia + Lewy bodies (DLB) Gr. 5: Parkinson + dementia (PDD)	Gait analysis with GAItrite Tests: Tinetti mobility test (TMT), Berg Balance Scale (BBS), Timed Up and Go (TUG), Figure of 8 Walk Test (F8W test).	To compare the motor function of different neurodegenerative diseases	LBD vs. PD: For LBD, ↓ speed, ↓ step length and ↑ support time. ↑ variability of spatial parameters at high speed. ↓ balance: TMT, BBS, TUG and cognitive TUG, F8W. AD vs. PD: For AD, ↑ walking speed, ↑ step length, ↑ time in the oscillatory phase of walking, ↑ performance in TMT, ↓ motor impacts, (advanced motor impacts in PD and more pronounced in LBD). PDD vs. DLB: For PDD, ↓ TMT performance and ↓ oscillation time during backward walking indicates that PDD: ↓ dynamic and anticipatory balance during functional activities. For LBD and PD, ↑ performance in TUG, cognitive TUG, TMT, BBS and F8W is associated with better gait parameters. Stabilometry: ↑ length of the oscillations. No difference according to sex, age, stage of disease and UPDRS.
2. Tassorelli et al. 2017	Gr. 1: PD Gr. 2: control	Bone density (BTD), Ultrasound Bone Profile Index (UBPI), stabilometric platform, functional independence measure (FIM), UPDRS, BBS, falls efficacy scale (FES), blood test, number of falls in the last year and reading of the medical file.	Assessment of clinical and biomechanical characteristics associated with falls, fractures and bone health in the PD population.	Female PD vs. Male PD: For women, ↓ FIM, ↓ balance, ↑ fear of falling, ↑ falls. For men and women, the same risk of fracture among PD fallers. Age-associated and sex-associated comparison: ↓ bone density and ↑ postural instability. For PD, ↑ FIM and ↓ instabilities correlate with better bone health. PD vs. Control: For PD, ↑ 21% lateral sway (↑ 12% at equal walking speed), ↑ lateral sway speed (↑ over obstacle). ↑ 13% incline angle before step-over, ↑ CoM medial vs. CoP during step-over.
3. Galna et al. 2013	Gr. 1: PD Gr. 2: control	Center of mass (CoM) and center of pressure (COP) displacement parameters calculated by the VICON system	Find out if people with Parkinson's (mild to moderate severity) have abnormal disruption of the center of mass as a result of stepping over obstacles while walking on level ground.	In both groups, ↑ medio-lateral sway while crossing over an obstacle compared to flat terrain. For PD, ↑ medial sway associated with ↑ motor severity when the foot straddling the obstacle is over the obstacle. ↑ swing speed with ↑ PD severity.
4. Hiorth et al. 2013	Gr. 1: control Gr. 2: PD	UPDRS Fall frequency during the year	To examine the clinical characteristics of falling and non-falling patients in a clientele with different stages of Parkinson's disease. To investigate the effect of Parkinson's disease on the walking trajectory and on the adaptation of the spatiotemporal gait when approaching and stepping over an obstacle on the ground.	An elevated UPDRS activity of daily living and UPDRS therapy complication score as well as the presence of postural instability and gait instability increase the risk of falling.
5. Galna et al. 2010	Gr. 1: control Gr. 2: PD	Foot movement parameters with the VICON motion analysis system when climbing over an obstacle	To examine the clinical characteristics of falling and non-falling patients in a clientele with different stages of Parkinson's disease. To investigate the effect of Parkinson's disease on the walking trajectory and on the adaptation of the spatiotemporal gait when approaching and stepping over an obstacle on the ground.	Patient PD: ↓ walking speed, ↓ step length and ↑ time in bipodal position when compared with control.

Table 5. Cont.

Article	Groups	Measures	Objective	Resume
6. Latt et al. 2009	Gr. 1: PD falling Gr. 2: PD non-falling	Timed Up and Go (TUG), UPDRS, H & Y, fall history.	To design a fall risk screening tool using measurement tools used in the clinic and to design a fall risk assessment tool to guide fall prevention interventions.	Indicators of a risk of falls: Frontal Assessment Battery $\leq 17/18$ \downarrow TUG score \downarrow UPDRS score \uparrow H & Y score Fall in the last year
7. Rochester et al. 2004	Gr. 1: control Gr. 2: PD	Analysis of the approach with the VAM (VitaPort Activity Monitor) during different tasks.	To assess the interference on walking of functional activities at home of people with Parkinson's and the contribution of clinical symptoms on walking disorders.	Walking speed \downarrow in the PD group (26.5% reduction). Speed significantly \downarrow in the PD group during cognitive dual-task and multitasking, but not during dual motor task. Additionally, step length \downarrow in the PD group compared to the control group. \downarrow stride length in the PD group during cognitive dual task and multitasking and in the control group during multitasking. No difference between groups for step frequency.
8. Marchese et al. 2003	Gr. 1: control Gr. 2: PD	Force platform on 3 conditions: Basic, counting down and with a motor task. Each condition was performed with eyes open [2] and closed (YF).	To analyze the effect of concurrent motor or cognitive tasks on balance control.	No difference between the groups for the basic condition (both YO and YF), more variations in the PD group (YO and YF) than in the control group during the countdown and the concomitant motor task.
9. Viitasalo et al. 2002	Gr. 1: control Gr. 2: PD	Postural swing by inclinometry.	To test a new method of assessing balance control in people with Parkinson's.	\uparrow sway in group PD vs. control. Swing speed influenced by stage of disease (UPDRS) and time since disease onset. Age or gender does not matter.
10. Morris et al. 2000	Gr. 1: control Gr. 2: PD non-falling Gr. 3: PD falling	Time held in different conditions (separate feet, tandem, etc).	To determine the effect of double tasking on postural instability in people with Idiopathic Parkinson's compared to healthy subjects.	Group control holds 30 s. for all positions even in double task. Group Non-falling PD and falling PD did not hold the 30 s in the tandem and one leg stance positions. Some people from group PD falling could not hold in tandem or one leg stance. In a double task, the falling and non-falling PD groups did not last 31 s. in the step, tandem and one leg stance positions.

PD: Parkinson's disease; DLB: dementia with Lewy bodies; LBD: Lewy body dementia, UPDRS: Unified Parkinson's Disease Rating Scale; BBS: Berg Balance Scale; TUG: time up and go; MMSE: Mini-Mental State Exam.

3. Results

Ten (10) articles were analyzed in this literature review, cumulating 944 participants (534 men and 410 women) with a diagnosis of Parkinson's disease ($n = 665$) and 226 participants in the control group. The quality of this study was around $22.1/42 \pm 3.2$ according to QATSDD, representing a moderate quality. All these studies were based in cross-sectional design so that without to establish the cause-effect on issue.

It is important to note that the two studies by Galna [38,39] included the same population so we included these results only once. The participants' characteristics can be found in Table 4, including participants mean age which is 69.1 ± 3.7 years old and the duration of the Parkinson's diagnosis which varies from 1 to 15 years. From the 10 studies, eight studies observed a Mini Mental State Examination (MMSE) score over 24/30, which included older people with Parkinson's with cognitive impairment ranging from none to light mental state. A total of 534 men and 410 women took part in these studies. We observed that few studies briefly compared men and women (only two) and, across these, no statistically significant results were present regarding the impact of sex on Parkinson's

disease [31,32]. However, women in the study by Tassorelli et al. [31] demonstrated a lower level of functional independence (FIM = 98.9 ± 15.3 for men and 91.9 ± 16.6 for women), a lower Berg Balance Scale score (BBS = 51.9 ± 11.7 for men and 43.2 ± 12.8 for women) compared to men and a greater fear of falling than men (FES = 10.1 ± 6.7 for men and 20.9 ± 9.9 for women). Apparently, these results were not generalized for force platform measurements.

In addition, many measurement tools have been used among the selected studies to analyze balance and postural control of the participants, such as the GAITRite system, the Vicon, the Vitaport Activity Monitor, force platforms and other standardized tests or measurements (Berg Balance Scale, timed up and go, Unified Parkinson's Disease Rating Scale, and Hoehn and Yahr Scale). Some studies have also used the inclinometer as a measurement tool of postural instability (Tables 4 and 5). From these studies, Parkinson's patients reported poor postural control when compared to those in control groups. It is also observed that severity [32,38,40] and cognitive state [41–43] for these patients were other factors that negatively affect postural control, but these studies do not report any differences between the sexes.

Galna et al.'s study (2013) [39] has shown that patients with Parkinson's disease and with more severe motor impairments have higher postural instability during walking and striding an obstacle compared to the control group. Marchese et al. [41] that analyzed the variation of the pressure center on a force platform under different conditions, reported significant difference between-groups (Parkinson's group vs. control group) in the variation of the center of pressure during the execution of a double task (associating cognitive and motor skills). Rochester et al. [44] also noticed some changes during double tasks (cognitive and motor) such as a decreasing walking speed in Parkinson's group, supporting the impact of attentional capacity on dynamic balance during walking.

Viitasalo et al.'s study [32], that focused on postural balance with an inclinometer, noted a poor control in patients with a more severe stage of the disease as compared to the control group, without contrasting any differences in sex factor. Morris et al.'s study [45] demonstrated that patients with Parkinson's disease have more difficulty keeping their balance during simple tasks, double tasks, verbal cognitive tasks, and when the base of support is reduced.

Finally, two studies including Parkinson's over 10 evaluated the two sexes (males and females) from balance measures (graph length of COP and/or COP sway by force platform or inclinometer). Both studies [31,32] reported no direct comparison between-sexes, while only Viitasalo et al. [32] showed that men and women are comparable on postural control during force platform measurement.

4. Discussion

The aim of this study was to evaluate the impact of Parkinson's disease on postural control in older adults and verify if sex can mediate the results. An update of the literature was necessary because the last review on this topic was in 2018, even searching up to 2020.

Although balance impairment in Parkinson's is well known, only 10 articles were selected from this topic for analysis in older people and in sex differences related to balance. The impact of the disease on balance will be discussed first, followed by the impact of sex. In general, Parkinson's disease alters the postural control of aged people and results are generalized for both sexes ($n = 2$ studies that compared the effect of sex on postural measures).

4.1. Impact of Parkinson's Disease

During the process of aging, many factors are associated with a decrease in postural balance, such as the decrease of muscle mass and strength and the alteration of visual, vestibular, and proprioceptive systems [2,4,21,28,29]. It seems that age contributes to a transition between automatic postural control and an attentional, slowing down reaction rate to imbalance [4,41,45]. Parkinson's disease exacerbates these effects [20–22]. Indeed,

the literature demonstrates that the decrease in the secretion of dopamine in the substantia nigra in the brainstem is responsible for the main motor symptoms associated with Parkinson's disease [20–22]. The decrease in postural control would be due to several factors, in particular by the increase in rigidity caused by the decrease in neurotransmitter production, which makes the trunk less flexible to disturbances therefore rendering the person with the disease more susceptible to be destabilized [20–22,29,46]. A decrease in postural reflexes would also be associated with this phenomenon [21,29,46]. However, although taking Levodopa reduces the severity of symptoms, it is not sufficient to eliminate them, suggesting that other structures may be responsible for the decrease in postural control in Parkinson's patients [21,47,48].

Indeed, cholinergic cortical denervation would be an important marker of the slowing of walking in Parkinson's disease [49]. Additionally, another post-mortem study on monkeys and patients with the disease demonstrated the importance of the role that cholinergic neurons of the pedunculo-pontine nucleus play walking and postural control deficits [48]. Damage to these structures would be, like the dopamine deficit, responsible for the appearance of rigidity, a reduction in stride length and a recurved posture, this affecting the patients' ability to regain balance, in the event of a disturbance of the center of gravity [21,29,48]. Abnormalities would be more marked in people with an increased severity of the disease, explaining why anti-parkinsonian medication is not sufficient in these patients [21,47].

From the article selection, some studies evaluated the postural control by objective measurement using different tools, such as a force platform and GaitRite system to discriminate the differences between the Parkinson's group versus the healthy-control group. A study of Tassorelli et al. evaluated stability with a stabilometric platform. Results showed significantly higher values ($p < 0.001$) for the Parkinson's group compared to the control group for the graph length (1303.9 ± 656 mm vs. 987.3 ± 356 mm), amplitude of antero-posterior (29.7 ± 21.6 mm vs. 16.2 ± 6.4) and transverse oscillations (33.4 ± 17.1 mm vs. 15.2 ± 9.3 mm). In general, these studies showed a difference regarding postural oscillations in people with Parkinson's disease compared to the control group when evaluated with a vertical inclinometer or placed at the waist [32,43], with a force platform [39] or with a motion analysis system in 3D VICON [32]. Indeed, balance is more affected in people with Parkinson's than in healthy people during a static standing posture and during double tasks (opened and closed eyes, countdown, motor task: Thumb to fingers) on a force platform [31,41] or with other measurement methods [39,45]. These results are partly explained by the fact that people with Parkinson's use conscious attentional strategies to compensate the impairment of basal ganglions, saturating their attention and making cortical control less efficient, highlighting balance impairments, especially during double tasks [41].

It is the same with internal perturbations, such as climbing over an obstacle, or external ones, which suggests that people with Parkinson's disease have more difficulty managing disturbances on their center of mass and, therefore, more difficulty correcting their center of pressure to maintain balance [38,39]. Experimental balance conditions such as tandem or semi-tandem and one-legged stance tasks could discriminate a better impact of the disease on postural control than simple balance conditions, such as bipodal. In addition, unilateral impairment from the disease can affect the capacity to maintain such leg positions during balance performance [45]. Only the study of Tassorelli et al. [31] observed non-significant differences on oscillation speed, but range and length of range were higher in Parkinson's disease people. These results seem to indicate that affected people oscillate at the same speed as the other group, but they take more time to react, which increases their oscillation distance.

The duration of the disease would have an impact on performance during different balance tasks [32,45]. Indeed, the duration of the disease (>5 years) would have a strong correlation between the increase of range and velocity of postural oscillations resulting in increased postural instability. However, it seems that severity would have a higher

impact than duration of the disease on postural balance. Hiorth et al. [40] evaluated people with new and old diagnoses of Parkinson's disease and a history of falls. This study concluded that fallers had a more severe manifestation of Parkinson's disease. This conclusion suggests that postural instability would be more important when the disease and symptoms progress and would be characterized by higher and faster mediolateral oscillations. This would be due to a widespread pathology of the nervous system. Galna et al. (2013) [39] state the hypothesis that the more motor symptoms progress, the slower the postural reactions, leading to a greater imbalance.

In addition, the Unified Parkinson Disease Rating Scale (UPDRS), including the Hoehn and Yahr stage (UPDRS V), was used by many studies to determine the severity and the stage of disease progression [31,32,40,41,43]. From the 10 studies, three studies used at least one section of the UPDRS to quantify the severity of symptoms. However, only one completed all questionnaires. Tassorelli et al. [31] observed that the UPDRS score (mean = 30.8) was negatively correlated to the result of the Berg test and of the functional independence measure. They also observed a positive correlation between UPDRS and Fall Efficacy Scale. Viitasalo et al. [32] demonstrated that a UPDRS motor examination score above 10 corresponds to higher and faster oscillations compared to group control and patients with UPDRS motor examination score > 10. This is also true for the Parkinson's disease group with a score over 25 [32]. Indeed, presence of a fall in the last year and presence of freezing were associated to a UPDRS score higher [43]. Hoehn and Yahr's stage alone also had a significant impact on velocity, length, and area of postural oscillations during opened eyes tasks [32]. These results supports the impact of the severity and the stage of Parkinson's disease on postural control.

According to several studies, the presence of a cognitive impairment in an individual with Parkinson's disease increases the risk of falls [12,19,41,43]. For example, the mean time to perform TUG in Parkinson's patients with dementia is significantly increased [42]. In addition, postural instability during a cognitive dual task in PD patients with cognitive impairment is greater than in PD patients without cognitive impairment or in the healthy elderly population [43]. Although the present study would concentrate on sex differences, it must be remembered that balance deficits in this population are more likely to be linked to dynamic and anticipatory postural adjustments during functional tasks, mainly when cognitive status is affected [41–43]. In short, the presence of cognitive impairment negatively impacts postural balance and increases the risk of falls in individuals with Parkinson's [12,19,41,43].

Considering Parkinson's disease and its deficiencies, most of the pharmacologic treatments include L-Dopa to ease motor symptoms. Indeed, several studies showed positive results with PD patients under L-Dopa treatments [50]. A study of Fahn et al. suggest that levodopa medication has prolonged effect on symptoms of Parkinson's disease [51]. A recent study of Fowler et al. (2018) evaluate the effect of levodopa response on gait and balance of PD patients. They evaluated patients using the Mobility Lab System, equipped with sensors, to compare medications ON and OFF states. Results showed improvements in gait and balance such as speed, foot strike and stride length, but also, lumbar and trunk range of motion in balance [52].

4.2. Comparison between Sexes

Only two studies out of 10 assessed the two sexes from impact of Parkinson's disease on balance. According to their brief investigation on the comparison between men and women, Viitasalo et al. [32] as well as Tassorelli et al. [31] demonstrated no statistically significant results between men and women. According to QATSDD, the quality of these studies is low to moderate (21/42 and 17/42), respectively. However, according to the results of Tassorelli et al. [31], women with Parkinson's demonstrated a lower level of functional independence and of Berg Balance Scale score than men, as well as a greater fear of falling. The authors suggest that the difference between men and women is probably due to the phenotypical expression of the disease. Women presented the tremor-dominant

phenotype, which affected the results of study. They also demonstrated a positive correlation between female sex and the frequency of falls. In fact, older women tend to fall more frequently than older men, which can lead to a greater fear of falling, as well as a decreased level of functional independence [53]. This tendency could be explained by a higher level of frailty in women compared to men, predisposing them to a higher risk of falling [54]. On the contrary, some studies have shown that older women have better postural control than older men when using a gold standard measure of balance such as force platform measures [54,55]. Apparently, women perform better than men in static balance tests under force platform measures. This could be due to the integration of the systems responsible for maintaining balance (vestibular, proprioceptive, and visual) which would be different in men and women. Women would be better at integrating information from different systems to maintain balance, while men perform better in dynamic balance tests compared to women, due in part to their often higher strength and muscle mass [33]. Therefore, more studies are needed to better distinguish the differences between sexes on postural control mainly in older people with Parkinson's disease. Unfortunately, the conclusions from only two studies are very limited.

5. Conclusions

This review identified that older people with Parkinson's have poor postural control through greater postural oscillations than those without the disease. The impact of sex should be further explored. The main clinical application of these results is that the interpretation of an evaluation of postural control on a force platform would be generalized for both sexes. However, more studies are needed to better answer this relevant research question on rehabilitation for older individuals with Parkinson's when sex is of concern.

Author Contributions: Conceptualization, R.A.d.S., M.D., G.G., É.F., J.N.; methodology, M.D., G.G., É.F.; validation, S.M.S., H.A.G.d.O.A., M.R.d.O., S.N., J.B.; formal analysis, M.D., G.G., É.F.; investigation, M.D., R.A.d.S., J.B., S.N., S.C.A.-F.S., J.N.; resources, G.G., É.F.; writing—original draft preparation, M.D., R.A.d.S.; writing—review and editing, A.-F.S., S.C., S.M.S., H.A.G.d.O.A., M.R.d.O., S.N., J.B., R.A.d.S., M.D.; visualization, S.C., A.-F.S., J.N.; supervision, R.A.d.S., S.N.; project administration, R.A.d.S., J.B.; funding acquisition, R.A.d.S. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by [PDSMU CIUSSS SLSJ, QC, Canada] grant number [#300756] and M.D. was funded by OPPQ and PDSMU, QC, Canada [Master fellowship].

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Statistique Canada. Chiffres Selon L'âge et le Sexe, et Selon le Type de Logement: Fait saillants du Recensement de 2016. Available online: <https://www150.statcan.gc.ca/n1/daily-quotidien/170503/dq170503a-fra.htm> (accessed on 25 August 2021).
2. Larsson, L.; Degens, H.; Li, M.; Salviati, L.; Lee, Y.L.; Thompson, W.; Kirkland, J.L.; Sandri, M. Sarcopenia: Aging-Related Loss of Muscle Mass and Function. *Physiol. Rev.* **2018**, *99*, 427–511. [CrossRef] [PubMed]
3. Harman, D. The aging process. *Proc Natl Acad Sci USA* **1981**, *78*, 7124–7128. [CrossRef] [PubMed]
4. Baudry, S. Aging Changes the Contribution of Spinal and Corticospinal Pathways to Control Balance. *Exerc. Sport Sci. Rev.* **2016**, *44*, 104–109. [CrossRef]
5. Gonzalez-Usigli, H.A. Maladie de Parkinson. Available online: <https://www.merckmanuals.com/fr-ca/professional/troubles-neurologiques/troubles-du-mouvement-et-troubles-cerebelleux/maladie-de-parkinson> (accessed on 25 August 2021).
6. Agence de la santé publique du Canada. Système Canadien de Surveillance des Maladies Chroniques le Parkinsonisme au Canada, y Compris la Maladie de Parkinson. Available online: <https://www.canada.ca/fr/sante-publique/services/publications/maladies-et-affections/parkinsonisme.html> (accessed on 25 August 2021).
7. Lew, M. Overview of Parkinson's disease. *Pharmacotherapy* **2007**, *27*, 155S–160S. [CrossRef]
8. Lima, M.G.; Barros, M.B.; Cesar, C.L.; Goldbaum, M.; Carandina, L.; Ciconelli, R.M. Impact of chronic disease on quality of life among the elderly in the state of Sao Paulo, Brazil: A population-based study. *Rev. Panam. Salud Publica* **2009**, *25*, 314–321. [CrossRef]
9. Agrément Canada; Institut Canadien d'Information sur la santé; Institut Canadien Pour la sécurité des Patients. *Prévention des Chutes: Des Données Probantes à L'amélioration des Soins de Santé au Canada*. Canada. 2014. Available online: <https://www.patientsafetyinstitute.ca/fr/toolsresources/Pages/Falls-resources-Getting-Started-Kit.aspx> (accessed on 25 August 2021).

10. 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.* **2002**, *50*, 1329–1335. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
11. Deshpande, N.; Metter, E.J.; Lauretani, F.; Bandinelli, S.; Guralnik, J.; Ferrucci, L. Activity restriction induced by fear of falling and objective and subjective measures of physical function: A prospective cohort study. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2008**, *56*, 615–620. [\[CrossRef\]](#)
12. Allen, N.E.; Schwarz, A.K.; Canning, C.G. Recurrent falls in Parkinson's disease: A systematic review. *Parkinsons Dis.* **2013**, *2013*, 906274. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
13. Ministère de la Santé et des Services Sociaux (MSSS). *La Prévention des Chutes Dans un Continuum de Services Pour les Aînés Vivant à Domicile*; MSSS: Québec, QC, Canada, 2005.
14. 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.* **2003**, *58*, P283–P290. [\[CrossRef\]](#)
15. 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.* **2002**, *50*, 516–520. [\[CrossRef\]](#)
16. Statistique Canada Tableau 17-10-0134-01 Estimations de la Population (Recensement de 2016 et Données Administratives), Selon le Groupe d'âge et le Sexe au 1er Juillet, Canada, Provinces, Territoires, Régions Sociosanitaires (Limites de 2018) et Groupes de Régions Homologues. Available online: <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tbl1/fr/tv.action?pid=1710013401> (accessed on 24 September 2019).
17. Wong, S.L.; Gilmour, H.; Ramage-Morin, P.L. *La Maladie de Parkinson: Prévalence, Diagnostic et Conséquences*; Statistique Canada: Ottawa, ON, Canada, 2014; Rapports sur la santé; Volume 25, pp. 11–16.
18. Hoehn, M.M.; Yahr, M.D. Parkinsonism: Onset, progression, and mortality. *Neurology* **2001**, *57*, S11–S26.
19. Rinne, J.O.; Portin, R.; Ruottinen, H.; Nurmi, E.; Bergman, J.; Haaparanta, M.; Solin, O. Cognitive impairment and the brain dopaminergic system in Parkinson disease: [18F]fluorodopa positron emission tomographic study. *Arch. Neurol.* **2000**, *57*, 470–475. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
20. de Morand, A. *Pratique de la Rééducation Neurologique*, 2nd ed.; Elsevier Masson: Paris, France, 2014.
21. Cabeleira, M.E.P.; Pagnussat, A.S.; do Pinho, A.S.; Asquidamini, A.C.D.; Freire, A.B.; Pereira, B.T.; de Mello Rieder, C.R.; Schifino, G.P.; Fornari, L.H.T.; Junior, N.D.S.; et al. Impairments in gait kinematics and postural control may not correlate with dopamine transporter depletion in individuals with mild to moderate Parkinson's disease. *Eur. J. Neurosci.* **2019**, *49*, 1640–1648. [\[CrossRef\]](#)
22. Levine, C.B.; Fahrback, K.R.; Siderowf, A.D.; Estok, R.P.; Ludensky, V.M.; Ross, S.D. Diagnosis and treatment of Parkinson's disease: A systematic review of the literature. *Evid. Rep. Technol. Assess.* **2003**, *57*, 1–4.
23. de Almeida, I.A.; Terra, M.B.; de Oliveira, M.R.; da Silva Júnior, R.A.; Ferraz, H.B.; Santos, S.M.S. Comparing postural balance among older adults and Parkinson's disease patients. *Mot. Rev. Educ. Física* **2016**, *22*, 261–265. [\[CrossRef\]](#)
24. Wilczynski, J.; Pedrycz, A.; Mucha, D.; Ambrozy, T.; Mucha, D. Body Posture, Postural Stability, and Metabolic Age in Patients with Parkinson's Disease. *Biomed. Res. Int.* **2017**, *2017*, 3975417. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
25. Nakagawa, H.B.; Ferraresi, J.R.; Prata, M.G.; Scheicher, M.E. Postural balance and functional independence of elderly people according to gender and age: Cross-sectional study. *Sao Paulo Med. J.* **2017**, *135*, 260–265. [\[CrossRef\]](#)
26. Santos, S.M.; da Silva, R.A.; Terra, M.B.; Almeida, I.A.; de Melo, L.B.; Ferraz, H.B. Balance versus resistance training on postural control in patients with Parkinson's disease: A randomized controlled trial. *Eur. J. Phys. Rehabil. Med.* **2017**, *53*, 173–183. [\[PubMed\]](#)
27. Duncan, R.P.; Leddy, A.L.; Cavanaugh, J.T.; Dibble, L.E.; Ellis, T.D.; Ford, M.P.; Foreman, K.B.; Earhart, G.M. Detecting and predicting balance decline in Parkinson disease: A prospective cohort study. *J. Parkinsons Dis.* **2015**, *5*, 131–139. [\[CrossRef\]](#)
28. Jiang, X.; Cooper, J.; Porter, M.M.; Ready, A.E. Adoption of Canada's Physical Activity Guide and Handbook for Older Adults: Impact on functional fitness and energy expenditure. *Can. J. Appl. Physiol.* **2004**, *29*, 395–410. [\[CrossRef\]](#)
29. Hwang, S.; Agada, P.; Grill, S.; Kiemel, T.; Jeka, J.J. A central processing sensory deficit with Parkinson's disease. *Exp. Brain Res.* **2016**, *234*, 2369–2379. [\[CrossRef\]](#)
30. Roland, K.P.; Jones, G.R.; Jakobi, J.M. Parkinson's disease and sex-related differences in electromyography during daily life. *J. Electromyogr. Kinesiol.* **2013**, *23*, 958–965. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
31. Tassorelli, C.; Berlangieri, M.; Buscone, S.; Bolla, M.; De Icco, R.; Baricich, A.; Pacchetti, C.; Cisari, C.; Sandrini, G. Falls, fractures and bone density in Parkinson's disease—A cross-sectional study. *Int. J. Neurosci.* **2017**, *127*, 299–304. [\[CrossRef\]](#)
32. Viitasalo, M.K.; Kampman, V.; Sotaniemi, K.A.; Leppavuori, S.; Myllylä, V.V.; Korpelainen, J.T. Analysis of sway in Parkinson's disease using a new inclinometry-based method. *Mov. Disord.* **2002**, *17*, 663–669. [\[CrossRef\]](#)
33. de Castro, L.A.; Ribeiro, L.R.; Mesquita, R.; de Carvalho, D.R.; Felcar, J.M.; Merli, M.F.; Fernandes, K.B.; da Silva, R.A.; Teixeira, D.C.; Spruit, M.A.; et al. Static and Functional Balance in Individuals with COPD: Comparison with Healthy Controls and Differences According to Sex and Disease Severity. *Respir. Care* **2016**, *61*, 1488–1496. [\[CrossRef\]](#)
34. Wolfson, L.; Whipple, R.; Derby, C.A.; Amerman, P.; Nashner, L. Gender differences in the balance of healthy elderly as demonstrated by dynamic posturography. *J. Gerontol.* **1994**, *49*, M160–M167. [\[CrossRef\]](#)
35. Hageman, P.A.; Leibowitz, J.M.; Blanke, D. Age and gender effects on postural control measures. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **1995**, *76*, 961–965. [\[CrossRef\]](#)

36. Palazzo, E.; Nardi, A.; Lamouchideli, N.; Caronti, A.; Alashram, A.; Padua, E.; Annino, G. The effect of age, sex and a firm-textured surface on postural control. *Exp. Brain Res.* **2021**, *239*, 2181–2191. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Sirriyeh, R.; Lawton, R.; Gardner, P.; Armitage, G. Reviewing studies with diverse designs: The development and evaluation of a new tool. *J. Eval. Clin. Pract.* **2012**, *18*, 746–752. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Galna, B.; Murphy, A.T.; Morris, M.E. Obstacle crossing in people with Parkinson's disease: Foot clearance and spatiotemporal deficits. *Hum. Mov. Sci.* **2010**, *29*, 843–852. [[CrossRef](#)]
39. Galna, B.; Murphy, A.T.; Morris, M.E. Obstacle crossing in Parkinson's disease: Mediolateral sway of the centre of mass during level-ground walking and obstacle crossing. *Gait Posture* **2013**, *38*, 790–794. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
40. Hiorth, Y.H.; Lode, K.; Larsen, J.P. Frequencies of falls and associated features at different stages of Parkinson's disease. *Eur. J. Neurol.* **2013**, *20*, 160–166. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
41. Marchese, R.; Bove, M.; Abbruzzese, G. Effect of cognitive and motor tasks on postural stability in Parkinson's disease: A posturographic study. *Mov. Disord.* **2003**, *18*, 652–658. [[CrossRef](#)]
42. Fritz, N.E.; Kegeles, D.A.; Kloos, A.D.; Linder, S.; Park, A.; Kataki, M.; Adeli, A.; Agrawal, P.; Scharre, D.W.; Kostyk, S.K. Motor performance differentiates individuals with Lewy body dementia, Parkinson's and Alzheimer's disease. *Gait Posture* **2016**, *50*, 1–7. [[CrossRef](#)]
43. Latt, M.D.; Lord, S.R.; Morris, J.G.; Fung, V.S. Clinical and physiological assessments for elucidating falls risk in Parkinson's disease. *Mov. Disord.* **2009**, *24*, 1280–1289. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Rochester, L.; Hetherington, V.; Jones, D.; Nieuwboer, A.; Willems, A.M.; Kwakkel, G.; Van Wegen, E. Attending to the task: Interference effects of functional tasks on walking in Parkinson's disease and the roles of cognition, depression, fatigue, and balance. *Arch. Phys. Med. Rehabil.* **2004**, *85*, 1578–1585. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Morris, M.; Iansek, R.; Smithson, E.; Huxham, F. Postural instability in Parkinson's disease: A comparison with and without a concurrent task. *Gait Posture* **2000**, *12*, 205–216. [[CrossRef](#)]
46. Rodriguez-Oroz, M.C.; Jahanshahi, M.; Krack, P.; Litvan, I.; Macias, R.; Bezard, E.; Obeso, J.A. Initial clinical manifestations of Parkinson's disease: Features and pathophysiological mechanisms. *Lancet Neurol.* **2009**, *8*, 1128–1139. [[CrossRef](#)]
47. Kempster, P.A.; Frankel, J.P.; Bovingdon, M.; Webster, R.; Lees, A.J.; Stern, G.M. Levodopa peripheral pharmacokinetics and duration of motor response in Parkinson's disease. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* **1989**, *52*, 718–723. [[CrossRef](#)]
48. Karachi, C.; Grabli, D.; Bernard, F.A.; Tande, D.; Wattiez, N.; Belaid, H.; Bardinet, E.; Prigent, A.; Nothacker, H.P.; Hunot, S.; et al. Cholinergic mesencephalic neurons are involved in gait and postural disorders in Parkinson disease. *J. Clin. Investig.* **2010**, *120*, 2745–2754. [[CrossRef](#)]
49. Bohnen, N.I.; Frey, K.A.; Studenski, S.; Kotagal, V.; Koeppe, R.A.; Scott, P.J.; Albin, R.L.; Muller, M.L. Gait speed in Parkinson disease correlates with cholinergic degeneration. *Neurology* **2013**, *81*, 1611–1616. [[CrossRef](#)]
50. Tomlinson, C.L.; Stowe, R.; Patel, S.; Rick, C.; Gray, R.; Clarke, C.E. Systematic review of levodopa dose equivalency reporting in Parkinson's disease. *Mov. Disord.* **2010**, *25*, 2649–2653. [[CrossRef](#)]
51. Fahn, S.; Oakes, D.; Shoulson, I.; Kieburtz, K.; Rudolph, A.; Lang, A.; Olanow, C.W.; Tanner, C.; Marek, K. Levodopa and the progression of Parkinson's disease. *N. Engl. J. Med.* **2004**, *351*, 2498–2508. [[PubMed](#)]
52. Fowler, A.; Gernon, S.; Pahwa, R.; Lyons, K. Objective Evaluation of Levodopa Response on Gait and Balance (P2.041). *Neurology* **2018**, *90*, P2.041.
53. Peel, N.M. Epidemiology of Falls in Older Age. *Rev. Can. Viol.* **2011**, *30*, 7–19. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
54. Fried, L.P.; Tangen, C.M.; Walston, J.; Newman, A.B.; Hirsch, C.; Gottdiener, J.; Seeman, T.; Tracy, R.; Kop, W.J.; Burke, G.; et al. Frailty in older adults: Evidence for a phenotype. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2001**, *56*, M146–M156. [[CrossRef](#)]
55. Pereira, C.; Silva, R.A.D.; de Oliveira, M.R.; Souza, R.D.N.; Borges, R.J.; Vieira, E.R. Effect of body mass index and fat mass on balance force platform measurements during a one-legged stance in older adults. *Aging Clin. Exp. Res.* **2018**, *30*, 441–447. [[CrossRef](#)]

ANNEXE 2 – QUESTIONNAIRES

Questionnaire d'informations générales

Prénom, nom		
N° dossier		
Date de naissance		
Sexe		
Poids		
Taille		
Local prise en charge (HDJ/URFIG/autre)		
Raison de consultation / diagnostic		
Dominance (G/D)		
Chutes	(6 mois):	(12 mois):
Perception de fatigue lors du transfert	Assis/debout: /10	Couché/debout: /10
Avez-vous eu une perte de poids non intentionnelle de plus de 10 lb dans la dernière année?		
Avez-vous une fatigue importante durant 3 jours consécutifs par semaine?		
Ressentez-vous le besoin de vous reposer dans la journée?		
Éprouvez-vous des difficultés pour lever et transporter 5 kg ?	Aucune (0) / Un peu (1) / beaucoup ou incapable (2)	

Éprouvez-vous des difficultés pour monter un escalier de 10 marches ?	Aucune (0) / Un peu(1) / beaucoup ou incapable (2)
-----------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------

Mini-Mental State Examination (MMSE) ou Test de Folstein

**EXAMEN DE FOLSTEIN
SUR L'ÉTAT MENTAL**



DT9088

Nom de l'établissement _____

A) Orientation		COTE MAXIMALE	COTE DU SUJET																														
Demander au sujet :																																	
1- Quel est	<table border="0"> <tr> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> <td>D</td> <td>L</td> <td>M</td> <td>Me</td> <td>J</td> <td>V</td> <td>S</td> </tr> <tr> <td colspan="3">l'année le mois le jour</td> <td colspan="7">le jour de la semaine</td> </tr> <tr> <td colspan="10">La saison : printemps <input type="checkbox"/> été <input type="checkbox"/> automne <input type="checkbox"/> hiver <input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D	L	M	Me	J	V	S	l'année le mois le jour			le jour de la semaine							La saison : printemps <input type="checkbox"/> été <input type="checkbox"/> automne <input type="checkbox"/> hiver <input type="checkbox"/>										5	()
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	D	L	M	Me	J	V	S																								
l'année le mois le jour			le jour de la semaine																														
La saison : printemps <input type="checkbox"/> été <input type="checkbox"/> automne <input type="checkbox"/> hiver <input type="checkbox"/>																																	
2- Où sommes-nous	<table border="0"> <tr> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Province Pays</td> </tr> <tr> <td><input type="text"/></td> <td><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td colspan="2">Ville, village Lieu (hôpital, cabinet, maison, etc.) Étage</td> </tr> </table>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	Province Pays		<input type="text"/>	<input type="text"/>	Ville, village Lieu (hôpital, cabinet, maison, etc.) Étage		5	()																						
<input type="text"/>	<input type="text"/>																																
Province Pays																																	
<input type="text"/>	<input type="text"/>																																
Ville, village Lieu (hôpital, cabinet, maison, etc.) Étage																																	
B) Enregistrement																																	
3- Mentionner un des groupes de 3 mots suivants; prendre une seconde pour prononcer chaque mot :																																	
	chemise, bleu, honnêteté ()	} 3	()																														
	ou																																
	chaussure, brun, modestie ()																																
	ou																																
	chandail, blanc, charité ()																																
Par la suite, demander au sujet de répéter les 3 mots choisis. Donner 1 point pour chaque bonne réponse au 1 ^{er} essai. Répéter l'exercice jusqu'à ce que le sujet retienne les 3 mots. Compter le nombre d'essais et le noter. Pour information seulement. Nombre d'essais : _____																																	
C) Attention et calcul (cocher l'un ou l'autre test)																																	
4- <input type="checkbox"/>	Demander au sujet de faire la soustraction par intervalles de 7 à partir de 100 :	} 5	()																														
<input type="checkbox"/>	100 - 7 = () 93 - 7 = () 86 - 7 = () 79 - 7 = () 72 - 7 = () 65. Donner 1 point pour chaque bonne réponse.																																
<input type="checkbox"/>	Demander au sujet d'épeler le mot « MONDE » à l'envers. (EDNOM) : _____ (écrire les lettres)																																
D) Réretention mnésique																																	
5- Demander au sujet de répéter les 3 mots déjà mentionnés :	chemise, bleu, honnêteté ()	} 3	()																														
	ou																																
	chaussure, brun, modestie ()																																
	ou																																
	chandail, blanc, charité ()																																
E) Langage																																	
6-	Montrer au sujet un crayon () une montre () et lui demander de nommer l'objet.	2	()																														
7-	Demander au sujet de répéter la phrase suivante : « Pas de si ni de mais ».	1	()																														
8-	Demander au sujet d'obéir à un ordre en 3 temps : « Prenez ce papler de la main droite ou gauche, pliez-le en deux et redonnez-le moi ».	3	()																														
<i>N.B. : Demander au sujet droitier de prendre de la main gauche et vice versa. Prendre garde de tendre la main; éviter les indices non-verbaux.</i>																																	

Traduction et adaptation française non validées du « Mini-Mental State » de Folstein, M.F., Folstein, S.E., Mc Hugh, P.R. : « Mini-Mental State : A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician » J. Psychiatr Res, 12 : 189-198, 1975, à partir des travaux du centre de gériatrie Hôpital d'Yoville Sherbrooke de Québec.

Année : DT 160, 2017

EXAMEN DE FOLSTEIN SUR L'ÉTAT MENTAL

(suite au verso)

E) Langage (suite)

9- Demander au sujet de lire et de suivre l'instruction suivante :

« **FERMEZ VOS YEUX** »

COTE MAXIMALE	COTE DU SUJET
1	()

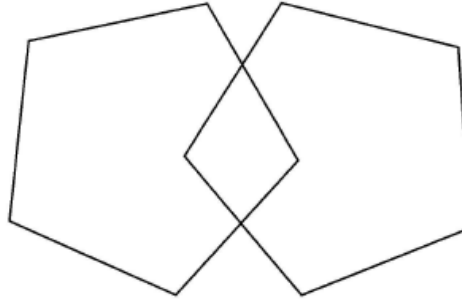
10- Demander au sujet d'écrire une phrase :

1	()
---	-----

(sujet, verbe, sans égard aux fautes)

F) Praxie de construction

11- Demander au sujet de copier le dessin suivant :



1	()
---	-----

COTE MAXIMALE : 30

COTE DU SUJET : _____

Interprétation des scores :

Un score de moins de 24 points à l'examen de Folstein sur l'état mental détermine une altération des fonctions cognitives. Ce test ne permet cependant pas de faire un diagnostic étiologique.

Nombre d'années de scolarité du sujet : _____ Évaluer le niveau de conscience du sujet : vigilant somnolent

En cas d'incapacité du sujet à être évalué, spécifier : _____

Indiquer les conditions ayant pu influencer l'évaluation _____

Date | Année | Mois | Jour

Signature _____

Modified Falls Efficacy Scale (version française)

The Modified Falls Efficacy Scale - French version (M-FES Fr)

Sur une échelle de 0 à 10, comment évaluez-vous votre confiance pour effectuer, sans tomber, chacune des activités ci-dessous, avec un score de 0 pour « pas du tout confiant », 5 pour « moyennement confiant » et 10 pour « totalement confiant » ?

Notes : Si vous avez arrêté l'activité, en partie par peur de tomber, marquez 0.

Si actuellement vous ne faites pas cette activité pour toute autre raison, répondez **d'abord** à la question en imaginant votre degré de confiance si vous réalisez vraiment cette activité et **ensuite**, ajoutez une deuxième croix dans la colonne "je ne le fais pas".

	Pas du tout confiant	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ne le fais pas
1. S'habiller et se déshabiller													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
2. Préparer un repas simple													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
3. Prendre un bain ou une douche													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
4. S'asseoir / se lever d'une chaise													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
5. Se lever / se coucher dans un lit													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
6. Aller répondre à la porte ou au téléphone													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
7. Se déplacer à l'intérieur de sa maison													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
8. Atteindre un objet dans un placard ou sur une étagère													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
9. Effectuer des tâches ménagères simples													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
10. Faire des petites courses													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
11. Utiliser les transports en commun													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
12. Traverser la route													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
13. Faire un peu de jardinage ou étendre le linge*													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>
14. Emprunter des marches													
	0						5					10	<input type="checkbox"/>

* Répondez pour l'activité effectuée la plus fréquemment

Perrot, A., Castanier, C., Maillot, P., & Zitari, H. (2018). French validation of the modified-falls efficacy scale (M-FES Fr). *Archives of Gerontology and Geriatrics, 78*, 233-239. doi: 10.1016/j.archger.2018.07.001

ANNEXE 3 – PROTOCOLES D'ÉVALUATION

Évaluation de la fragilité

Critères subjectifs

Critères subjectifs	
Avez-vous eu une perte de poids non intentionnelle de plus de 10 lb dans la dernière année?	
Avez-vous une fatigue importante durant 3 jours consécutifs par semaine?	
Ressentez-vous le besoin de vous reposer dans la journée?	

Tiré du questionnaire d'informations générales

Critères objectifs

Standardisation de la technique de mesure de la force de préhension avec le Jamar

Objectif de la mesure : Mesure de la force fournie lors d'une préhension palma

Temps de passation: 3 secondes

Unité: kg

Position du patient:

- Patient assis sur une chaise sans appui-bras, le dos appuyé.
- Épaule à 0°. Coude en flexion 90° en contact avec le tronc. Avant-supination. Poignet en position neutre.

**Si adaptation requise de la position, précisez-le dans le d*



Consignes au patient:

- Avant la tâche:
 - Nous allons réaliser une mesure visant à connaître la force avec laquelle votre main peut se fermer et serrer. Quand je dirai go, vous allez serrer les doigts le plus fort possible comme pour écraser quelque chose dans votre main. Je vais vous encourager. Vous ne pouvez pas bouger le reste du corps. Avez-vous des questions?
 -
- Pendant la tâche:
 - Serre, serre, serre.
 - Relâcher doucement et prendre 15 secondes de repos.

Cotation:

- Répéter l'évaluation 3 fois par main.
- Le score retenu est la valeur la plus élevée pour chaque main.

Standardisation de la vitesse de marche confortable et maximale sur 10m

Description :

Le test sur 10m est utilisé afin d'objectiver la mobilité fonctionnelle d'une personne en mesurant la vitesse de marche sur terrain plat.

Objectif de la mesure :

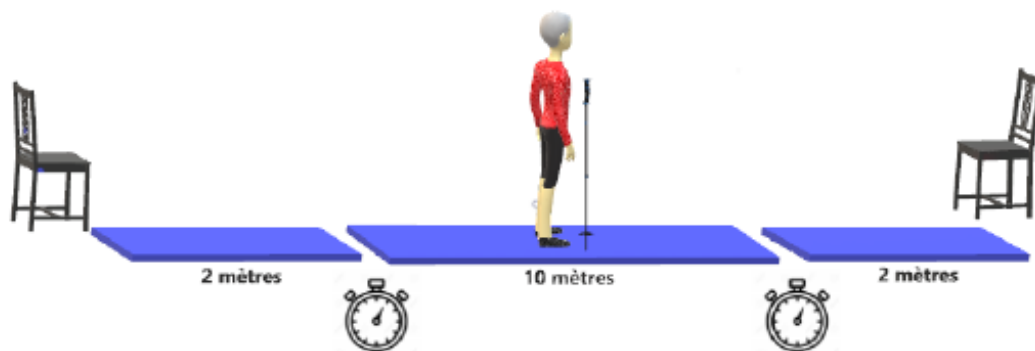
- La vitesse est corrélée avec plusieurs composantes de la santé, soit la capacité physique des MIs et la locomotion, l'autonomie fonctionnelle, le déclin cognitif, l'espérance de vie, etc.
- La vitesse de marche est un facteur clé déterminant les besoins de réadaptation et elle a aussi le potentiel de prédire le déclin fonctionnel futur et le risque de chute.
- De plus, une diminution de la vitesse de marche est corrélée avec plusieurs facteurs de santé comme l'invalidité, l'hospitalisation, la perte de l'indépendance et la mortalité.
- Inversement, une augmentation de la vitesse de marche est corrélée avec une amélioration de la qualité de vie et le patron de marche.

Temps de passation : 5-10 min

Unité : cm/s

Environnement :

- Chronomètre
- Corridor de 10 m (inscrit au sol)
- 2 mètres avant et après le corridor de 10 m (inscrit au sol)
- Ceinture de marche
- Le patient utilise son accessoire de marche (cane, bâton de marche, marchette, etc.)
- Une chaise au début du parcours et une chaise à la fin du parcours (hors de la distance totale de 14 m)



Évaluation du contrôle postural sur plateforme de force

Standardisation mesure de l'équilibre postural avec la plateforme de force

Objectif de la mesure : Mesure de l'équilibre postural avec une plateforme de force lors des différentes positions des pieds.

Nombre d'essais et temps de passation : 2 x 30 secondes

Position du patient :

- Les tests d'équilibre sur la plateforme de force seront distribués aléatoirement : 1) bipodal, les deux jambes écartées vis-à-vis les épinos iliaques antérieures en posture debout ; 2) bipodal les yeux fermés, 3) semi-tandem, avec la jambe de préférence vers l'avant; 4) idem 3, mais avec les yeux fermés, et 5) unipodal avec la jambe de préférence. Standard : pieds nus, les bras le long du corps et en silence.

Note: Pour des questions de sécurité, l'évaluateur doit se tenir près du participant. Des rubans seront accolés sur la plateforme à l'extrémité de l'hallux des participants pour qu'ils se positionnent au même endroit à chaque essai. Une ceinture de marche pourra aussi être ajustée sur le patient.

Consignes au patient:

- Avant la tâche :
 - o Nous allons réaliser une mesure visant à connaître l'équilibre postural lors de la posture debout bipodale (appui de 2 jambes), semi-tandem (pieds collés légèrement avance celui de référence) et unipodal. Quand je dirai go, vous allez rester en calme, statique en posture debout sur la plateforme de force en regardant un point fixe sur le mur lors de l'essai avec les yeux ouverts. Lors des essais avec les yeux fermés, je vais mettre une bande pour couvrir la vision ou vous demander pour fermer les yeux. Pendant le test, vous pouvez respirer normalement. Avez- vous des questions ?
- Pendant la tâche:
 - o Statique, silence, respiration normale, regarde sur la cible si les yeux ouverts.
 - o 2 x de 30 seconds pour chaque condition avec un temps de repos de 30 seconds entre chaque essai. Entre condition d'équilibre, 1 minutes de repos.

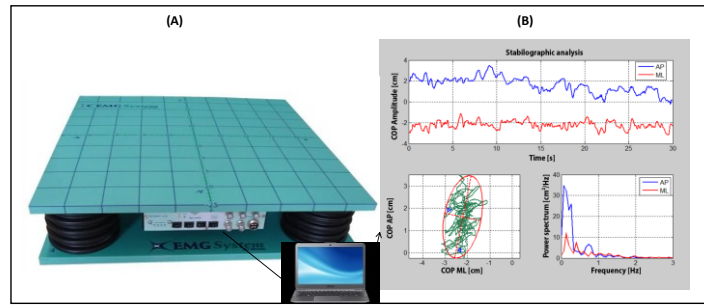
Cotation :

- Répéter l'évaluation 2 x pour chaque condition d'équilibre.
- Le score retenu sera la moyenne sur 2 essais.

Références :

- Oliveira MR et al. One-legged stance sway of older adults with and without falls. PLoS ONE, 2018, 13(9): e0203887
- Terra MB et al. Center of pressure based balance evaluation in individuals with Parkinson's disease: A reliability study. Physiotherapy theory and practice, 2018, Online, 1-8. DOI:10.1080/09593985.2018.1508261.
- Oliveira MR et al. How many balance task trials are needed to accurately assess postural control measures in older women? J Bodyw Mov Ther. 2019 Jul;23(3):594-597. doi: 10.1016/j.jbmt.2019.04.004. Epub 2019 Apr 12. PMID: 31563376.









PROTOCOLE DE L'ÉQUILIBRE PLATEFORME DE FORCE BIOMEC 400



Numéro dossier patient :

Date évaluation :

4 tâches d'équilibre standardisées, 2 x 30 secondes chaque

1. Bipodal (BIP) yeux ouverts (YO)			<u>Temps-limite :</u>	<u>Commentaires :</u>
2. Bipodal (BIP) yeux fermés (YF)				
3. Semi-tandem (ST) yeux ouverts (YO)				
4. Semi-tandem (ST) yeux fermés (YF)				

Évaluation des paramètres de marche sur système de marche GAITRite

Standardisation de la technique de mesure de marche avec le système GAITRite

Objectif de la mesure : Mesurer les paramètres de marche (ex : vitesse, cadence) avec le système GAITRite.

Nombre d'essais et temps de passation :

- 2 tentatives par condition – temps alloué en fonction du parcours sur le tapis de 6 mètres de distance. 30 secondes de repos entre les conditions, celles-ci qui seront distribuées aléatoirement :
 - Condition #1 : vitesse habituelle
 - Condition #2 : vitesse rapide

Position du patient :

- Posture debout pour la locomotion avec ou sans assistance sur le tapis, les yeux ouverts, les bras libres au long du corps ou avec assistance, et avec soulier.

Note: Pour des questions de sécurité, durant le test, une ceinture de sécurité de chute sera placée à la région lombaire et l'évaluateur doit se tenir près du participant (à l'extérieur du tapis) tout au long la durée du test.

Consignes au patient:

- Avant la tâche :
 - Nous allons réaliser une mesure visant à connaître la marche durant 3 vitesses : habituelle, lente et rapide ; cette dernière en étant encore confortable et sécuritaire aussi. Quand je dirai go, vous allez marcher sur la distance totale du tapis de 6 mètres, avec les yeux ouverts. Pendant le test, vous pouvez respirer normalement. Avez- vous des questions ?
- Pendant la tâche:
 - Marche en silence, respiration normale, garder yeux ouverts jusqu'à la fin du test.

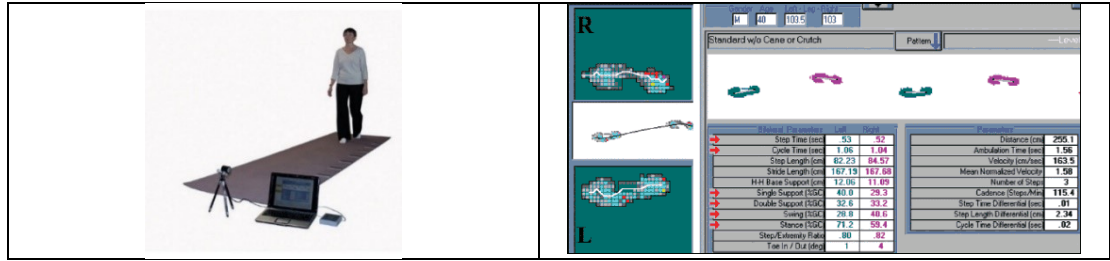
Cotation :

- Répéter l'évaluation 2 fois pour chaque condition
- Le score retenu pour tous les paramètres de marche sera la moyenne sur 2 essais pour chaque condition.

Références :

- Vieira ER et al. Changes on Walking During Street Crossing Situations and on Dorsiflexion Strength of Older Caribbean Americans after an Exercise Program: a Pilot Study. J Aging Phys Act. 2017 Oct 1;25(4):525-532. doi: 10.1123/japa.2016-0231. Epub 2017 Sep 1.
- Vieira ER et al. Temporo-Spatial gait parameters during street crossing conditions: comparison between younger and older adults. Gait Posture. 2014. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.12.001.

PROTOCOLE DE MARCHE AVEC LE GAITRITE



Numéro dossier patient :

Date évaluation :

-2 x chaque condition : vitesse habituelle et rapide (randomiser les conditions)

Condition habituelle	<u>Temps</u> <u>Essai 1 :</u>	<u>Temps</u> <u>Essai 2 :</u>	<u>Commentaires :</u>
Condition rapide			

ANNEXE 4 – FORMULAIRE DE CONSENTEMENT

**Centre intégré
universitaire de santé
et de services sociaux
du Saguenay-
Lac-Saint-Jean**

Québec 

Formulaire d'information et de consentement

- Titre du projet de recherche : Développement d'une nouvelle approche clinique en réadaptation pour la prise en charge des personnes âgées avec un trouble neuro-musculo-squelettique et un risque de chutes : projet en partenariat entre l'UQAC et les services gériatriques spécialisés du CIUSSS Saguenay-Lac St-Jean.
- Chercheur responsable du projet de recherche : Rubens da Silva, Ph. D., physiothérapeute
- Co-chercheur : Julie Bouchard, Ph. D., neuropsychologue
- Membre du personnel de recherche :
- Dre Elisabeth Gagnon, M.D.,
 - Dre Charlène Côté, M.D.,
 - Josée Nepton, pht.,
 - Anne-France Severn, pht.
 - Julie Pelletier, pht.
 - Patrice Tremblay, pht.
- Établissement participant : Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean (CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean) – Hôpital de La Baie

1. Introduction

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et de signer ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable de ce projet ou à un membre de son personnel de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

2. Nature et objectifs du projet de recherche

La prévention des chutes est une mission cruciale pour les professionnels de la santé tels que les physiothérapeutes. Il est important d'identifier très tôt ce qui cause les chutes avec des appareils efficaces en physiothérapie. Ainsi, cette recherche a pour but à la fois d'évaluer et de traiter les personnes âgées avec un risque de chutes.

Elle permettra d'initier un nouveau projet de partenariat entre l'UQAC et les services gériatriques spécialisés du CIUSSS Saguenay-Lac-St-Jean. L'avantage de ce projet est que la recherche est réalisée sur le terrain, dans les sites où les participants reçoivent leurs soins de santé.

De plus, le projet de recherche a aussi l'objectif de créer une banque de données et de matériel biologique sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés, et ce, afin d'encourager la recherche, l'innovation, la cohésion et la visibilité de la recherche sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés.

Pour la réalisation de ce projet de recherche, nous comptons recruter environ 92 participants, hommes et femmes, âgés de 65 à 90 ans.

3. Déroulement du projet de recherche

4.

3.1 Lieu de réalisation du projet de recherche, durée et nombre de visites.

Ce projet de recherche se déroulera à l'hôpital de jour (HDJ) ou à l'unité de réadaptation fonctionnelle intensive gériatrique (URFIG) de l'hôpital de La Baie du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean. La durée de la participation et le nombre de visites varieront selon le volet auquel vous participerez, mais ne devrait pas dépasser environ 6 mois.

3.2 Nature de la participation

3.2.1 Participant au volet 2 – mesures d'évaluation diagnostique.

Vous participerez à une seule séance d'évaluation diagnostique d'une durée variant de 1h30 à 2h00, qui aura lieu dans les services gériatriques spécialisés (secteur de physiothérapie).

Votre participation à ce volet consistera à remplir quelques questionnaires cliniques, afin de recueillir certaines informations pertinentes, comme vos antécédents de chutes entre autres.

Suite à un moment de familiarisation avec les équipements (ex. : plateforme de force), vous devrez réaliser des tests physiques tels que l'équilibre, la force musculaire et la marche. Ces mesures permettront d'évaluer votre état de santé physique ainsi que de diagnostiquer votre niveau de fragilité et de risque de chutes.

3.2.2 Participant au volet 3 – OTAGO vs intervention classique.

En participant à ce volet, vous serez répartis dans un des groupes suivants :

- Groupe OTAGO
- Groupe intervention classique.

Que vous soyez dans un ou l'autre des groupes, votre participation sera de 3 mois et vous serez évalué de la même façon que dans le Volet 2, si ce n'est pas déjà fait.

En tout temps, vous serez accompagné par un membre de l'équipe de recherche. La séance de traitement aura une durée maximale de 60 minutes, 2 fois /semaine. Il y aura 24 séances au total de traitement, soit pour une durée d'intervention maximale de 3 mois.

Par la suite, vous devrez répéter les tests et les mesures réalisés avant le début de la participation à ce volet. Peu importe le groupe auquel vous participerez, 6^e et 12^e mois après le début de l'intervention, vous serez à nouveau évalué avec les mêmes tests et procédures. Ces mesures seront effectuées afin de mesurer les effets protecteurs de l'intervention.

3.2.3 Participant au volet 4 – suivi post-intervention et satisfaction des services.

12 mois après le début de votre participation au programme, nous communiquerons avec vous par téléphone pour vous poser quelques questions à l'égard de votre histoire de chutes, votre satisfaction avec les soins, la perception de votre santé après le programme, etc. L'appel téléphonique aura une durée d'environ 20 minutes.

3.3 Propriété des données de recherche

L'ensemble de vos données sera versé dans la banque de données et de matériel biologique constituée à des fins de recherche sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés, et ce, afin d'encourager la recherche, l'innovation, la cohésion et la visibilité de la recherche sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés.

1

2 Par ailleurs, notez qu'en tout temps, vous demeurerez propriétaire de vos données. En aucun cas, vos données ne seront vendues. Vos données seront utilisées qu'à des fins de recherche.

3

Le chercheur responsable et le co-chercheur de ce projet agiront à titre de fiduciaires à l'égard des données qui seront recueillies dans la banque de données et de matériel biologique sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés. C'est-à-dire que, conformément au Cadre de gestion de la banque de données et de matériel biologique sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés, le chercheur et le co-chercheur seront responsables de la conservation, de la garde et de la sécurité des données recueillies. Ces derniers seront également responsables de permettre ou non l'accès et l'utilisation à d'autres chercheurs.

5. Découverte fortuite

Bien qu'ils ne fassent pas l'objet d'une évaluation médicale formelle, les résultats de tous les tests, examens et procédures réalisés dans le cadre de ce projet de recherche peuvent mettre en évidence des problèmes jusque-là ignorés, c'est ce que l'on appelle une découverte fortuite. C'est pourquoi, en présence d'une particularité, le chercheur responsable du projet vous appellera pour assurer un suivi.

6. Avantages associés au projet de recherche

Il se peut que vous retiriez un bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons vous l'assurer. Par ailleurs, les résultats obtenus contribueront à l'avancement des connaissances scientifiques dans ce domaine de recherche.

7. Inconvénients associés au projet de recherche

Outre le temps consacré à la participation à ce projet de recherche, vous ne devriez pas vivre d'autres inconvénients. La pratique des activités physiques pourrait vous occasionner de la douleur musculaire.

8. Participation volontaire et possibilité de retrait

Votre participation à ce projet de recherche est volontaire. Vous êtes donc libre de refuser d'y participer. Vous pouvez également vous retirer de ce projet à n'importe quel moment, sans avoir à donner de raisons, en informant l'équipe de recherche.

Votre décision de ne pas participer à ce projet de recherche ou de vous en retirer n'aura aucune conséquence sur la qualité des soins et des services auxquels vous avez droit ou sur votre relation avec les équipes qui les dispensent.

Le chercheur responsable de ce projet de recherche et le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement. Cela peut se produire si de nouvelles découvertes ou informations indiquent que votre participation au projet n'est plus dans votre intérêt, si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche ou encore s'il existe des raisons administratives d'abandonner le projet.

Si vous vous retirez du projet ou êtes retiré du projet, l'information et le matériel déjà recueillis dans le cadre de ce projet seront néanmoins conservés, analysés ou utilisés pour assurer l'intégrité du projet.

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement du projet qui pourrait avoir un impact sur votre décision de continuer à participer à ce projet vous sera communiquée rapidement.

9. Constitution, conservation et accès à la banque de données et de matériel biologique et confidentialité

Durant votre participation à ce projet de recherche, le chercheur et le co-chercheur responsables de ce projet ainsi que les membres de leur personnel de recherche recueilleront, dans un dossier de recherche, les renseignements vous concernant et nécessaires pour répondre aux objectifs scientifiques de ce projet de recherche.

Ces renseignements comprendront les informations contenues dans vos dossiers médicaux concernant votre état de santé passé et présent, vos habitudes de vie, ainsi que les réponses aux questionnaires et les résultats de tous les tests, examens et procédures qui seront réalisés. Votre dossier peut aussi comprendre d'autres renseignements tels que votre nom, votre sexe et votre date de naissance.

L'ensemble des renseignements vous concernant, le tout recueilli à titre de données de recherche, sera conservé de façon sécuritaire dans la banque de données et de matériel biologique sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés, logée au CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean, et ce, conformément au Cadre de gestion de la banque de données et de matériel biologique constituée à des fins de recherche.

Vos données de recherche demeureront confidentielles dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité des renseignements, vous ne serez identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à l'ensemble de vos données sera conservée par le chercheur et le co-chercheur responsables de ce projet de recherche.

Nous vous rappelons que la banque de données et de matériel biologique sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés offrira aux chercheurs une plateforme afin de réaliser des projets de recherche portant sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés.

Ainsi, vos données de recherche seront utilisées par les chercheurs dans le but de réaliser des projets de recherche portant sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés. Tous ces projets de recherche seront au préalable évalués et approuvés par le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean avant leur réalisation. Le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean en assurera également le suivi.

Les données de recherche versées dans la banque de données et de matériel biologique sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés seront partagées avec différents chercheurs. Ce transfert d'information implique que vos données de recherche pourraient être transmises dans d'autres pays que le Canada. Cependant, le chercheur et le co-chercheur responsables de ce projet de recherche respecteront les règles de confidentialité en vigueur au Québec et au Canada, et ce, dans tous les pays.

Vos données de recherche seront conservées aussi longtemps qu'elles peuvent avoir une utilité pour l'avancement des connaissances scientifiques. Lorsqu'elles n'auront plus d'utilité, vos données de recherche seront détruites. Par ailleurs, notez qu'en tout temps, vous pouvez demander la non-utilisation de vos données de recherche en vous adressant au

chercheur ou au co-chercheur responsables de ce projet de recherche. Dans une telle éventualité, vos données de recherche déjà obtenues dans le cadre de ce projet seront néanmoins conservées, analysées ou utilisées, et ce, pour assurer l'intégrité du projet et pour se conformer aux exigences réglementaires, mais aucun nouveau projet ne sera réalisé avec vos données de recherche.

À des fins de surveillance, de contrôle, de protection, de sécurité, la banque de données et de matériel biologique sur les troubles neuro-musculo-squelettique et les troubles apparentés, votre dossier de recherche ainsi que vos dossiers médicaux pourront être consultés par une personne mandatée par des organismes réglementaires ainsi que par des représentants de l'organisme subventionnaire, des établissements ou du Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay-Lac-Saint-Jean. Ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis et les faire rectifier au besoin.

10. Participation à des études ultérieures

Acceptez-vous que le chercheur responsable de ce projet de recherche ou un membre de son personnel de recherche reprenne contact avec vous pour vous proposer de participer à d'autres projets de recherche? Bien sûr, lors de cet appel, vous serez libre d'accepter ou de refuser de participer aux projets de recherche proposés.

Oui Non

11. Possibilité de commercialisation

Les résultats de la recherche découlant notamment de votre participation à ce projet pourraient mener à la création de produits commerciaux et générer des profits. Cependant, vous ne pourrez en retirer aucun avantage financier.

12. Compensation

Vous ne recevrez pas de compensation financière pour votre participation à ce projet de recherche.

13. En cas de préjudice

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit dû à votre participation au projet de recherche, vous recevrez tous les soins et services requis par votre état de santé.

En acceptant de participer à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de vos droits et vous ne libérez pas le chercheur responsable de ce projet de recherche et l'établissement de leur responsabilité civile et professionnelle.

14. Identification des personnes-ressources

Si vous avez des questions ou éprouvez des problèmes en lien avec le projet de recherche ou si vous souhaitez vous en retirer, vous pouvez communiquer avec :

Les chercheurs responsables du projet :

- Rubens da Silva, Ph. D. au 418-545-5011 poste 6123 (les jours ouvrables).
- Julie Bouchard, Ph. D. au 418 545-5011 poste 5667 (les jours ouvrables).
- La responsable du site La Baie, Josée Nepton, pht, au 418 544-3381 poste 268 (les jours ouvrables).

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant à ce projet de recherche

ou si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler, vous pouvez communiquer avec le commissaire aux plaintes et à la qualité des services du CIUSSS du Saguenay–Lac-Saint-Jean au 418 541-7026 ou sans frais 1 877 662-3963.

15. Surveillance des aspects éthiques du projet de recherche

Le Comité d'éthique de la recherche du CIUSSS du Saguenay–Lac-Saint-Jean a approuvé le projet de recherche et en assurera le suivi. Pour toute information, vous pouvez communiquer avec le secrétariat du comité, au 418 541-1234, poste 2369.

Consentement.

Titre du projet de recherche : Développement d'une nouvelle approche clinique en réadaptation pour la prise en charge des personnes âgées avec un trouble neuro-musculo-squelettique et un risque de chutes : projet en partenariat entre l'UQAC et les services gériatriques spécialisés du CIUSSS Saguenay-Lac St-Jean.

1. Consentement du participant

J'ai pris connaissance du formulaire d'information et de consentement. On m'a expliqué le projet de recherche et le présent formulaire d'information et de consentement. On a répondu à mes questions et on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision. Après réflexion, je consens à participer à ce projet de recherche aux conditions qui y sont énoncées.

J'autorise l'équipe de recherche à avoir accès à mon dossier médical.

J'autorise le chercheur responsable ou son équipe à informer mon médecin traitant de ma participation à ce projet et à lui transmettre toute information pertinente:

Oui
Non

Nom et coordonnées du médecin traitant

Nom et signature du participant

Date

2. Signature de la personne qui a obtenu le consentement si différent du chercheur responsable du projet de recherche

J'ai expliqué au participant le projet de recherche et le présent formulaire d'information et de consentement et j'ai répondu aux questions qu'il m'a posées.

Nom et signature de la personne qui obtient le consentement

Date

3. Signature et engagement du chercheur responsable de ce projet de recherche

Je certifie qu'on a expliqué au participant le présent formulaire d'information et de consentement, que l'on a répondu aux questions qu'il avait.

Je m'engage, avec l'équipe de recherche, à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre une copie signée et datée au participant.

Nom et signature du chercheur responsable de ce projet de recherche

Date