

**UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**Évaluation des paramètres de la démarche lors d'une intervention de marche rapide  
avec le port d'une botte de décharge et d'une élévation controlatérale chez une  
population atteinte de neuropathie diabétique périphérique**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA  
MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE**

**PAR  
NIKOLAS BEAUCHESNE**

**JANVIER 2023**

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES  
MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

**Direction de recherche :**

Virginie Blanchette	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom	directrice de recherche

Vincent Cantin	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom	codirecteur de recherche

**Jury d'évaluation**

(Selon le type de travail de recherche, deux à cinq membres de jury doivent être identifiés ci-dessous)

Virginie Blanchette	Directrice de recherche
Prénom et nom	Fonction du membre de jury

Vincent Cantin	Codirecteur de recherche
Prénom et nom	Fonction du membre de jury

François Trudeau	Évaluateur interne - UQTR
Prénom et nom	Fonction du membre de jury

Walha Roua	Évaluatrice externe – Université de Sherbrooke
Prénom et nom	Fonction du membre de jury

## RÉSUMÉ

**Objectifs:** La neuropathie diabétique périphérique (NDP) est une condition pouvant mener à l'ulcère plantaire diabétique. Elle peut aussi contribuer à la sédentarité considérant la physiopathologie et la nature des traitements de l'ulcère notamment celui de la mise en décharge. D'autre part, l'activité physique minimise les complications du diabète, mais certains contextes augmentent les risques d'ulcère plantaire diabétique. Ce mémoire par article vise à identifier les changements spatiotemporels dans la démarche et la faisabilité d'une intervention de marche rapide avec le port d'une botte de décharge et d'une élévation controlatérale chez des individus atteints de NDP.

**Méthode:** Cette étude descriptive comparative incluant 32 participants compare des participants présentant une NDP à ceux avec diabète sans NDP et ceux sans diabète lors d'une marche rapide de 20 minutes à intensité moyenne sans et avec une botte de décharge et élévation controlatérale. La collecte de données inclut les données démographiques, l'évaluation du type de pieds, la présence de déformations et le niveau d'activité physique. Les paramètres de la démarche tels que la vitesse de marche et le pourcentage de double-support ont été mesurés en utilisant des capteurs inertiels d'abord lors d'une marche rapide avec les chaussures des participants, puis avec le port d'une botte de décharge et d'une élévation controlatérale selon l'intervention d'activité physique proposée. De plus, les rétroactions des participants, le niveau de difficulté, les effets indésirables et les données de thermographie cutanée ont été recueillis afin de déterminer la faisabilité

de l'intervention. Des analyses comparatives ont été conduites grâce à des analyses de variances (ANOVA) univariées entre les groupes et les conditions de marche puis des ANOVA à deux facteurs pour l'interaction avec le niveau d'activité physique. Les données quant à la faisabilité ont été analysées en utilisant des statistiques descriptives.

**Résultats:** Les deux groupes avec des participants atteints de diabète ont démontré une diminution de la vitesse de marche et une augmentation du pourcentage de double-support. L'utilisation d'une élévation controlatérale a permis de diminuer l'asymétrie de la démarche en comparaison à une marche avec élévation unilatérale seulement avec botte de décharge. La détérioration de la démarche est plus grande chez les participants présentant un niveau d'activité physique plus bas. Malgré la présence d'événements indésirables mineurs comme un inconfort au mollet pendant l'activité ou une sensation de chaleur dû au port de la botte de décharge, 90% des participants ont mentionné que l'intervention d'activité physique proposée est réalisable quotidiennement. L'analyse de la thermographie cutanée ne démontre pas d'augmentation de température compatible avec la signalisation d'un site à surveiller.

**Implications:** Les résultats de ce mémoire démontrent la faisabilité d'une activité physique d'intensité moyenne, soit une marche rapide de 20 minutes, chez cette population d'intérêt et présentant des caractéristiques similaires. L'utilisation d'une élévation controlatérale avec la botte de décharge atténue les effets négatifs de cette

dernière sur la démarche. Considérant le potentiel de l'intervention, d'autres études sont pertinentes notamment par rapport à son effet sur les pressions plantaires.

Table des matières

<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	viii
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	ix
<b>LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS</b> .....	ix
<b>REMERCIEMENTS ET AVANT-PROPOS</b> .....	x
<b>CHAPITRE 1 – INTRODUCTION</b> .....	11
<b>CHAPITRE 2 - REVUE DE LITTÉRATURE</b> .....	14
<b>2.1 Le diabète et ses complications</b> .....	14
<b>2.1.1 L’ulcère plantaire diabétique</b> .....	17
<b>Évaluation du statut vasculaire</b> .....	18
<b>2.1.2 Prise en charge de l’ulcère plantaire diabétique</b> .....	20
<b>2.2 La neuropathie diabétique périphérique</b> .....	22
<b>2.2.1 La neuropathie autonome périphérique</b> .....	23
<b>2.2.2 La neuropathie motrice périphérique</b> .....	24
<b>2.2.3 La neuropathie sensitive périphérique</b> .....	25
<b>Évaluation de la neuropathie sensitive périphérique</b> .....	27
<b>2.2.4 Les autres types de neuropathie</b> .....	28
<b>2.3 L’activité physique chez les individus atteints de diabète</b> .....	29
<b>2.3.1 Exercice et activité physique</b> .....	29
<b>Évaluation du risque par la thermographie infrarouge</b> .....	32
<b>2.3.2 L’effet des types d’activité physique sur le diabète</b> .....	35
<b>La perception de l’effort</b> .....	38
<b>2.3.3 Modifications de la démarche</b> .....	39
<b>2.3.4 Évaluation des paramètres spatio-temporels de la démarche</b> .....	43
<b>2.4 Gestion de la pression plantaire</b> .....	45
<b>2.4.1 La décharge pour les pieds diabétiques</b> .....	47
<b>2.4.2 Impacts des modalités de décharge sur la démarche</b> .....	51
<b>CHAPITRE 3 – PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE</b> .....	55
<b>CHAPITRE 4 – OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE</b> .....	57
<b>4.1 Question de recherche</b> .....	57

4.2 Objectifs de recherche .....	57
4.3 Hypothèses de recherche .....	58
<b>CHAPITRE 5 – ARTICLE SCIENTIFIQUE .....</b>	<b>59</b>
<b>CHAPITRE 6 – RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES .....</b>	<b>94</b>
6.1. Thermographie cutanée.....	94
<b>CHAPITRE 7 – DISCUSSION .....</b>	<b>96</b>
7.1 Analyse des paramètres de la démarche .....	97
7.1.1 Comparaison entre les conditions de marche.....	97
7.1.2 Comparaison entre les groupes.....	99
7.1.3 Interaction en lien avec le niveau d’activité physique .....	100
7.2 Faisabilité de l’intervention.....	101
7.3 Analyse de la thermographie cutanée .....	102
7.4 Implications cliniques et perspectives de recherche .....	104
7.5 Limites du projet de recherche .....	105
<b>CHAPITRE 8 - CONCLUSION .....</b>	<b>106</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>107</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>cxxvi</b>
Annexe I – Échelle de Borg modifiée sur la perception de l’effort.....	cxxvi
Annexe II – Questionnaire international d’activité physique (QIAP) .....	cxxvii
Annexe III – Fiche de spécifications FLIR™ One Pro .....	cxxx
Annexe IV – Fiche de spécifications <i>GaitUp™ Physilog5</i> .....	cxxxii
<b>ANNEXE V - CERTIFICAT D’ÉTHIQUE.....</b>	<b>cxxxiii</b>



## LISTE DES FIGURES

Figure 1. Physiopathologie du pied diabétique à risque et le pied de charcot. ....	16
Figure 2. Sites de test et d'analyse.....	34
Figure 3. Cycle de la marche chez l'homme .....	38
Figure 4. Pression directe et de cisaillement.....	45
Figure 5. Modalités de décharge amovibles et chaussure de sport .....	48
Figure 6. Botte Samson, aussi appelée « Botte de marche » ou « Botte de Décharge »..	49
Figure 7. Élévation EvenUp™.....	54
Figure 8. Différence de température sur un même site avant et après l'activité physique pour chaque groupe .....	95

## **LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1. Description des fibres nerveuses .....	26
Tableau 2. Types d'activité physique .....	36
Tableau 3. Paramètres de la démarche évalués .....	40

## **LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS**

AP → Activité physique  
MAP → Maladie artérielle périphérique  
MFSW → Monofilament Semmes-Weinstein  
NDP → Neuropathie diabétique périphérique  
NSP → Neuropathie sensitive périphérique  
UPD → Ulcère plantaire diabétique

## REMERCIEMENTS ET AVANT-PROPOS

En premier lieu, je tiens à remercier les participants et tous ceux qui ont permis de près ou de loin à réaliser spécifiquement les étapes de ce projet de recherche jusqu'à sa finalité. Merci à ma directrice, Virginie Blanchette pour son grand soutien tout au long de mon processus de maîtrise, de la sélection du sujet en passant par le recrutement, et ce jusqu'à la rédaction finale de ce mémoire. Malgré toutes les embûches et imprévus, sa disponibilité et son implication m'ont permis de compléter cette grande étape. Je remercie également Vincent Cantin pour son soutien tout au long de mon parcours, pour ses connaissances et sa rigueur scientifique qui ont contribué à la qualité de ce projet de recherche.

J'aimerais aussi remercier Yassin Andoulsi pour sa participation à la collecte de données et au pilote. Alice Wagenaar-Tison pour ses connaissances en kinésiologie et son implication dans le processus de rédaction et de communication scientifique puis à Arthur de Grandpré pour son aide inestimable avec l'analyse des données. J'aimerais aussi remercier mes amis et ma famille pour leurs encouragements.

Finalement, je remercie infiniment ma fiancée Amélie de sa patience et sa compréhension. Merci pour ton support envers mes objectifs personnels et professionnels, mais surtout merci pour ta présence dans les moments plus difficiles, ce mémoire n'aurait jamais été possible sans toi.

En souhaitant que cette étude contribue à l'avancement des connaissances en médecine podiatrice et permette d'améliorer la qualité de vie de la population atteinte de diabète.

## CHAPITRE 1 – INTRODUCTION

Le diabète est une maladie chronique répandue ayant des impacts considérables sur la santé globale de la population et il a été reconnu comme la 15<sup>e</sup> cause la plus importante de perte d'années de vie (Wang et al., 2016). Il s'agit d'une problématique de santé qui impose un fardeau financier estimé à 760 milliards de dollars mondialement sur le système de santé en 2019 (Williams et al., 2020). Le diabète et ses complications, particulièrement celles au niveau des pieds, affectent le quotidien des individus qui en sont atteints, entre autres par la neuropathie diabétique périphérique (NDP) et la maladie artérielle périphérique (MAP). Cela peut notamment engendrer des plaies, appelées ulcère plantaire diabétique (UPD), pouvant même mener à l'amputation (Martins-Mendes et al., 2014). Une littérature substantielle sur la prise en charge du diabète supporte l'activité physique (AP) comme essentielle dans la gestion de la maladie et de ses complications (Colberg et al., 2016). L'AP contribue également à une meilleure santé globale chez cette population et prévient ou retarde l'apparition des complications aux pieds (Colberg et al., 2016). Cependant, elle entraîne généralement une augmentation de la pression plantaire selon la démarche et le type d'activités, ce qui est problématique pour un individu à risque d'UPD, avec un historique ou présentant un UPD actif (Colberg et al., 2016). La prévention et le traitement de l'UPD, bien que complexe, reposent en partie sur la gestion globale du diabète et sur la réduction complète ou partielle de la pression plantaire à l'aide d'une modalité de décharge.

Actuellement, toutes les activités de mise en charge, incluant l'AP, sont à proscrire avec un UPD actif selon les recommandations internationales et nationales (Bus et al., 2020;

Sigal et al., 2018). De plus, il y a très peu de données en contexte d'AP concernant la prévention secondaire pour éviter les récurrences, soit une fois que l'UPD est guéri (Fernando et al., 2021). Il y a d'ailleurs une augmentation importante de la sédentarité chez la population atteinte de diabète pour qui l'AP serait bénéfique pour la santé (Orlando et al., 2021). De plus, la sédentarité a été récemment identifiée comme un prédicteur indépendant de l'UPD chez la population atteinte de NDP (Orlando et al., 2021). Même s'il y a une vaste littérature sur l'effet des modalités de décharge sur les pressions plantaires et la démarche en contexte de NDP, les études en contexte d'AP avec modalité de décharge sont limitées (Brousseau-Foley et al., 2021). Une approche intégrée combinant l'AP avec une modalité de décharge n'a pas été suffisamment étudiée pour permettre des recommandations claires et sécuritaires (Brousseau-Foley et al., 2021).

L'utilisation de modalité de décharge peut créer une inégalité des membres inférieurs et affecter la démarche. Dans ce contexte, l'analyse des paramètres de la démarche avec l'utilisation d'une compensation controlatérale pour limiter l'inégalité créée aux membres inférieurs en contexte d'AP est novatrice. Ce sont des travaux préliminaires pertinents afin de comprendre les effets de l'AP lors d'un traitement de mise en décharge sur des pieds à risque d'UPD. Ce mémoire vise l'évaluation des paramètres spatio-temporels de la démarche chez des individus atteints de diabète et de NDP avec une botte de décharge et une semelle d'élévation controlatérale dans un contexte d'AP accessible et sécuritaire, ne nécessitant pas d'équipement ou de coûts supplémentaires. Cela a pour but de récolter des données préliminaires en lien avec l'AP afin d'évaluer les changements dans les paramètres de la démarche et d'apporter des pistes de discussion en lien avec les risques

de chute, d'ulcération et d'augmentation des pressions plantaires. Ainsi, cette AP pourrait alors éventuellement faire l'objet de recherche plus approfondie, notamment par rapport aux pressions plantaires et en contexte d'UPD actif.

## CHAPITRE 2 - REVUE DE LITTÉRATURE

### 2.1 Le diabète et ses complications

Le diabète est une maladie chronique qui touche actuellement près de 463 millions d'individus mondialement et qui entraîne plusieurs complications diminuant ainsi la santé globale des nombreux individus atteints (International Diabetes Federation, 2021). Il s'agit d'un problème métabolique de l'assimilation des glucides dans le sang entraînant d'abord l'hyperglycémie et puis, l'hypoglycémie, pouvant mener au coma diabétique et même à la mort (Centers for Disease Control and Prevention, 2011). Les principales complications du diabète résultent en une inflammation généralisée asymptomatique et à une diminution du système immunitaire engendrée par cette hyperglycémie prolongée (Shoelson et al., 2006). L'atteinte générale du diabète au niveau vasculaire entraîne un rétrécissement de la lumière des vaisseaux sanguins et un durcissement de la paroi des vaisseaux de petit et gros calibres (Tsalamandris et al., 2019). L'atteinte microvasculaire peut causer la rétinopathie, étant reconnue comme la cause principale de cécité mondialement, la néphropathie, menant à l'insuffisance rénale terminale et à l'artériopathie périphérique, causant la neuropathie diabétique périphérique (NDP) (Klein, 2007; Tooke, 1995). L'artériopathie comprend l'atteinte macrovasculaire qui augmente les risques d'accidents vasculaires cérébraux et autres maladies cardiovasculaires (Matheus et al., 2013). Puis, elle inclut l'atteinte microvasculaire qui augmente notamment le risque de développement de la maladie artérielle périphérique (MAP), une atteinte aux petits vaisseaux retrouvés au niveau des membres, notamment aux pieds (Baumgartner et al., 2005). Pour cette raison, la MAP est de huit à dix fois plus

élevée chez les individus atteints de diabète (Jude et al., 2010). Elle contribue particulièrement aux problèmes de guérison de plaies comme l'ulcère plantaire diabétique (UPD), aux amputations au membre inférieur et à d'autres complications du diabète reliées à la NDP (Jude et al., 2010). La MAP se traduit par une diminution de l'apport en oxygène et de la perfusion sanguine au niveau des tissus périphériques qui fragilisent alors la protection cutanée et diminue également sa capacité de cicatrisation lors d'une rupture cutanée (Abdulhannan et al., 2012; Coppelli et al., 2018). La MAP et la NDP sont des comorbidités au diabète favorisant le pied diabétique, une physiopathologie complexe pouvant évoluer vers l'UPD, présente chez environ 1,7% des individus atteints de diabète au Canada (Aronson et al., 2021). Celle-ci, avec un risque augmenté d'infection, entraîne dans certains cas une amputation au membre inférieur (Figure 1). Ultiment, ces complications peuvent mener à la mort précoce des individus qui en sont atteints (Martins-Mendes et al., 2014). Une autre complication du pied diabétique est la neuroarthropathie de Charcot qui est d'ailleurs étroitement liée à la NDP. Cela entraîne des déformations importantes du pied atteint et augmente le risque d'amputation s'il n'est pas diagnostiqué et pris en charge adéquatement (Yammine et al., 2021). D'ailleurs, chez cette population qui présente des déformations importantes sans UPD actif, l'utilisation d'une modalité de décharge est au centre des recommandations actuelles, mais près de 50% des individus atteint d'une neuroarthropathie de Charcot développent un UPD sur le côté controlatéral (Waibel et al., 2020). Dans le cadre préventif de récurrence, l'utilisation des mêmes modalités de décharge que celles décrites pour l'UPD sont mentionnées dans la littérature (Rogers, 2011).



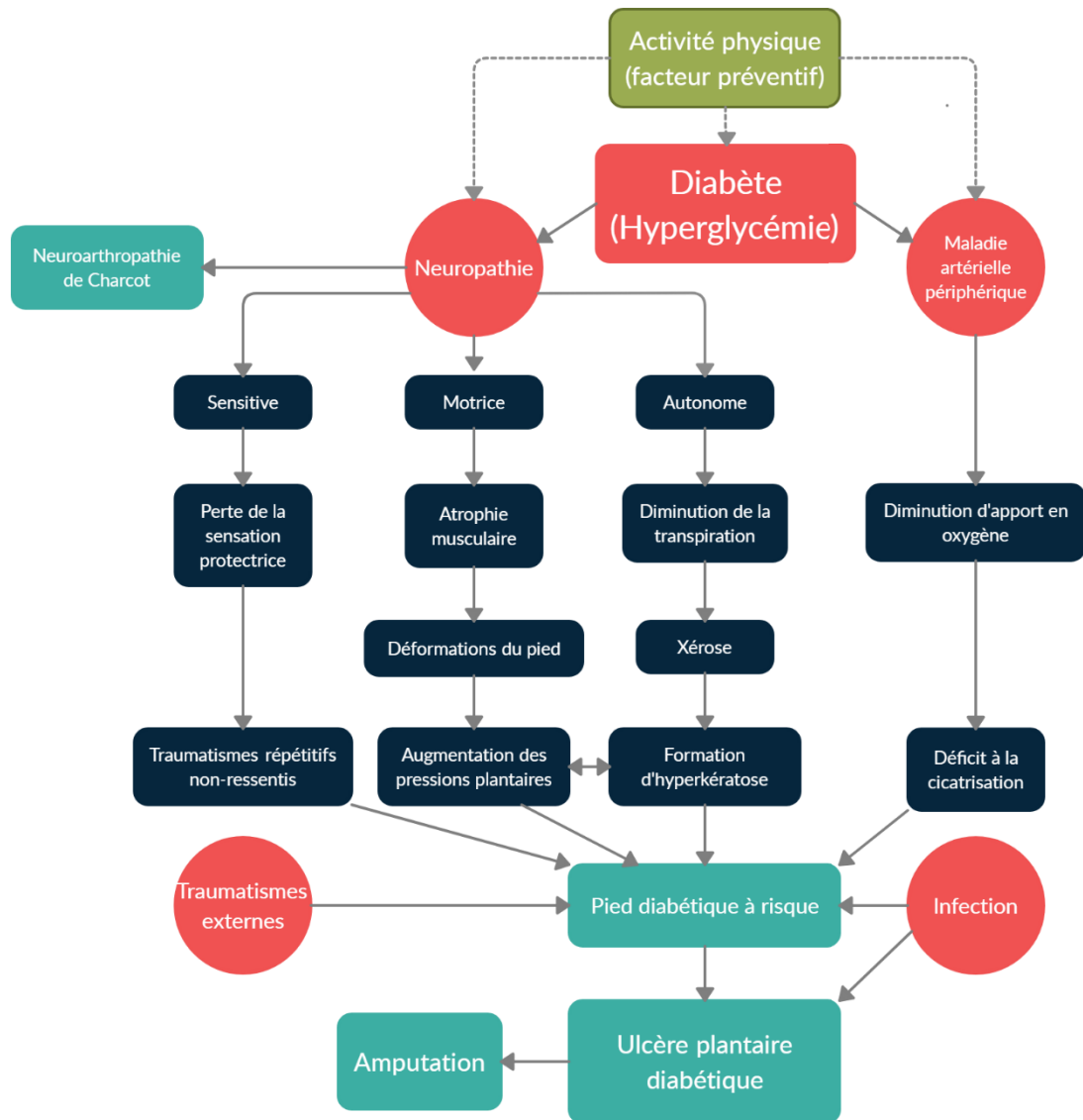


Figure 1. Physiopathologie du pied diabétique à risque et le neuroarthropathie de Charcot (Traduite et adaptée pour y inclure l'activité physique de (Boulton, 2013)). En rouge, les facteurs de risque, en bleu, les conséquences physiologiques et en turquoise, les conséquences cliniques.

### **2.1.1 L'ulcère plantaire diabétique**

Le projet de recherche s'inscrit en amont du développement de l'UPD et vise à mettre de l'avant une approche sécuritaire et préventive chez la population NDP à risque, mais également dans le cadre d'un UPD en rémission. Il est tout de même important d'expliquer la physiopathologie sommaire de l'UPD pour bien comprendre le contexte et l'intérêt de développer l'intervention sous-jacente au projet de recherche. Selon la définition du groupe international de travail sur le pied diabétique, l'UPD est un bris de l'intégrité de la peau au niveau du pied impliquant minimalement une partie du derme chez un individu présentant actuellement ou ayant présenté dans le passé un diagnostic de diabète qui est accompagné d'une NDP et/ou une MAP au membre inférieur (Van Netten et al., 2020). L'UPD est majoritairement présent sur la face plantaire des pieds ou des orteils et se forme entre autres à la suite d'une augmentation de pression (force verticale directe et/ou de cisaillement) importante ponctuelle ou à une augmentation de pression mineure sur une longue période (Figure 1) (Patry et al., 2013). Lorsque l'individu a une perception normale des sensations au niveau des pieds, il y a un mécanisme de réponse rétroactif entraînant une action inconsciente pour corriger la situation (modifier la position du pied) ou donner un signal d'alerte (douleur) lors d'une pression accrue. Cependant, lorsqu'une neuropathie sensitive périphérique (NSP) se développe, ces mécanismes de protection sont altérés jusqu'à une absence complète de la rétroaction sensitive. Ainsi, une problématique mineure d'hyperpression engendrée par un point d'appui ou un corps étranger peut devenir un problème complexe tel que l'UPD (Figure 1).

Au Canada, environ 65% des amputations au membre inférieur sont liées au diabète et un risque important de mortalité est lié à l'UPD (Brousseau-Foley & Blanchette, 2020; Imam et al., 2017). La mortalité à cinq ans associés à l'UPD, aux amputations mineures (distale ou au niveau de la cheville) et aux amputations majeures (au-delà de l'articulation de la cheville) au membre inférieur est respectivement estimé à 31%, 46% et 57% (Armstrong et al., 2013; Armstrong et al., 2020; Van Netten et al., 2020). De plus, les facteurs prédictifs principaux de l'UPD sont la présence d'une NDP, d'une MAP, de déformations au niveau des pieds tels que les orteils marteaux, d'historique d'UPD ou d'amputation antérieure au membre inférieur (Monteiro-Soares et al., 2011). Chez la population atteinte de diabète, le risque d'hospitalisation pour une infection aux pieds est environ dix fois plus élevé (Lavery et al., 2006). Aussi, le risque d'amputation majeure est environ 90 fois plus élevé lorsqu'il y a présence d'infection conjointement avec la MAP que pour la population générale (Prompers et al., 2007). Ainsi, l'atteinte vasculaire devrait donc toujours être évaluée chez cette population pour diminuer les risques d'amputation (Bus et al., 2020; Prompers et al., 2008).

### **Évaluation du statut vasculaire**

Globalement, il y a un pronostic défavorable de l'UPD lorsqu'il est associé à la MAP. Le risque de mortalité double par rapport à un individu atteint de diabète qui ne présente pas ces deux conditions conjointement (Leibson et al., 2004; Soyoye et al., 2021). D'ailleurs, le développement de la MAP est grandement associé avec la sédentarité (Leibson et al., 2004). Effectivement, il a été démontré que chez la population atteinte de

MAP, un niveau d'activité physique (AP) quotidien plus élevé diminue la mortalité ainsi que les événements cardiovasculaires (Garg et al., 2006). La MAP évolue graduellement de la phase asymptomatique vers la phase symptomatique, soit de la présence de claudication intermittente, de douleurs au repos et éventuellement d'ischémie critique pouvant même mener à la gangrène (Long et al., 2004). L'AP et un mode de vie actif influencent considérablement le développement de réseaux collatéraux de vaisseaux sanguins pour ainsi accroître la perfusion sanguine et ralentissent alors le développement de la MAP, tout en augmentant la qualité de vie (Schiattarella, 2014; Heikkilä, 2019). Il y a alors une diminution des risques associés aux pieds diabétiques (Figure 1) (Huysman & Mathieu, 2009).

Il existe plusieurs méthodes pour évaluer le statut vasculaire, dont la palpation des artères tibiales postérieures et dorsales pédiées, le calcul de l'indice de pression systolique cheville-bras, l'indice de pression systolique orteil-bras, l'angiographie et l'évaluation des artères par Doppler auditif incluant la qualité de l'onde sonore (Brownrigg et al., 2013). Selon les recommandations cliniques, l'évaluation devrait être effectuée à l'aide de l'indice de pression systolique orteil-bras, le test d'oxygénation transcutanée ou avec Doppler auditif (Botros et al., 2019). En fait, deux modalités sont minimalement nécessaires et les choix de ces modalités dépendent de la disponibilité des ressources et de l'expertise. Ainsi, les plus accessibles cliniquement, rapides et moins coûteuses sont l'indice de pression systolique cheville-bras et l'utilisation du Doppler auditif. Malgré sa faible spécificité d'environ 35% pour le diagnostic de MAP, le Doppler auditif présente

une sensibilité de 98% pour éliminer la présence de MAP et est une modalité accessible (Alavi et al., 2015).

### **2.1.2 Prise en charge de l'ulcère plantaire diabétique**

La prise en charge nécessite une approche intégrée, rapide et efficace, engendrant des coûts importants au système de santé et de services sociaux (Blanchette & Brousseau-Foley, 2021; Matheson et al., 2021). Les facteurs de risque et comorbidités associés à l'UPD ont un impact important sur le développement et le pronostic de guérison (Prompers et al., 2007). Lorsqu'un individu présente un UPD, sa prise en charge clinique représente un défi de taille autant pour l'individu que pour son entourage et l'équipe de soins (Patry et al., 2021). De ce fait, l'éducation et la prévention primaire permettent de limiter le développement initial de l'UPD par la promotion d'un mode de vie sain, passant notamment par la pratique d'AP et les bonnes habitudes alimentaires (Priyadarshini et al., 2018). Par contre, après le diagnostic d'UPD, plusieurs éléments spécifiques doivent être considérés (Botros et al., 2019; Bus et al., 2016; Schaper et al., 2020). Selon les guides de pratique clinique nationaux et internationaux, il est primordial de :

1. Gérer la pression au site de l'UPD de même que sur les zones fragiles à l'ulcération;
2. Assurer la perfusion artérielle tissulaire et la restaurer au besoin;
3. Si présente, diagnostiquer l'infection et la traiter;
4. Assurer le contrôle métabolique du diabète, des facteurs de risque et des comorbidités;
5. Prodiguer des soins locaux basés sur les besoins de l'UPD;

6. Assurer l'éducation de l'individu atteint et de sa famille, notamment quant aux soins;
7. Prévenir de potentielles récurrences une fois l'UPD en rémission (Bus et al., 2016; Schaper et al., 2020).

Par rapport à ce dernier élément, considérant qu'environ 40% des individus ayant un historique d'UPD présentent une récurrence de l'UPD en un an suivant la guérison, la prévention et la prise en charge globale des facteurs de risque est une partie intégrante des soins de l'UPD (Armstrong et al., 2017). La gestion des pressions plantaires demeure une priorité de la prise en charge, car cela est couramment l'agent causal entraînant le bris cutané responsable de l'UPD (Bus et al., 2016). Cela signifie qu'en plus de toutes les autres interventions de prise en charge, il faut retirer la pression au site de l'UPD par le biais de modalités de décharge des pressions reconnues telles les bottes de décharge, le plâtre et certains types de chaussures pour permettre la guérison (Botros et al., 2019; Schaper et al., 2020).

D'un point de vue clinique, il est actuellement recommandé à l'individu avec l'UPD de limiter, voire proscrire au maximum les activités nécessitant la mise en charge, incluant la marche et les activités de la vie quotidienne, même avec une modalité de décharge puisque la pression, qui engendre une diminution de l'apport vasculaire et nutritionnel au tissu épidermique et sous-cutané, nuit à la rémission. Le tissu est fragilisé et un cercle vicieux de non-guérison s'installe menant à une plaie chronique à risque de complications (Gefen et al., 2008; Luboz et al., 2014). Afin de limiter ces complications, il est important d'avoir un contrôle métabolique rigoureux notamment par de bonnes habitudes de vie

alignant alimentation saine et mode de vie actif, mais également d'effectuer une gestion efficace de ces points de pression chez la population atteinte de NDP (Robinson et al., 2013; Wang & Hu, 2018). Cependant, une diminution du nombre de pas quotidien permet une guérison plus rapide, mais augmente la sédentarité de la population et conséquemment les comorbidités et facteurs de risque métabolique (Bus et al., 2004; Gray et al., 2018).

## **2.2 La neuropathie diabétique périphérique**

La NDP est une condition présente chez 90% des individus qui développent un UPD et chez tous les individus avec neuroarthropathie de Charcot (Hwang et al., 2017). Elle se développe à la suite de la destruction des *vasa vasorum*, vaisseaux responsables de l'irrigation des nerfs périphériques, une conséquence de l'hyperglycémie chronique (Figure 1, section 2.1) (Guthrie & Guthrie, 2004). Cela a pour conséquence de diminuer graduellement la conduction nerveuse, particulièrement au niveau des pieds puisque la conduction est longueur-dépendante (Guthrie & Guthrie, 2004). Elle atteint donc la portion distale des nerfs les plus longs d'abord, de l'extrémité distale (orteils) vers le proximal (Guthrie & Guthrie, 2004). Il existe différents types de neuropathies liées au diabète, dont les neuropathies autonomes, motrices et sensitives périphériques. La prise en charge clinique de celles-ci est principalement basée sur le contrôle symptomatique puisqu'il n'y a pas à ce jour de traitement (Feldman et al., 2019; Sloan et al., 2021). Cela supporte l'importance d'agir en prévention pour éviter son développement et sa progression (Wong et al., 2007). Actuellement, le contrôle glycémique est la seule méthode reconnue en prévention, mais également en termes de contrôle des symptômes

de NDP(Callaghan et al., 2012). Il faut alors miser sur l'éducation et soutenir les bonnes habitudes de vie telles l'alimentation et l'activité physique puisqu'il a été démontré que cela permet le ralentissement du développement de la neuropathie (Feldman et al., 2019; Nolan et al., 2016). L'effet de ces neuropathies sur le développement de complications au niveau des pieds est présenté dans les sous-sections suivantes.

### **2.2.1 La neuropathie autonome périphérique**

La neuropathie autonome périphérique atteint spécifiquement le système nerveux autonome et engendre principalement un trouble de la vasorégulation et la formation de shunts artérioveineux. Cela occasionne alors la diminution de la perfusion tissulaire au niveau des pieds. Par rapport au pied diabétique, la neuropathie autonome périphérique résulte en une diminution de la sudation et une perte d'intégrité de la peau comme la xérose plantaire, l'hyperkératose et les fissures (Vinik et al., 2003). Cette fragilité rend les pieds plus susceptibles aux blessures et à l'infection. Les micro-organismes commensales de la peau, comme le staphylocoque doré (*Staphylococcus aureus*) peuvent pénétrer plus facilement la barrière cutanée et immunitaire, facilité également par la diminution du système immunitaire engendrée par le diabète (Boyko et al., 1999; Pickup, 2004). La détection et le diagnostic de la neuropathie autonome périphérique s'effectuent seulement par la reconnaissance clinique des signes expliqués précédemment ou par des tests paracliniques tel le *Neuropad* (Trigocare International, Allemagne), *Sudoscan* (Impeto Medical, France) ou Quantitative Sudomotor Axon Reflex Test (Carmichael et al., 2021).



### **2.2.2 La neuropathie motrice périphérique**

La neuropathie motrice périphérique réfère à l'atteinte des nerfs moteurs du système nerveux périphérique. De ce fait, les muscles innervés par les nerfs atteints, notamment les muscles intrinsèques des pieds comme le carré plantaire, les lombricaux et l'abducteur de l'hallux seront progressivement atrophiés dû à la diminution de la conduction nerveuse (Bus et al., 2002). Ils ne peuvent plus effectuer leur fonction dans le maintien de l'équilibre musculosquelettique au niveau des articulations (Andersen, 2012). Ainsi, ce déséquilibre contribue à la formation de certaines déformations locales comme les orteils marteaux ou l'hallux abducto-valgus et à l'augmentation des pressions à des points précis (Andersen, 2012). Les orteils marteaux engendrés par la contraction musculaire, augmentent la pression plantaire à l'avant-pied, plus particulièrement au niveau des têtes métatarsiennes et à la pulpe des orteils (Caselli et al., 2002; Fernando et al., 2013). En plus de la neuropathie motrice périphérique, la glycosylation tissulaire, principalement au niveau des tissus mous comme les tendons et ligaments, associée à l'hyperglycémie exacerbe les déformations (Couppé et al., 2016). Par exemple, au niveau du tendon calcanéen, cela entraîne une réduction de la flexion dorsale à la cheville ou équin à la cheville, chez la population atteinte de NDP et une modification de la démarche. Cela favorise également l'augmentation de pression à l'avant-pied et peut modifier la présentation du type de pied notamment en engendrant un affaissement de l'arche et/ou un valgus calcanéen (Wrobel & Najafi, 2010). Ces déformations sont également impliquées dans le développement de la neuroarthropathie de Charcot. Les déformations associées à la neuropathie motrice périphérique présentées précédemment augmentent

l'exposition de régions déjà à risque ou vulnérables à la rupture cutanée considérant l'augmentation des pressions par compression ou cisaillement entre le sol et les proéminences osseuses (Fernando et al., 2013). D'ailleurs, cette augmentation de pression et la modification de la démarche contribuent, en grande partie, au développement et à la récurrence d'UPD. Ainsi, cette composante doit être prise en charge par différents moyens préventifs et thérapeutiques. La détection clinique de la neuropathie motrice périphérique se base principalement sur l'évaluation des réflexes aux membres inférieurs, la détection de déformations locales, l'évaluation de la force musculaire au niveau de la cheville et du pied et l'analyse de la démarche (Andersen, 2012).

### **2.2.3 La neuropathie sensitive périphérique**

Le dernier type de NDP est la neuropathie sensitive périphérique (NSP) et représente la neuropathie la plus répandue. Elle affecte environ 50% des individus atteints de diabète au cours de leur vie (Gregg et al., 2004; Juster-Switlyk & Smith, 2016; Young et al., 1993). La NSP se caractérise par la perte de la sensation protectrice au niveau des extrémités des membres résultant en une incapacité de détection d'une pression excessive ou d'une blessure directe. En effet, celle-ci se développe à la suite de la glycosylation des nerfs périphériques sensitifs afférents de petites et larges fibres détruisant alors le nerf et sa fonction (Duby et al., 2004). La NSP se caractérise par une anomalie et/ou une perte partielle ou totale des sensations de la douleur, de la pression légère et de la température. Ces pertes dépendent des fibres spécifiques atteintes présentées au tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1. Description des fibres nerveuses (adaptée de Yvon et al., 2018)

Classification	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Type	Fonction
A $\alpha$ (alpha)	12-22	Sensitif/moteur	Proprioception, toucher léger, somation motrice extrafusale
A $\beta$ (bêta)	5-12	Sensitif/moteur	Proprioception, toucher/pression sensitive, somation motrice intrafusale
A $\delta$ (delta)	1-5	Sensitif	Thermorécepteurs au froid, toucher et nociception
A $\gamma$ (gamma)	2-8	Moteur	Somation motrice intrafusale
B	<3	Autonome	Fibres afférentes viscérales et fibres efférentes préganglionnaires
C	0.1-1.3	Sensitif/autonome	Température (récepteurs au chaud), perception douloureuse, nociception et démangeaison

L'atteinte sensitive peut donc affecter les sensations algésique, thermique, protopathique, pallesthésique, proprioceptive et épicrotique. Cela résulte en une incapacité pour l'individu atteint à détecter, par exemple, un traumatisme mineur comme la présence d'un corps étranger dans la chaussure, l'eau d'un bain trop chaud, l'atteinte du froid et des microtraumas répétitifs comme la pression d'une callosité plantaire ou le frottement d'un orteil dans une chaussure non adaptée. Tel que mentionné précédemment, cette diminution de sensibilité est souvent l'élément déclencheur d'une rupture de la barrière cutanée et entraîne alors la cascade physiopathologique vers l'UPD, en concomitance avec les autres facteurs de risques et comorbidités (Figure 1, section 2.1). Elle peut aussi engendrer le développement de perceptions erronées telles des douleurs dites neuropathiques, présentes chez environ 20 à 30% des individus atteints de NSP (Davies

et al., 2006; Peltier et al., 2014). Cela peut affecter de manière importante leur qualité de vie (Wong et al., 2007).

### **Évaluation de la neuropathie sensitive périphérique**

L'évaluation clinique de la sensation protectrice au niveau des pieds permettra de définir une des caractéristiques essentielles de la population à l'étude, soit la présence de NSP. Le diagnostic de NSP peut être effectué par plusieurs méthodes cliniques, mais aucune d'entre elles n'a été éprouvée ayant une sensibilité assez grande pour effectuer un diagnostic clinique précis, rapide et non invasif (Hoitsma et al., 2004). Quelques nouveaux outils intéressants tels le *DPNCheck* (NeuroMetrix, USA) et le *Sudoscan* (Impeto Medical, France) ont été développés pour le diagnostic rapide de la NDP, mais des études de validité sont nécessaires avant d'en faire la recommandation clinique de routine (Sloan et al., 2021). Le diagnostic clinique de la NSP est donc principalement basé sur la détection d'une perte de sensation protectrice comme définie précédemment par différentes méthodes dont le calcul de la vitesse de conduction nerveuse, la sensation tactile fine par le test du monofilament Semmes-Weinstein 10g (MFSW), avec le test d'Ipswich ou avec la perte de la sensation pallesthésique par le test du diapason 128 Hz (Bus et al., 2020). De façon générale, l'utilisation de deux modalités de dépistage permet de conclure à la perte de la sensation protectrice et d'avoir une forte suspicion de NSP chez cet individu (Bus et al., 2020). Le test du MFSW peut être effectué en 1, 4 ou 10-points à la surface du pied et doit être effectué bilatéralement. La méthode en 4-points est reproductible et plus rapide à réaliser que les autres techniques et présente une spécificité

d'environ 73% ainsi qu'une sensibilité d'environ 47% (Brown et al., 2017). Le test de la sensation pallesthésique avec diapason 128 Hz présente pour sa part une spécificité de 75% et une sensibilité à 50% (Brown et al., 2017). Ces deux méthodes sont peu invasives, peu coûteuses et correspondent aux recommandations nationales (Blanchette & Brousseau-Foley, 2020; Ivers et al., 2019).

#### **2.2.4 Les autres types de neuropathie**

Il existe également plusieurs autres types de neuropathie qui ne sont pas liés spécifiquement au diabète, mais qui ont parfois une symptomatologie comparable à la NDP. Ainsi, ces types peuvent être également présents chez un individu atteint de diabète et être confondus avec d'autres problèmes neurologiques. Les neuropathies aiguës notamment, qui peuvent être causées par des problèmes inflammatoires ou infectieux aigus, par exemple lors du syndrome de Guillain-Barré (Ginsberg, 2020). Un autre type est la neuropathie focale ou multifocale, qui est secondaire à une blessure nerveuse (Fuller, 2003).

## **2.3 L'activité physique chez les individus atteints de diabète**

L'AP peut retarder le développement du diabète type 2 en améliorant le contrôle glycémique, la sensibilité à l'insuline, la pression artérielle et les facteurs de risque cardiovasculaires (Colberg et al., 2016). De plus, la diminution de la sédentarité est associée à une baisse du risque de décès prématuré. Ainsi, chez la population atteinte de diabète, une littérature scientifique abondante a établi une association favorable entre l'AP et la prévention du diabète ainsi que la gestion de celle-ci et de ses complications (Jeon et al., 2007; Wahid et al., 2016).

### **2.3.1 Exercice et activité physique**

Chez la population générale, les recommandations d'AP sont d'effectuer au moins 150 minutes d'exercice aérobique et deux à trois séances d'entraînement en résistance par semaine (Ivers et al., 2019; Tremblay et al., 2011). De plus, Diabète Canada recommande actuellement à la population atteinte de diabète, avec atteinte neuropathique ou non, de suivre également ces recommandations. Différents types d'activité physique sont pertinents chez cette population et sont présentés dans le tableau 2 (Section 2.3.2).

Malgré le fait que l'AP n'est pas contre-indiquée chez les individus atteints de diabète et de NDP, l'intégration de celle-ci dans le quotidien présente certaines barrières supplémentaires. Effectivement, certains défis psychologiques dont un plus haut taux de dépression chez la population est un facteur limitant à l'AP (Ali et al., 2006; Zoe, 2009). Aussi, les douleurs neuropathiques peuvent rendre l'AP moins intéressante et plus difficile à initier pour la population qui en est atteinte (Brod et al., 2015; Laranjo et al.,

2015). Une littérature substantielle a été établie sur l'AP en contexte de NDP, démontrant une amélioration de la condition physique générale, du niveau d'AP et de la démarche sans effets négatifs importants. Plusieurs études ont évalué le risque d'UPD chez ces patients en effectuant des programmes d'augmentation de l'AP graduelle sous surveillance, particulièrement avec la marche sur tapis roulant à intensité moyenne (Dixit et al., 2014; Lemaster, 2008; Mueller et al., 2013).

L'intervention proposée dans ce projet cadre dans les recommandations d'AP aérobique chez la population présentant une NDP. D'autre part, les exercices en résistance tel l'exercice de Buerger, qui consiste à effectuer une élévation graduelle de la jambe à 45-90 degrés jusqu'à l'obtention d'une pâleur, puis à redescendre celle-ci pour 5-10 minutes, ont démontré une amélioration des symptômes de NDP chez la population à risque d'UPD (Diabetes Canada Clinical Practice Guidelines Expert Committee, 2018; Hidayati et al., 2021). Cet effet est associé à une augmentation de la perfusion tissulaire, particulièrement chez les individus atteints de diabète et de MAP (Radhika et al., 2020). Il y a actuellement un changement de paradigme en lien avec l'AP chez cette population à risque d'UPD considérant que récemment, la sédentarité de l'individu atteint de diabète a été identifiée comme un facteur prédictif indépendant du développement de l'UPD (Orlando et al., 2021). Ainsi, plusieurs auteurs recommandent l'instauration de stratégies diminuant la sédentarité comme standard de soin de la population atteinte de diabète. Une approche récente à l'AP chez cette population a été proposée, mais n'a pas encore été validée où l'AP aérobique en charge à intensité moyenne (entre 40 et 70% de la fréquence cardiaque maximale) pourrait permettre une meilleure protection cutanée au niveau de la plante des

pieds chez la population atteinte de NDP pour mieux compenser le stress de la mise en charge (Crews et al., 2016; Liao et al., 2019; Matos et al., 2018). Cela fait référence au concept d'adaptation tissulaire au stress plantaire qui a été décrit par la théorie du stress physique. Il s'agit d'un phénomène qui serait présent dans tous les tissus corporels, de la peau plantaire au système cardiovasculaire, où plus il y a de stress sur le tissu, plus celui-ci s'adapte et peut résister à un stress élevé (Mueller & Maluf, 2002). Cette approche favorisant les activités de mise en charge chez la population atteinte de NDP a été proposée puisqu'il a été démontré qu'il n'y aurait pas d'augmentation significative du risque d'UPD malgré une augmentation du nombre de pas quotidien (Lemaster et al., 2008). Une augmentation du volume d'activité avec charge chez cette population permettrait même d'améliorer la microvascularisation et diminuer la rigidité des tissus mous, ce qui pourrait diminuer le risque d'UPD (Ren et al., 2021). Une récente revue de portée a démontré une tendance favorable à l'AP sans mise en charge chez une population présentant un UPD actif, mais suggère d'être prudent quant à l'activité avec mise en charge tant qu'il n'y aura pas plus de données de grande qualité à ce sujet (Brousseau-Foley et al., 2021). Ainsi, cela est toujours en adéquation avec les recommandations actuelles d'AP en charge chez les individus atteints d'un UPD actif, mais il a récemment été démontré que les interventions d'AP sans charge permettent un certain niveau de diminution de la taille de plaie sans conséquences négatives sur l'individu. À condition d'avoir davantage de données avec des devis méthodologiques forts et rigoureux, cette tendance a le potentiel d'aboutir vers une nouvelle recommandation sur l'intégration de ce type d'activités (Tran & Haley, 2021). En revanche, il est important de considérer que



les résultats de cette dernière revue systématique se basent sur une littérature hétérogène et ne permet pas d'en tirer des recommandations cliniques (Brousseau-Foley & Blanchette, 2021; Tran & Haley, 2021). Ces données probantes récentes supportent ainsi la nécessité d'approfondir les connaissances sur les effets de l'AP chez cette population dans le but de soutenir leur santé tout en limitant des complications découlant de leur diabète. De plus, il est important de considérer de bien doser le retour à l'activité après la guérison d'un UPD, ce qui peut également être complexe. Le concept d'adaptation tissulaire s'applique très bien à ce contexte et une approche graduelle et prudente de retour à l'activité a été proposée par l'équipe du « Rancho Los Amigos National Rehabilitation Center » (Fernando et al., 2021). Les auteurs recommandent une augmentation d'environ 1000 pas par semaine ainsi qu'une transition graduelle de la botte de décharge vers une chaussure de sport bien adaptée à la morphologie des pieds. De plus, les auteurs recommandent également un suivi visuel rigoureux et si possible, un suivi à l'aide d'un système de thermographie cutanée afin de détecter la présence d'une augmentation locale de température après une AP (Fernando et al., 2021).

### **Évaluation du risque par la thermographie infrarouge**

Il a été proposé que la prise de température cutanée plantaire permettrait de mettre en évidence la présence de régions à risque d'UPD (Armstrong et al., 1997; Hernandez-Contreras et al., 2019). Par son utilisation rapide, simple, non invasive et sans contact, cette modalité est de plus en plus étudiée et elle fait l'objet de recommandations cliniques récentes (Schaper et al., 2020). La thermographie infrarouge permettrait la détection

précoce de l'UPD par une augmentation locale de la température (Bus, 2016; Ring, 2010). La prise de données peut être effectuée à l'aide de différents appareils, le but étant d'extraire une image où chaque pixel présente une valeur thermique. Les caméras thermiques sont de plus en plus accessibles et certains outils tel que l'appareil *One Pro* (FLIR™, USA) par son utilisation à l'aide d'un téléphone intelligent, offre une simplicité d'utilisation en contexte de recherche, mais également pour une utilisation clinique à la maison puisqu'il est très abordable. Cet outil permet la détection entre -20 et 400 °C à une résolution de 0,1 °C avec une précision de  $\pm 3$  °C (voir annexe III). L'analyse de la température cutanée à l'aide de la thermographie infrarouge en présence de pieds diabétiques peut être effectuée par trois méthodes distinctes, soit l'analyse individuelle des membres inférieurs, la distribution de la température ou l'analyse asymétrique de la température (Adam et al., 2017). Différentes méthodes ont été proposées pour ce type d'analyse, soit la division en quatre régions représentant les angiosomes, la comparaison de température moyenne et la comparaison en certains points appelés « hot spots » ou points chauds. L'analyse de la température moyenne et des points chauds ont été validés par rapport à l'évaluation du risque d'UPD. Cette dernière méthode ayant démontré une sensibilité de 93% et spécificité de 91% semble devenir un standard (Van Doremalen et al., 2019). Ainsi, l'analyse de la thermographie peut être faite manuellement en comparant les sites identifiés sur la Figure 2 avec le côté controlatéral.

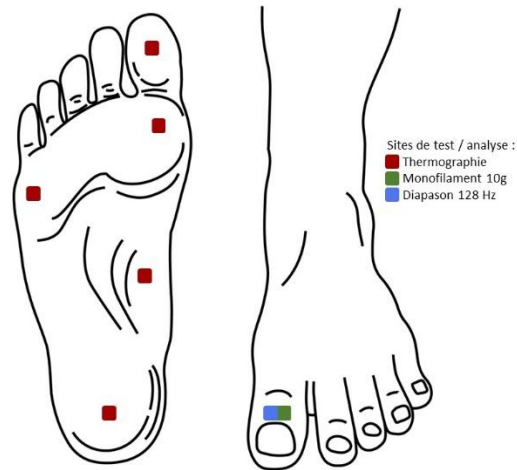


Figure 2. Sites de test et d'analyse

Une différence de température entre le pied sain et le pied à risque de plus de 2,2 °C sur un même site d'évaluation est démontrée comme un marqueur adéquat dans la détection des complications du pied diabétique (Houghton et al., 2013; Van Netten et al., 2013). Il a même été recommandé d'effectuer la prise de thermographie cutanée directement après une AP afin de diminuer les risques de récurrences d'UPD (Petrova et al., 2020). L'approche d'observation de la température cutanée à la maison a pour sa part démontré une diminution de 4,71 fois les récurrences d'UPD et permet un ratio coût-bénéfices très intéressant contrairement à la prise mensuelle de température lors de visites en clinique (Lavery et al., 2004; Lavery et al., 2007). L'avancement des technologies de prise de mesure et d'analyse de thermographie cutanée permet maintenant une utilisation simple à la maison (Hazenberg et al., 2020). Il y a actuellement un intérêt de recherche marqué pour le développement d'algorithmes de détection automatique d'asymétrie de température cutanée dans le domaine de la prévention d'UPD (Guzaitis et al., 2021; Liu

et al., 2015). Il y a même des recherches sur les méthodes d'apprentissage profond par intelligence artificielle, technique qui produit et analyse des modèles d'interaction afin d'en apprendre plus sur l'analyse des images de thermographie et de classifier celles-ci selon les risques d'ulcération du pied diabétique (Cruz-Vega et al., 2020; Magalhaes et al., 2021).

### **2.3.2 L'effet des types d'activité physique sur le diabète**

Il existe trois types d'AP et leurs définitions et effets sur le diabète sont présentés dans le tableau 2 ci-dessous, chacune ayant des avantages spécifiques à long terme (Colberg et al., 2016). Tout d'abord, les exercices avec résistance ont démontré une diminution plus marquée du risque d'hypoglycémie chez les individus atteints de diabète de type 1 (Yardley et al., 2012; Yardley et al., 2013). Autant les exercices avec résistance que aérobiqes ont démontré une diminution des risques associés à l'AP particulièrement sur la santé cardiovasculaire, améliorant donc la santé générale (Yang et al., 2014). D'autre part, aucune étude à ce jour n'a démontré d'effet positif avec les exercices de flexibilité comparativement aux exercices aérobiqes ou contre résistance sur le contrôle métabolique ou les autres complications en lien avec le diabète (Kumar et al., 2016; Lee et al., 2015; Sigal et al., 2018). Ainsi, ces données supportent l'intégration de l'AP contre résistance ou aérobiqes chez la population atteinte de diabète, en mettant l'accent sur l'importance de rester plus actif au lieu de viser un type d'activité spécifique. Les exercices aérobiqes seront abordés plus en profondeur considérant l'ensemble de ses bienfaits chez cette population (Liubaoerjijin et al., 2016; Sigal et al., 2018).

Tableau 2. Types d'activité physique

<b>Types</b>	<b>Définition</b>	<b>Exemples</b>
Exercices contre résistance	Exercices physiques brefs et répétitifs effectués à l'aide de poids, d'appareils à contrepoids, de bandes élastiques ou du corps lui-même pour augmenter la force musculaire, l'endurance musculaire ou les deux.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Exercices en salle d'entraînement</li> <li>2. Exercices avec poids libres</li> </ol>
Exercices de flexibilité	Visent à améliorer l'amplitude des mouvements.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Tai-chi</li> <li>2. Yoga</li> </ol>
Exercices aérobiques	Mouvements rythmiques et sans interruption des grands groupes musculaires, habituellement pendant au moins 10 minutes à la fois.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Bicyclette</li> <li>2. Marche rapide</li> <li>3. Course</li> <li>4. Danse</li> <li>5. Natation</li> </ol>

De manière plus générale, l'AP contribue à une meilleure santé globale chez la population atteinte de diabète par l'augmentation de l'endurance physique, la perte de poids et l'amélioration de la capacité cardiorespiratoire (Colberg et al., 2016). Elle permet aux individus atteints de diabète, particulièrement de type 2, de mieux contrôler la glycémie, d'améliorer le bilan métabolique, entre autres la valeur d'hémoglobine glyquée (HbA1c) et le bilan lipidique, et d'abaisser, de façon générale, la mortalité cardiovasculaire notamment par un meilleur contrôle des facteurs de risque (Church et al., 2005; Tikkanen-Dolenc et al., 2017). Plus spécifiquement par rapport aux individus avec des pieds diabétiques à risque, les exercices aérobiques ont démontré des bénéfices sur la redistribution des pressions plantaires ainsi qu'une amélioration de la conduction nerveuse et de la fonction sensorielle périphérique (Figure 1, section 2.1) (Matos et al.,

2018). Par exemple, les exercices aérobiques comprennent la marche rapide, la danse, la bicyclette, la natation, et permettent l'amélioration de la santé cardiovasculaire, de la performance et de la santé générale de l'individu (Church et al., 2005). La marche (ou ambulation) se définit comme une activité servant de mode de locomotion qui consiste à une succession de pas. En ce qui a trait à la démarche, il s'agit de la manière de marcher et donc, représente les caractéristiques particulières de la marche.

La marche est l'AP la plus accessible et répandue, qui nécessite le moins d'équipement et de matériel (Bureau of Labor Statistics, 2016). Pour cette raison, il s'agit de l'AP qui a été développée comme intervention dans le cadre de ce projet. Aussi, la marche peut être plus facile à intégrer dans la vie quotidienne de la population ciblée par son accessibilité et simplicité de réalisation (Dunton & Schneider, 2006). Le cycle de la marche est composé des différentes phases décrites dans la Figure 3 ci-dessous et se définit comme l'ensemble des événements entre le contact d'un pied jusqu'au prochain contact du même pied (Kharb et al., 2011). On y distingue la phase d'appui et la phase d'oscillation pour chaque membre inférieur, qui se superposent pendant le double-support.

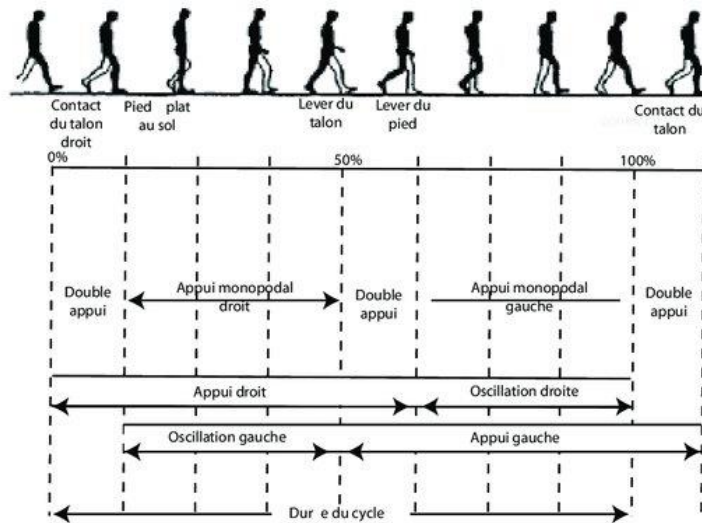


Figure 3. Cycle de la marche chez l'homme (D'Angéli-Chevassut et al., 1996)

### La perception de l'effort

Dans le cadre d'une évaluation de faisabilité ou d'une nouvelle approche, il est pertinent de récupérer des résultats de perception puisque les participants doivent être confortables et à l'aise avec l'AP réalisée. La difficulté de l'activité et la perception de l'effort par un individu en particulier sont à différencier. La perception étant différente pour chaque individu, elle est importante à considérer, même lors d'une activité aussi simple que la marche à vitesse normale ou plus rapide, car elle peut être considérée comme une AP chez une population moins active comme celle atteinte de NDP (Mueller et al., 2013; Sigal et al., 2018). La perception de l'effort peut être évaluée à l'aide de l'échelle de Borg modifiée, outil validé chez la population atteinte de diabète (voir annexe I) (Rosales et al., 2016). La perception de l'effort peut donc être utile à des fins d'évaluation de la faisabilité et la difficulté de l'AP.

### **2.3.3 Modifications de la démarche**

Le diabète et particulièrement la NDP, peu importe le type, entraîne des changements dans la démarche en lien avec l'équilibre, le cycle de marche et la posture (Alam et al., 2017). D'ailleurs, ces modifications peuvent augmenter jusqu'à 20 fois les risques de chute chez la population NDP (Cavanagh et al., 1992; Mustapa et al., 2016; Richardson et al., 1992). Plusieurs paramètres pertinents à l'analyse de la démarche ont été identifiés dans la littérature, soit la vitesse de marche, la longueur de pas, la durée du cycle de marche, le pourcentage de double-support, le dégagement minimal des orteils, la variabilité de longueur de pas, le pourcentage de phase d'appui et le déplacement latéral dans le balancement (voir tableau 3) (Saboor et al., 2020). Le dégagement minimal des orteils a été identifié comme un facteur de risque de chutes lorsqu'il présente une valeur sous 10 mm ou une grande variabilité, particulièrement chez la population âgée (Johnson et al., 2007; Killeen et al., 2017). Une diminution de la stabilité et de la précision des pas, qui est observée avec la NDP et la rétinopathie diabétique, pourraient jouer un rôle prédominant dans ce plus grand risque de chute (Fortaleza et al., 2014; Handsaker et al., 2016; Khan & Andersen, 2022; Reeves et al., 2021). Aussi, il a été démontré que chez une population atteinte de NDP effectuant un programme de marche incluant des exercices visant à améliorer l'équilibre, seul l'équilibre est amélioré, mais il n'y a pas de diminution du risque de chute (Lima et al., 2021). En effet, il a été évalué que l'impact de ces chutes liées à la NDP peut mener à une détresse psychologique et à la peur de chuter (Reeves et al., 2021). Cela mène donc à une augmentation de la sédentarité par l'autolimitation à l'AP associée à l'instabilité (Alam et al., 2017).



Tableau 3. Paramètres de la démarche évalués (tirés de Barrett et al., 2010; Ewins & Collins, 2014)

<b>Paramètres</b>	<b>Explications</b>	<b>Valeur attendue chez la population saine</b>
Asymétrie	Ratio des phases de balancement, exprimé en pourcentage (%)	0%
Latéralité du centre de masse	Déplacement latéral du pied lors de la phase de balancement par rapport au trajet direct vers l'avant (cm)	3 à 8 cm
Cadence	Nombre de pas par minute (pas/minute)	100 à 117 pas/minute
Longueur de pas	Distance entre deux pas d'un même pied, du talon au talon (m)	0,63 à 1,10 m selon la taille
Durée du cycle de marche	Le temps écoulé entre deux événements de contact du talon d'un même côté (secondes)	0,98 à 1,07 seconde
Pourcentage de double-support	Pourcentage de temps passé en double-appui dans un cycle de marche complet (%)	20 à 40%
Dégagement minimal des orteils	Hauteur minimale des orteils durant la phase d'oscillation (mm)	10 à 20 mm

La variabilité dans la démarche, autant temporelle (cycle de la marche) que spatiale (longueur de pas et largeur de la base de support) est aussi augmentée chez la population atteinte de NSP (DeMott et al., 2007; Manor et al., 2008). Ces effets sont encore plus marqués lors de la marche sur une surface irrégulière (Menz et al., 2004). En comparaison avec la population saine, les individus atteints de diabète présentent une augmentation de la déviation excentrique du centre de masse dans l'axe médio-latéral et longitudinal, ce qui nécessite un plus grand effort musculaire afin de conserver une posture adéquate nécessaire à la marche (Brown et al., 2015; Sawacha et al., 2009). Chez la population présentant une NDP, une augmentation du temps de la phase d'appui est observable (Giacomozzi et al., 2002). De plus, plusieurs changements dans la démarche ont été observés chez cette population dont : (1) une diminution de la vitesse de marche, (2) une diminution de la longueur de pas, (3) une diminution de l'extension au genou et (4) une diminution de la flexion plantaire et dorsale à la cheville (Fernando et al., 2013; Menz et al., 2004). Le déplacement excentrique du centre de masse et les différents changements décrits précédemment augmentent alors les risques de chute chez cette population qui s'étend au-delà des risques de blessures physiques (Toloza et al., 2020).

L'ensemble de ces modifications chez la population présentant une NDP ont pour effets de diminuer les impacts physiques du cycle de marche au niveau des articulations. En revanche, considérant la diminution d'amplitude de mouvement au sein de ces articulations, un effort musculaire supplémentaire est alors nécessaire pour effectuer un même mouvement chez cette population comparativement à la population saine (Brown et al., 2014). Ainsi, l'individu, davantage engagé musculairement simplement pour marcher, a moins la capacité musculaire de s'adapter rapidement aux perturbations de son

environnement comme une irrégularité du sol ou un obstacle entraînant un déséquilibre et a donc un risque supérieur de chuter (Menz et al., 2004). D'ailleurs, la demande énergétique de la démarche, déjà supérieure chez la population atteinte de diabète, est encore plus marquée chez la population présentant spécifiquement la NDP (Petrovic et al., 2015). Aussi, la perte des capacités sensitives typique de la NSP limite également la signalisation sensorielle, soit la rétroaction du contact initial du pied au sol et altère ainsi l'équilibre statique et dynamique (Brown et al., 2015; Callaghan et al., 2012). Somme toute, les modifications de l'équilibre, de la démarche et de la posture engendrées par la NDP augmentent les risques de chute ainsi que les difficultés lors de la démarche et rendent l'ambulation plus difficile chez cette population. Il est donc important de considérer cette réalité dans l'intervention d'AP, la sélection des participants et l'évaluation clinique préventive.

### **2.3.4 Évaluation des paramètres spatio-temporels de la démarche**

L'analyse de la démarche peut être effectuée avec plusieurs modalités, soit par l'analyse vidéo, l'utilisation de capteurs au sol ou l'utilisation de capteurs positionnés directement sur l'individu (Muro-De-La-Herran et al., 2014). Chacune de ces modalités comporte des avantages et désavantages, principalement en lien avec la durée de vie de la batterie intégrée, mais les technologies actuelles permettent une durée plus qu'adéquate sur des capteurs de petite taille et abordables (Benson et al., 2018). Les capteurs portés par l'individu permettent également une supériorité par rapport à leur versatilité et leur application clinique. Ceux-ci sont aussi beaucoup plus simples d'utilisation et permettent un usage à la maison par l'individu lorsque nécessaire (Muro-De-La-Herran et al., 2014). Les types de capteurs portatifs les plus utilisés en recherche clinique incluent les capteurs de pression, accéléromètres, gyroscopes, extensomètres, inclinomètres, goniomètres, marqueurs actifs et électromyographie (Caldas et al., 2017). C'est pourquoi la littérature récente supporte grandement l'utilisation de capteurs portatifs, car ils ont démontré une meilleure précision par rapport aux capteurs au sol, un confort et une facilité d'utilisation (Benson et al., 2018; Celik et al., 2021; Muro-De-La-Herran et al., 2014). Tout compte fait, l'utilisation de capteurs portatifs permet également une meilleure adaptation dans le contexte de la recherche actuelle où l'analyse est effectuée avec le port d'une botte de décharge ainsi qu'une meilleure application clinique de façon générale (Tao et al., 2012). Par souci de simplicité d'utilisation, certaines compagnies ont développé des capteurs inertiels qui combinent généralement accéléromètre, gyroscope et magnétomètre pour permettre une analyse simple et efficace (Cuesta-Vargas et al., 2010; Saboor et al., 2020; Yazdi et al., 1998). Les paramètres évalués peuvent alors se baser sur la cinétique ou la

cinématique de la démarche. L'appareil étant très peu encombrant et sans-fil, l'utilisation d'un capteur commercial tel le *Physilog5*® (GaitUp™, Suisse) est un choix judicieux pour évaluer rapidement et efficacement certains paramètres cinématiques de la démarche (voir annexe IV). De plus, l'utilisation d'un appareil sans-fil permet de limiter au maximum les risques de chutes pendant l'expérimentation. Le *Physilog5*® a été validé pour son utilisation dans l'analyse des paramètres de la démarche chez la population saine avec une boiterie induite et chez la population diabétique sur des surface irrégulières (Allet et al., 2008; Schwameder et al., 2015).

## 2.4 Gestion de la pression plantaire

Il est incontournable d'aborder les pressions plantaires et modifications de la démarche associées aux pieds diabétiques pour bien comprendre la physiopathologie de l'UPD (Figure 1) et son lien avec l'AP, même si celles-ci ne seront pas évaluées dans le cadre du projet de recherche.

Tout d'abord, le stress plantaire sur les tissus, communément appelé pression plantaire, dépend de la force de réaction verticale (force directe), de la force horizontale (force de cisaillement) (Figure 4) et de l'intégrale de la pression en fonction du temps (Lazzarini et al., 2019).

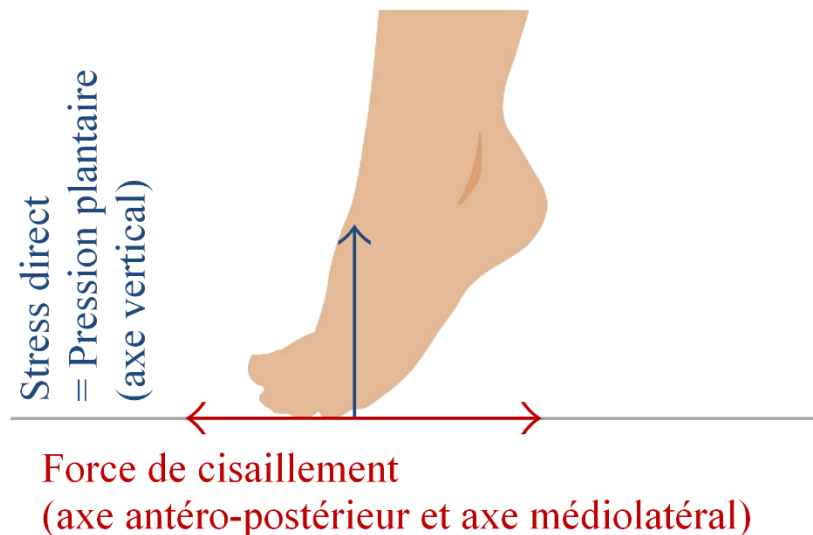


Figure 4. Pression directe et de cisaillement (Traduite de Amemiya et al., 2016)

Comme discuté précédemment, une augmentation du nombre de pas effectués par jour accroît le stress plantaire et doit être prise en compte lors de l'évaluation du risque (Van Netten et al., 2018). Actuellement, la valeur maximale de pression qui entraîne une rupture de la barrière cutanée et la survenue de l'UPD n'est pas définie précisément puisqu'il n'y

a pas d'outils fiables disponibles à ce jour pour mesurer la force de cisaillement (Lazzarini et al., 2019). De plus, il s'agit d'un calcul complexe, puisque ce seuil doit également tenir compte des caractéristiques individuelles comme du poids de l'individu, du niveau d'activité avec mise en charge, du type et du temps d'application (Chatwin et al., 2020; Jones et al., 2020). Cependant, il a été proposé que des pressions plantaires maximales de moins de 200 kPa exercées à l'intérieur de la chaussure, permettraient de limiter les risques d'UPD et de récurrences (Owings et al., 2009). Ce point de référence est toujours celui accepté par la communauté scientifique à ce jour, mais il faudrait que celui-ci soit davantage étudié en contexte dynamique, lors de la démarche, puisque cela représente davantage les contextes réels (Jones et al., 2020). Il a été également démontré que les pressions plantaires moyennes sont généralement plus élevées chez les individus atteints de neuropathie avec un historique d'UPD contrairement à ceux sans historique d'UPD (Fernando et al., 2014).

Que ce soit pour prévenir la survenue d'un premier épisode d'UPD, de préserver la rémission après un épisode ou de prévenir les récurrences d'UPD, les pressions plantaires chez la population atteinte de neuropathie doivent être prises en charge. En effet, ceux-ci doivent être adressés par différents moyens, dont l'utilisation d'orthèses plantaires ou semelles orthopédiques, de chaussures orthopédiques et même avec des approches chirurgicales visant la correction des déformations (Cavanagh & Bus, 2010; Schaper et al., 2020). Dans le même ordre d'idée, dans un contexte thérapeutique lors d'UPD actif, il est actuellement recommandé d'utiliser des options de décharge spécifiques, soit un plâtre de contact total, une botte de décharge, un soulier postopératoire ou une demi-chaussure par exemple (Crews et al., 2016; Van Netten et al., 2019).

### **2.4.1 La décharge pour les pieds diabétiques**

Afin de réduire le stress plantaire augmenté chez la population atteinte de neuropathie, de déformations et le potentiel de développer des complications comme l'UPD, des interventions pour enlever la pression et/ou diminuer le frottement ont été développés par le biais de modalités de décharge conservatrices ou chirurgicales. Il existe plusieurs approches au niveau de la décharge, elle peut être préventive, soit avant la survenue d'un UPD ou après sa guérison pour prévenir la récurrence d'UPD ou thérapeutique, lors d'un épisode d'UPD. Au niveau des modalités de décharge dites conservatrices, elles peuvent être divisées en deux catégories : non amovibles et amovibles. Les modalités non amovibles comme le plâtre de contact total et le plâtre de contact instantané (une botte de décharge rendue inamovible) offrent une meilleure guérison de l'UPD en augmentant considérablement l'observance des individus au traitement se reflétant alors directement sur la guérison de l'UPD (Crews et al., 2016; Lazzarini et al., 2020; Morona et al., 2013). D'ailleurs, il a été rapporté que l'ambulation sur une modalité de décharge pourrait potentiellement retarder la guérison de l'UPD et la position statique en charge ainsi que l'ambulation effectuée sans modalité de décharge serait encore plus défavorable à la guérison (Najafi et al., 2017). En ce qui a trait aux modalités amovibles, ceux-ci sont principalement la botte de décharge pneumatique ou non et les chaussures orthopédiques modifiées ou non. Une chaussure orthopédique se définit comme une chaussure large à l'avant-pied, présentant certaines caractéristiques orientées sur le confort, la prévention et la prise en charge de problèmes aux pieds incluant généralement une semelle orthopédique ou orthèse plantaire intégrée, qui peut être faite sur mesure. Ainsi, des modifications spécifiques au niveau des chaussures, des semelles et le traitement



orthésique sont adaptés seulement au niveau de la prise en charge préventive de l'incidence du premier ulcère ou pour éviter sa récurrence une fois guéri (Ahmed et al., 2020). Il a été démontré qu'un UPD chez la population neuropathique serait 62 à 68% plus propice à guérir avec l'utilisation d'une décharge à hauteur du genou en comparaison avec l'utilisation d'une chaussure orthopédique (Ontario Health Quality, 2017; Lazzarini et al., 2020; Morona et al., 2013). Il est cependant reconnu que les modalités de décharge non amovibles sont peu tolérées par les individus et ne représentent généralement pas le choix préférentiel dans un contexte de décisions partagées au niveau des soins (Crews et al., 2018; Crews et al., 2016; Fernando et al., 2021; Jarl et al., 2021; Piaggese et al., 2016; Samuelson et al., 2020). D'autre part, il a été récemment reconnu que les bottes de décharge amovibles (voir figure 5) présentent une efficacité de traitement comparable à celles non amovibles lorsque l'observance au traitement par le patient est optimale (Ontario Health Quality, 2017; Lazzarini et al., 2020).



Figure 5. Modalités de décharge amovibles et chaussure de sport (Figure traduite de (Crews et al., 2012)).

1) Botte de décharge à hauteur du genou; 2) botte de décharge à hauteur de la cheville; 3) chaussure postopératoire; 4) chaussure de sport. Poids relatif (%) de chaque appareil en comparaison avec 1).

En plus de la préférence des patients pour la botte de décharge amovible, il y a également d'autres avantages. La somme à déboursier pour acquérir une botte non pneumatique est considérablement inférieure à la botte pneumatique ce qui représente un avantage considérant que les modalités de décharge sont rarement couvertes par les services assurés de la couverture publique du système de santé et de services sociaux au Québec (Bus et al., 2020). Actuellement, il n'existe pas de modalités de décharge particulièrement conçues pour l'AP puisqu'il n'y a pas de littérature substantielle qui supporte celle-ci (Crews et al., 2018). Ainsi, la botte de décharge non pneumatique comme la botte Samson (Figure 6) demeure largement utilisée en plus d'être très étudiée dans la littérature scientifique (Bus et al., 2020). Elle est d'ailleurs l'approche de première intention au Canada selon les recommandations exemplaires (Botros et al., 2019).



Figure 6. Botte Samson, aussi appelée « Botte de marche » ou « Botte de Décharge ».

La botte de décharge amovible est simple d'utilisation et peut également faciliter l'acquisition des données de recherche. Les contre-indications à l'utilisation d'une botte de

décharge amovible chez la population NDP sont la présence d'une infection et d'une MAP modérée ou la présence seule d'une MAP sévère (Schaper et al., 2020). Quant aux spécificités de la botte de décharge, la botte haute (pleine longueur ou au genou) est généralement utilisée comme choix préférentiel puisque celle-ci a une efficacité plus grande quant à la diminution des pressions plantaires par rapport à la botte courte (hauteur de la cheville) dans le contexte de plaies. Elle permet une meilleure redistribution du poids au niveau de la jambe, soit environ 85% alors qu'elle se trouve à environ 65% avec une botte basse (Fleischli et al., 1997; Lazzarini & Jarl, 2021; Morona et al., 2013). Entre la botte pneumatique ou non pneumatique (Cam-walker), la botte de décharge pneumatique présente une doublure gonflable qui permettrait un meilleur ajustement à la morphologie du pied et qui stabiliserait davantage le mouvement du pied lors de l'ambulation, mais elle est contre-indiquée en présence de MAP modérée à sévère. De plus, la botte non pneumatique a démontré une meilleure constance quant à la diminution de la pression plantaire (Morona et al., 2013). Ainsi, il n'y a donc pas de supériorité démontrée pour l'une ou l'autre des modalités quant à son utilisation pour guérir l'UPD à l'heure actuelle (Morona et al., 2013). Finalement, la majorité des modalités de décharge, incluant celles décrites précédemment, incluent la présence d'une semelle en berceau permettant un roulement du pied lors de la démarche, limitant la flexion dorsale des orteils et ainsi, diminuant la pression à l'avant-pied.

## 2.4.2 Impacts des modalités de décharge sur la démarche

Lorsqu'une modalité de décharge comme une botte amovible est portée, celle-ci a plusieurs impacts sur la démarche et le confort de l'individu (Gowling & Jackson, 1999; Gulgin, Hall, Luzadre, & Kayfish, 2018) comme :

- 1) Une diminution de la vitesse de marche;
- 2) Une diminution de la mobilité à la cheville;
- 3) La création d'un différentiel de la longueur des jambes engendré par l'élévation de la modalité de décharge;
- 4) Une asymétrie dans la longueur de pas causée par ce différentiel;
- 5) Une augmentation des impacts de la marche au niveau de certaines articulations comme aux genoux et aux hanches.

La mise en décharge unilatérale a démontré une détérioration importante du cycle de marche normale, résultant ainsi en une instabilité et une boiterie, particulièrement chez la population atteinte de neuropathie, mais encore plus exacerbée chez la population présentant un UPD actif (Ling et al., 2020). Ces modalités de décharge sont aussi parfois utilisées dans des cas où il n'y a pas d'UPD actif, entre autres en cas de neuroarthropathie de Charcot ou dans le retour progressif à l'activité (Fernando et al., 2021; Jostel & Jude, 2008). Malgré l'apparence paradoxale puisqu'il est recommandé de limiter la marche chez les individus avec une modalité de décharge, il est bien connu que la réalité est toute autre. En effet, il a été démontré que les individus atteints d'un UPD ne portent leur modalité de décharge que pour environ 28% de leurs pas, soit une minorité des pas effectués chaque jour (Armstrong et al., 2003). Également, il est important de considérer le temps passé en position statique debout autant que celui à la marche (Najafi et al., 2010). D'autre part, les

modalités de décharge contribuent également à la sédentarité de la population, puisque les activités de la vie quotidienne sont plus difficiles à compléter par l'inconfort et l'augmentation de la peur et du risque de chute, ce qui diminue la qualité de vie (Horstink et al., 2021; Ribu et al., 2007).

De plus, une inégalité de longueur des membres inférieurs est généralement induite par l'utilisation d'une modalité de décharge unilatérale. Un différentiel de plus d'un centimètre est également associé à une augmentation de pression sur l'ensemble du pied controlatéral, pouvant potentiellement mener à la création d'une autre plaie (El-nahas et al., 2011). Cette inégalité de longueur des membres inférieurs peut également provoquer différents symptômes, dont des douleurs et inconforts aux genoux, hanches et au bas de dos par le développement de compensations à l'inégalité (Gordon & Davis, 2019).

Finalement, il y a des effets démontrés de différentes modalités de décharge sur l'équilibre statique et dynamique. Il y aurait une diminution de l'équilibre statique avec l'utilisation de semelles en berceau (Albright & Woodhull-Smith, 2009; Horstink et al., 2021). Par contre, l'utilisation de ce type de semelle, tout comme l'utilisation d'une modalité de décharge telle la botte de décharge n'a pas démontré de modifications de l'équilibre dynamique, soit à la marche (Grewal et al., 2013). Il est à garder en tête que le niveau d'évidence est faible puisque la quantité et la qualité des études sur le sujet sont limitées (Horstink et al., 2021).

Tout compte fait, considérant les effets secondaires susmentionnés lors du port d'une botte de décharge, l'utilisation conjointe d'une modalité controlatérale compensatrice peut être pertinente. En effet, une cette dernière peut alors présenter plusieurs avantages chez un individu nécessitant l'utilisation d'une modalité de décharge qui dans certains cas, peut

mener à une inégalité allant jusqu'à cinq centimètres (Yalla et al., 2020). Différentes approches sont disponibles afin de compenser celle-ci dont l'utilisation d'une talonnette à l'intérieur de la chaussure, l'utilisation d'une chaussure avec une semelle épaisse, l'incorporation d'une compensation permanente par modification de la chaussure ou l'utilisation d'une élévation temporaire (Crews & Candela, 2018). La littérature fait peu état de ces dispositifs qui semblent cependant faire une grande différence dans les traitements de mise en décharge (Kipp et al., 2017). Pourtant, l'utilisation de la compensation unilatérale amovible telle le *EvenUp*<sup>TM</sup> (EVENup<sup>®</sup> Orthotic Shoe Lift, OPED Medical Inc., États-Unis) (Figure 7) permet une diminution de la pression plantaire maximale au pied controlatéral lorsqu'elle est utilisée conjointement à un plâtre de contact total (Ersen et al., 2020). De plus, il a été démontré que la vitesse de marche avec élévation controlatérale pourrait être semblable à celle sans modalité de décharge (Crews & Candela, 2018). La compensation permettrait une diminution de la pression à l'arrière-pied du côté de la modalité de décharge, une légère augmentation de la pression à l'avant-pied et une grande diminution des symptômes reliés généralement aux inégalités de longueur des membres inférieurs (McDonald et al., 2008). Cette réduction des symptômes permettrait d'augmenter l'observance des individus en lien avec le port de la modalité de décharge lors de toutes interventions de mise en charge puisqu'ils ont rapporté se sentir plus stables et confortables (McDonald et al., 2008). Ainsi, l'utilisation d'une élévation avec une botte de décharge permettrait une diminution significative de la variabilité dans la vitesse de marche, une diminution du temps de mise en charge sur le pied en décharge et une augmentation du confort (Crews & Candela, 2018). La vitesse de marche a été identifiée comme un facteur influençant les pressions plantaires, et pourrait donc avoir le potentiel

d'influencer le processus de guérison d'une plaie (Segal et al., 2004). Des travaux récents ont démontré qu'une vitesse de marche plus lente associée à une longueur de pas plus courte engendrée par le port d'une botte de décharge permettrait une diminution plus importante de la pression plantaire (Motawea et al., 2019).



Figure 7. Élévation EvenUp™

### CHAPITRE 3 – PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

Considérant les effets négatifs du diabète sur la santé, notamment sur la qualité de vie, l'augmentation des besoins au sein du système de santé et de services sociaux engendre une augmentation de l'utilisation des ressources actuelles. Il s'avère donc primordial de prévenir la survenue de ses complications aux membres inférieurs, particulièrement la neuropathie diabétique périphérique (NDP) et sa progression, à l'origine de la cascade physiopathologique des pieds diabétiques (Figure 1, section 2.1). Il n'est actuellement pas recommandé d'effectuer de l'activité physique (AP) avec mise en charge chez une population à risque élevé d'ulcère plantaire diabétique (UPD) ou lorsqu'il y a présence d'un UPD actif (Ivers et al., 2019; LeMaster et al., 2003). Il a été précédemment abordé (section 2.1.1) que les activités en charge sont à éviter lorsqu'il y a un UPD actif afin de maximiser la guérison. La réduction des pressions plantaires avec une botte de décharge est reconnue comme essentielle dans le traitement entourant la gestion des pieds diabétique à risque d'UPD ou avec UPD actifs, mais il n'est pas recommandé de pratique d'AP dans ces contextes, entre autres puisqu'elle modifie également la démarche dans certains contextes, particulièrement lorsqu'elle est utilisée sans élévation controlatérale (Ling et al., 2020). L'intégration de la botte aux activités de la vie quotidienne peut être difficile chez la population atteinte de diabète, car des douleurs, inconforts et/ou une augmentation du risque de chute peuvent y être associée (Bus et al., 2020). Cependant, il existe un débat dans la communauté scientifique et clinique à savoir s'il faut privilégier les bienfaits de l'AP pour cette population par rapport à la prévention et la gestion du diabète et de ses complications versus le traitement de l'UPD même, mais les données récentes ont démontré que la sédentarité était un prédicteur indépendant de l'UPD (Jarl et al., 2021;



Orlando et al., 2021). Dans ce contexte, il est pertinent d'évaluer les effets sur les paramètres de la démarche du port d'une botte de décharge et d'une élévation controlatérale pendant une marche rapide chez des individus atteints de NDP. De plus, il existe actuellement très peu de données sur la thermographie cutanée dans un contexte d'AP de marche rapide à intensité moyenne avec botte de décharge. Bien que le projet proposé ne puisse permettre un changement de recommandations et de pratiques cliniques pour cette population, il permet de générer des hypothèses et d'obtenir des données sur l'utilisation de la thermographie cutanée infrarouge avec l'AP.

Finalement, l'AP proposée dans ce projet est volontairement accessible afin de favoriser son implantation en contexte réel si les données sont concluantes quant à la possibilité d'intégrer l'AP en charge avec le port d'une botte de décharge conjointement à une élévation controlatérale au quotidien d'un individu atteint de diabète. Cela pourra soutenir les futurs travaux sur les pressions plantaires et son potentiel d'application chez une population à risque d'UPD présentant des déformations aux pieds tel que rencontré chez les individus atteints d'un pied de Charcot ou d'un UPD actif dans le but d'une prise en charge optimale centrée sur l'individu et interdisciplinaire de cette population.

## CHAPITRE 4 – OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

### 4.1 Question de recherche

Dans le but de contribuer aux données scientifiques pour la prise en charge optimale centrée sur l'individu à risque ou présentant un ulcère plantaire diabétique (UPD) tout en incluant les recommandations en matière d'activité physique (AP), la question de recherche de ce projet est : Quels sont les changements spatio-temporels dans la démarche des individus atteints de neuropathie sensitive périphérique (NSP) lors d'une marche rapide à intensité moyenne de 20 minutes avec le port d'une botte de décharge et d'une élévation controlatérale?

### 4.2 Objectifs de recherche

**Objectif #1 :** Comparer des variables de la démarche telles que la vitesse de marche, la longueur de pas et sa variation entre les pas, le pourcentage de double-support, le dégagement minimal des orteils et le pourcentage de la phase d'appui lors d'une AP de marche rapide de 20 minutes à intensité moyenne, entre les conditions sans et avec une botte de décharge et une élévation controlatérale ainsi qu'entre les participants de groupes contrôles sains ou atteints de diabète sans NSP et un groupe présentant une NSP.

**Objectif #2 :** Évaluer les paramètres de faisabilité de l'intervention d'AP proposée.

**Objectif #3 :** Comparer les patrons de température cutanée avant et après l'AP entre les deux pieds pour l'ensemble des participants.

### **4.3 Hypothèses de recherche**

**Hypothèse #1 :** Il n'y a pas de différence significative dans les paramètres de la démarche entre la marche sans et avec une botte de décharge et une élévation controlatérale et entre les participants de chacun des groupes au-delà des changements connus chez la population d'intérêt.

**Hypothèse #2 :** L'intervention proposée est faisable sans événements indésirables majeurs.

**Hypothèse #3 :** L'AP chez tous les participants incluant la modalité de décharge et élévation controlatérale n'augmente pas de manière significative la température cutanée locale de plus de 2,2°C.

## CHAPITRE 5 – ARTICLE SCIENTIFIQUE

### *Informations à propos du manuscrit inséré :*

Ce mémoire est composé d'un manuscrit d'article rédigé en anglais

Auteur principal: Nikolas Beauchesne, candidat à la maîtrise (M. Sc.).

Coauteurs: Alice Wagenaar-Tison, Magali Brousseau-Foley, Gabriel Moisan, Vincent Cantin, Virginie Blanchette

Le manuscrit représente le travail de l'auteur principal, et ce du début de la rédaction jusqu'à la fin du processus d'édition auquel les coauteurs ont participé. L'auteur principal a effectué la conception de l'étude, la demande d'éthique, le recrutement, la collecte des données, l'analyse ainsi que la rédaction du manuscrit.

Non-publié, soumis au journal « Diabetes Research and Clinical Practice ».

### **Title:**

**Using a contralateral shoe lift to reduce gait deterioration during an offloading fast-walk setting in diabetic peripheral neuropathy: A Comparative Feasibility Study**

**Abstract:**

**Aims:** Diabetic peripheral neuropathy (DPN) is a predictor of foot ulcers and leads to sedentary behaviour. This comparative study evaluated gait and feasibility of a 20-minute fast walk, at 40–60% of cardiopulmonary capacity, in individuals with DPN wearing an offloading boot and a contralateral shoe balancer.

**Methods:** Gait parameters were measured with inertial sensors on 32 individuals according to their baseline physical activity level (group with DPN [n = 16], group with diabetes but without DPN [n= 9], and a group without diabetes/DPN [n= 7]). Feasibility was assessed by feedback on perceived effort and adverse events. Gait outcomes were compared between groups with or without a shoe balancer using one-way ANOVAs.

**Results:** The three groups were equivalent in terms of activity level and age and gender except for the body mass index. Both groups with diabetes exhibited decreased gait speed and increased double-support percentage while walking with the offloading device and contralateral shoe balancer. The use of a contralateral shoe balancer reduced gait asymmetry. Lower physical activity level was associated with further gait deterioration in all groups. Few adverse events were reported.

**Conclusions:** Offloading device deteriorates gait function, but a contralateral shoe balancer minimizes its impact, especially by activating this at-risk population.

# 1. Introduction

Diabetes-related foot complications are an important burden on health care systems and a leading cause of disability (1). Foot ulcers and amputations are a threat to the quality of life and activity-rich days by deteriorating functionality and gait (1, 2). One of the most important predictive factors of diabetes-related foot complications is diabetic peripheral neuropathy (DPN), affecting 90% of individuals presenting a foot ulcer (3, 4). Moreover, peripheral arterial disease and sedentary behaviour are also identified as independent predictors (5, 6). These risk factors and comorbidities are closely related and increase the difficulty of introducing physical activity (PA) in this population's daily life. Recent studies have demonstrated that PA in high-risk population with DPN is beneficial by increasing the metabolic control of diabetes and reducing the occurrence of diabetes-related foot complications, especially DPN and foot ulcers (6, 7). The main risk associated with undertaking PA for individuals with DPN is the increased physical stress on plantar skin which may increase the plantar pressure, precipitate the skin breakdown, or impede the healing process (8). However, there is currently limited high-quality evidence related to PA in individuals presenting a foot ulcer or at-risk (9). Recent literature supporting non-weight bearing PA showed a moderate wound size reduction without adverse events (9-11). Furthermore, according to the tissue-stress model, adequately dosed weight bearing PA may increase the skin resistance to stress in individuals with DPN (12-15). A higher weight-bearing PA volume may reduce soft tissue rigidity, increase microvascular circulation and minimize ulcer risk (16).

However, as soon as the risk of ulceration is high or in presence of foot ulcers, weight-bearing PA and swimming are generally prohibited due to wound care including offloading

to reduce pressure and infection risk (17). Thus, with an active foot ulcer or high-risk foot (e.g., pre-ulcerative lesion or Charcot neuro-osteoarthropathy), unilateral offloading devices such as a Charcot Restraint Orthotic Walker or Cast Walker are recommended to reduce plantar pressure. However, these devices can induce a significant lower-limb discrepancy and gait instability (18, 19). While DPN affects spatial and temporal gait parameters and increases energy expenditure in walking, the use of an offloading device yields an even more difficult gait for individuals with DPN (20-22). As a result, gait speed and ankle mobility are reduced, asymmetry in step length is increased and thus, the fall risk and gait impact on the knees and hips is increased (23-25).

Considering that the induced lower-limb discrepancy magnifies gait deterioration beyond DPN and returning to activity after a foot ulcer or being active with at-risk feet are beneficial to both plantar tissue and health, it has been suggested that investigating PA in this population while using a contralateral shoe lift is innovative, interesting and may even improve gait function and quality of life in the population of interest (26, 27). There is limited data exploring the feasibility of a PA task such as fast walking related to gait outcome changes in individuals with DPN while using an offloading device and contralateral shoe lift. The primary objective of this study was to evaluate the effect on gait of an offloading device and contralateral shoe lift during a PA task in individuals with DPN. Specific objectives were to compare data between individuals and conditions and to assess the feasibility of the PA task according to perceived effort and related to daily repetition and self-reported adverse events.

## **2. Participants, Materials and Methods**

### ***2.1 Study design and ethical considerations***

This is a descriptive comparative feasibility study. Results are reported using the CONSORT checklist for non-randomized pilot and feasibility studies (28, 29). As it is not a clinical trial, the study has not been registered. The experiment was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki and was approved by the Université du Québec à Trois-Rivières (UQTR) ethical review board (CER-20-272-07.07).

### ***2.2 Sample Size Calculation***

A formal sample size calculation was performed using an online tool (ClinCalc LLC, 2021) and based on data from similar studies observing step length and double-support percentage ( $\alpha = 0.05$ ,  $B = 90\%$ ) (26, 30). A sample size of 32 participants was therefore required.

### ***2.3 Population, Setting and Recruitment***

Participants were recruited in primary care settings from the UQTR podiatry clinic located in Trois-Rivières (Québec, Canada) and community podiatry clinics in the Mauricie-Centre-du-Québec area by undergrad students and podiatrists. The population of this area includes approximately 42,000 of individuals with diabetes, representing 8.5% of the total population (31).

Recruitment took place over 12 months, between April 2021 and March 2022. A total of 58 participants were referred to our research team and were screened through a telephone questionnaire by the first author (NB). Inclusion criteria was to be age 35 to 74 years and

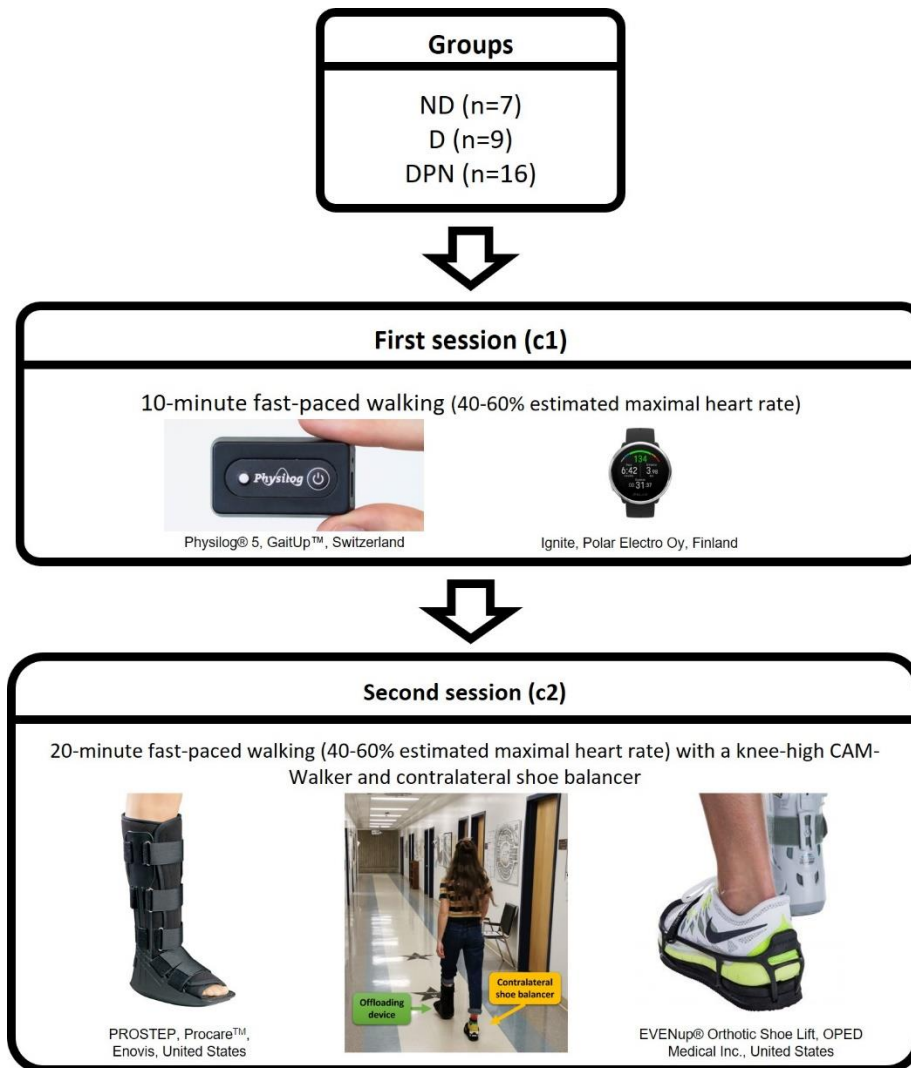


group specific. We were looking for three groups of participants: control (individuals with no diabetes (ND)), individuals with diabetes diagnosed with Canadian standards (D) (17), and individual with suspected diabetic peripheral neuropathy (DPN). DPN was confirmed by 10 g Semmes-Weinstein Monofilament and 128 Hz Tuning fork testing (32, 33). The exclusion criteria were: less than 1-year of foot ulcer history, history of cardiac disease, moderate to severe peripheral arterial disease identified through medical history and verified by monophasic Doppler waveforms on posterior tibial or dorsal foot arteries and pulses (34), presence of Charcot neuroarthropathy, acute musculoskeletal injury, congenital musculoskeletal disorders (e.g., Charcot-Marie-tooth, muscular dystrophy, etc.). The three groups, particularly the control group as it was recruited with the intention of fitting the other two groups, were matched by age, sex and levels of activity according to the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) short version scores (35). IPAQ scores were attributed to a numerical value according to the self-reported physical activity level (i.e., Low = 1, Moderate = 2 and High = 3).

#### ***2.4 Physical Activity Task***

Potential participants attended an initial session to confirm their inclusion to the study and signed consent. A second session was also planned. Then, for both sessions realized on separate days (less than three weeks), participants performed a self-paced fast walk while keeping 40 to 60% of the estimated maximal heart rate, measured using the Karvonen formula (Target Heart Rate =  $[(\text{max HR} - \text{resting HR}) \times \% \text{Intensity}] + \text{resting HR}$ ) and monitored using a fitness watch (Ignite, Polar Electro Oy, Finland) on each session (36).

In the first session, participants performed a 10-minute fast-paced walk (i.e., first condition or c1) in their own shoes and had an additional 5-minute adaptation period with the offloading device. In the second session, the same participant performed a 20-minute fast-paced walk while using a knee-high offloading boot (PROSTEP Procure™, Enovis, United States) and a contralateral shoe balancer (EVENup® Orthotic Shoe Lift, OPED Medical Inc., United States) (i.e., second condition or c2) (Figure 1). The task was performed indoors (at UQTR) on even ground with a team member walking alongside to aid if needed. Due to the COVID-19 pandemic, participants had to always wear a surgical face mask to follow public health recommendations.



**Figure 1.** Experimental scheme including the devices used for the physical activity intervention

### 2.5 Data Collection and Outcome measures

Participant demographics were collected by self-reported data at the first session including age, sex, height, body weight, type of diabetes, most recent glycated hemoglobin (HbA1c) value and number of years since diabetes diagnosis. Foot types (i.e., supinated, neutral or pronated) were evaluated with Foot Posture Index (FPI) (37) well foot deformities (e.g., bunion, mallet toe, hammering hallux, etc.) with a clinical orthopedic evaluation by a podiatrist (NB) (18). Activity level measured by IPAQ were also verified (31, 36).

The gait outcomes during steady-state walking included gait speed, stride length, gait cycle time, double support, minimal toe clearance and minimal toe clearance limp. To determine gait symmetry, we estimated stride length limp and toe clearance limp by the percentage of difference between right and left stride lengths. These parameters were selected to assess the gait variation and stability in each condition (i.e., c1 and c2), as well as group comparison (ND vs. D vs. DPN) as they have been used in prior studies with comparable populations (26, 38). Data were collected using Physilog5® inertial sensors (GaitUp™, Switzerland) installed bilaterally on the participant's shoelaces using an elastic band.

Perceived effort using the modified Borg scale, perceived comfort during the second condition while walking with the boot on a scale of 1 (low comfort) to 10 (high comfort) and general written feedback from participants was obtained after each PA task via a personalized questionnaire (39). The feasibility was assessed by completion of the task (c2), reported adverse events and self-reported daily repetition feasibility which are data relevant to a feasibility study through a homemade questionnaire by the end of the second session (Appendix 1).

## ***2.6 Data analysis***

All continuous data (e.g., age, sex, BMI and IPAQ score) were presented as mean with standard deviation. All categorical data (e.g., gait outcomes) were expressed as a percentage. Feasibility results were descriptive and reported per frequency (adverse event), mean value (perceived effort and comfort) and percentage (daily repetition).

For each gait outcome and feasibility variables, one-way analysis of variance (ANOVA) was used for between-group comparisons of continuous demographics and normality was verified using Q-Q plots. Fisher's least significant difference-based post-hoc tests were performed for pairwise comparisons to explore main significant effects and interactions. Significance was accepted at  $p \leq 0.05$ . Likewise, a two-way ANOVA was used to investigate the interaction between IPAQ scores and gait outcomes. All statistical analyses were performed using R version 4.2.0 (RStudio, Boston, United States).

### **3. Results**

#### ***3.1 Flow of Participants and Characteristics***

Of the 58 individuals referred, 49 were assessed for eligibility and 33 participated in the study. One participant, who completed the first session (c1), did not complete the second session due to transportation difficulties. Therefore, these data were excluded for the analysis.

Sixteen individuals with diabetic peripheral neuropathy (DPN), 9 with diabetes (D) and 7 controls without diabetes (ND) participated in the study. We reached similar age and sex repartition between groups. Each group had an average level of moderate physical activity. However, individuals in the DPN group had a significantly higher body mass index (BMI) compared to control ND group ( $p=0.02$ ). Participant's characteristics are summarized in the Table 1.

**Table 1.** Participants' characteristics

	<b>Control ND (n=7)</b>	<b>Control D (n=9)</b>	<b>DPN (n=16)</b>	<b>Overall (n=32)</b>	<b>p-value</b>
<b>Age in years, mean (SD)</b>	63.4 (1.8)	57.1 (13.0)	63.4 (6.1)	61.7 (8.4)	0.16
<b>Gender woman, n (%)</b>	2 (28.6)	4 (44.4)	5 (31.3)	11 (34.4)	0.77
<b>BMI in kg/m<sup>2</sup>, mean (SD)</b>	24.3 (4.1)	30.1 (6.7)	33.7 (4.9)	28.8 (5.3)	0.02*
<b>IPAQ Score, mean (SD)</b>	2.3 (0.8)	2.4 (0.9)	2.2 (0.9)	2.3 (0.8)	0.76
<b>HbA1c in %, mean (SD)</b>	-	7.8 (0.9)	7.1 (0.7)	7.5 (1.0)	0.08
<b>Years since diabetes diagnosis<sup>†</sup>, mean</b>	-	14.2	25.8	21.1	>0.05
<b>Foot posture index<sup>‡</sup> mean</b>	+7.3	+4.3	+3.6	+4.6	0.50

Legend and abbreviation:

<sup>†</sup> There are 3 missing data for the diabetes group. Value calculated with n= 6.

<sup>‡</sup> Interpretation of Foot Posture Index, positive score means pronation.

\*Statistically significant

- Data not available

SD: Standard deviation

ND: No diabetes group

D: Diabetes group

DPN: Diabetic peripheral neuropathy group

### 3.2 Gait Outcomes

Regarding gait analysis, all collected data were first divided into 5-minute periods due to the abundance of data. However, data were subsequently combined as no statistical difference was found using one-way ANOVAs. Similarly, no significant differences in parameters were observed when comparing the left and right foot for both walking conditions in all groups (Appendix 2). Minimal toe clearance values remained above ten millimeters for all conditions and groups.

#### 3.2.1 Spatiotemporal Gait Outcomes Between Groups

Compared to the control group, the DPN group demonstrated a lower gait speed and stride length in both walking conditions (c1 and c2) (Table 2). Compared to the ND group, the

DPN group had an increased double-support gait percentage (DPN vs. ND = +17%,  $p < 0.001$ ) while wearing the offloading device and contralateral shoe balancer.

**Table 2.** Comparison for gait outcomes between groups: nondiabetic (ND), diabetes (D) and diabetes with peripheral neuropathy (DPN).

	c1						c2					
	ND vs. D		D vs. DPN		ND vs. DPN		ND vs. D		D vs. DPN		ND vs. DPN	
	Diff (%)	p-value	Diff (%)	p-value	Diff (%)	p-value	Diff (%)	p-value	Diff (%)	p-value	Diff (%)	p-value
<b>Gait Speed (m/s)</b>	-3,28	0,628	-11,27	0,075	-14,53	0,008*	-3,56	0,601	-10,69	0,045*	-14,23	0,002*
<b>Stride Length (m)</b>	-5,11	0,482	-6,54	0,349	-11,64	0,033*	-0,95	0,948	-8,42	0,038*	-9,37	0,017*
<b>Gait Cycle Time (s)</b>	-0,85	0,988	5,12	0,075	4,27	0,153	2,90	0,412	3,47	0,332	6,36	0,014*
<b>Double Support (%)</b>	1,78	0,888	1,20	0,948	2,98	0,706	10,16	0,139	7,06	0,281	17,19	0,001*
<b>Minimal Toe Clearance (mm)</b>	-57,58	0,014*	61,33	0,003*	4,11	0,994	-17,25	0,421	44,27	0,001*	27,54	0,077
<b>Minimal Toe Clearance Limp (%)</b>	31,70	0,082	-26,12	0,121	5,70	0,840	12,67	0,311	-23,67	0,095	-11,08	0,929
<b>Step Length Limp (%)</b>	-23,19	0,011*	18,94	0,011*	-4,30	0,854	-5,26	0,528	-4,17	0,700	-9,43	0,110
<b>Stance (%)</b>	-0,07	0,973	-0,53	0,930	-0,60	0,996	-0,08	0,978	1,07	0,622	0,99	0,493
<b>Swing width (m)</b>	-8,88	0,920	-22,82	0,293	-31,54	0,171	63,68	0,291	6,61	0,999	69,56	0,203

Legend and abbreviations:

\*Statistically significant

ND: Participants with no diabetes

D: Participants with diabetes

DPN: Participants with diabetes and peripheral neuropathy

c1: Fast walk with the participant's own shoes

c2: Fast walk with the offloading device and contralateral shoe balancer

Diff (%): Difference percentage between groups (e.g., ND vs. D [%diff = D – ND])



### *3.2.2 Spatiotemporal Gait Outcomes Between Conditions*

ND and D groups demonstrated a gait speed reduction in c2 (Table 3 and Figure 2). The DPN group also demonstrated a lower gait speed. However, the between-condition difference was not statistically significant ( $p>0.05$ ). Double-support gait percentage decreased in the ND group (-9.7%,  $p=0.01$ ), but increased in the DPN group (+4.6%,  $p=0.01$ ). Step length limp also increased for all groups ([ND +19%,  $p=0.006$ ], [D +36%,  $p<0.001$ ], [DPN +14%,  $p=0.002$ ]). Finally, stance gait percentage decreased in c2 on the offloading device's side for all groups ([ND -6%,  $p<0.001$ ], [D -3%,  $p<0.001$ ], [DPN -3%,  $p=0.006$ ]).

**Table 3.** Between-conditions comparison for gait outcomes in ND, D and DPN groups.

	ND				D				DPN			
	C foot, Diff (%)	p-value	O foot, Diff (%)	p-value	C foot, Diff (%)	p-value	O foot, Diff (%)	p-value	C foot, Diff (%)	p-value	O foot, Diff (%)	p-value
<b>Gait Speed (m/s)</b>	-7,95	0,031	-10,34	0,007	-8,53	0,072	-8,97	0,038	-7,92	0,131	-7,82	0,124
<b>Stride Length (m)</b>	-3,86	0,124	-6,02	0,031	-0,03	0,882	-0,59	0,922	-1,96	0,695	-1,92	0,661
<b>Gait Cycle Time (s)</b>	4,47	0,057	4,45	0,059	8,39	0,006	8,43	0,006	6,83	0,004	6,86	0,006
<b>Double Support (%)</b>	-9,66	0,006	-9,66	0,006	-1,28	0,707	-1,28	0,707	4,58	0,006	4,58	0,006
<b>Minimal Toe Clearance (mm)</b>	-30,39	0,027	31,54	0,001	11,33	0,416	81,65	0,027	-7,02	0,538	55,50	<0,001
<b>Minimal Toe Clearance Limp (%)</b>	48,25	0,001	48,25	0,001	29,71	0,021	29,71	0,021	32,15	0,007	32,15	0,007
<b>Step Length Limp (%)</b>	18,78	0,006	18,78	0,006	36,45	<0,001	36,45	<0,001	13,68	0,002	13,68	0,002
<b>Stance (%)</b>	2,64	<0,001	-6,06	<0,001	2,63	0,038	-3,16	<0,001	4,23	0,002	-2,62	0,006
<b>Swing width (m)</b>	-111,17	0,009	-130,13	0,002	-49,45	0,051	-76,19	<0,001	-20,89	0,245	-115,62	<0,001

Legend and abbreviations:

\*Statistically significant

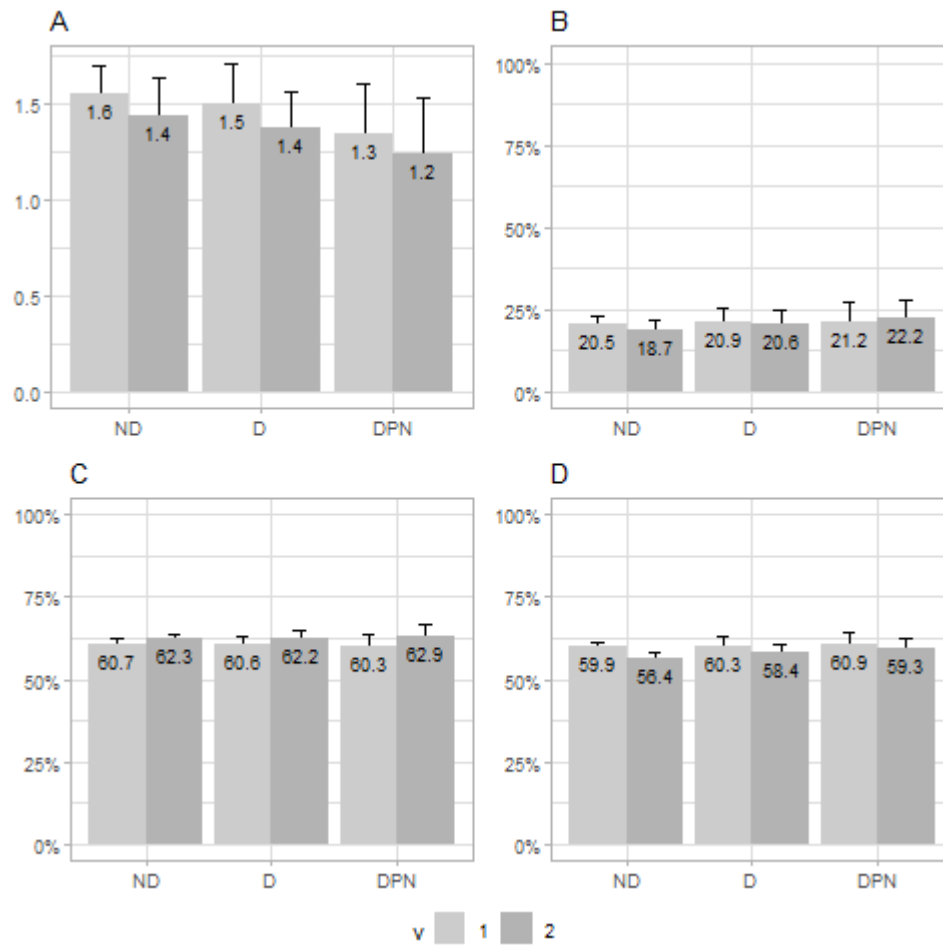
ND: Participants with no diabetes

D: Participants with diabetes

DPN: Participants with diabetes and peripheral neuropathy

C foot diff (%): Contralateral foot wearing the EVENup™ Shoe Balancer difference % between c1 and c2 (%diff = c2 – c1)

O foot diff (%): Offloading foot wearing the offloading boot between c1 and c2 (%diff = c2 – c1)



**Figure 2.** Comparison between group participants: control with no diabetes (ND), diabetes only (D) or diabetes with peripheral neuropathy (DPN). A) Gait speed; B) Double-support %; C) Contralateral stance %; and D) Offloading stance %

### ***3.3 Level of Activity Interaction***

Two-way ANOVA revealed an interaction between the IPAQ score and all gait outcomes presented in Table 2. These results demonstrated an increased gait speed and a decreased double-support percentage for the moderate (+6%.  $p < 0.001$  and  $-8\%$ .  $p < 0.05$ . respectively) and high (+7%.  $p < 0.001$  and  $-12\%$ .  $p < 0.001$ . respectively) PA levels when compared to the low PA level.

### ***3.4 Feasibility of the Physical Activity Task***

For perceived effort, the overall mean value on the Borg scale was 1.70 for c1 and 2.15 for c2, respectively. There was no significant difference between groups (i.e., control ND, D and DPN) or between conditions (i.e., c1 and c2). Similarly, the overall mean comfort value was 6.47 out of 10 and did not significantly differ between groups. The participants have reported adverse events relatively equally among the groups such as uncomfortable pressure on the tibia (6%), calf discomfort during PA (19%), heat related to the offloading device (9%), difficulty related to face mask (6%) and hip pain (6%). Finally, 91% (29/32) of participants mentioned that the PA task would be feasible daily.

## 4. Discussion

We compared the gait outcomes of three different groups (individuals with DPN, with diabetes and without diabetes/DPN) using wearable inertial sensors performing a 20-minute fast-walk at 40-60% at maximal heart rate capacity while using an offloading device and contralateral shoe lift. Our results have demonstrated that gait outcomes differed between conditions (c1 and c2) and groups, but minimally when compared to similar studies without contralateral shoe lift use. The second objective was to assess the feasibility of the proposed PA in terms of adverse events, perceived effort, and the possibility to repeat it daily and we found no major adverse event. Almost all participants stated that this PA was feasible daily. In fact, this PA task was chosen because it is easy to understand, accessible and requires no equipment (40). It is also easy to adapt to individual capacity and reach 40-60% of maximal heart rate maximize cardiovascular benefits (41).

We deepen our understanding of our results according to the four types of analysis: spatiotemporal gait outcomes between groups (i.e., ND, D and DPN), spatiotemporal gait outcomes between conditions (e.g., c1 vs c2), level of activity (IPAQ) interaction and feasibility of the physical activity task.

#### ***4.1 Spatiotemporal Gait Outcomes Between Groups***

Compared to the control group (ND), the group with DPN had a lower gait speed and stride length while fast walking with their own shoes and with the offloading device and contralateral shoe balancer, which is consistent with previous publications (38, 42). The double-support percentage was greater in the group with DPN as it has also been reported in a previous study (43). These results suggest a gait deterioration, especially in the group with DPN while performing a fast walk, whether they are using their own shoes or using an offloading device and contralateral shoe balancer.

#### ***4.2 Spatiotemporal Gait Outcomes Between Conditions***

When comparing the two previously described walking conditions (i.e., c1 and c2), the control groups ND and D exhibited a significant gait speed reduction while walking with the offloading device and contralateral shoe balancer, but the group with DPN did not. This effect might be explained by the reduced gait speed found in individual with neuropathy and the effect of BMI. Those variables have previously been reported to reduce gait velocity and this is correlated with self-perceived unsteadiness in individuals with DPN (44-46). We found no study comparing gait outcomes during a fast walk in a population with DPN, therefore our results were compared to similar outcomes during self-paced walking in this population. A study by Ling and al. was conducted in ND, DPN and unilateral diabetic foot ulcer populations with the use of a unilateral offloading device (26). Because their test population had an active ulcer, it can be supposed that there is a more advanced level of diabetes-related comorbidities including neuropathy compared to

our population (47, 48). Thus, this can lead to different gait outcomes, although it was recently suggested that even subclinical DPN impacts gait characteristics (49, 50). Our results demonstrate an overall speed decrease (-8.5%) and overall step length limp increase (+23%) but suggests a much lower general gait deterioration related to what was found by Ling and al. by comparing normal walking conditions with unilateral offloading footwear, where a speed decrease (-34.5%) and step length limp (+162%) were reported (26). Even though it has been identified as a relevant outcome for gait assessment in patients with DPN, there is scarce evidence to our knowledge regarding gait variability evaluation (38). Additionally, double-support percentage was lower while using the offloading device and contralateral shoe balancer (c2) than with the participant's own shoes (c1) in the group ND but was greater in the group with DPN. This result may be explained by a compensation of the instability caused by the offloading device (51).

In addition, stance percent was lower on the offloaded foot and greater on the contralateral limb for all three groups, similarly identified by Crews and al. (52). According to the minimal toe clearance analysis, even if there was a greater limp, the values remained over 10 mm in all groups while using the participants' own shoes, as well as the offloading device and contralateral shoe balancer. This result suggests that there would not be a higher risk of falling during the PA as previously demonstrated (18, 19). Minimal toe clearance limp was greater in all groups, which was expected due to the higher gait variability in the offloading device and contralateral shoe balancer fast walk. However, this was not significantly different regarding the between-group comparison, which suggests there would not be a higher risk of falling in the population with DPN than in

the control's (ND). Walking fast with the offloading device and contralateral shoe lift deteriorated the individual's gait function, but minimally when compared to unilateral offloading without a contralateral shoe lift.

#### ***4.3 Level of Physical Activity Interaction***

The level of PA according to the IPAQ score attributed to low, moderate or high was investigated to see if a difference in the level of activity would lead to further gait effect as deterioration. As presented in the results, a significant increase in gait speed and a significant decrease in double-support percentage were seen in moderate PA level and even more in high PA levels. In our study sample, participants with a higher PA level demonstrated a lower gait deterioration, which supports the integration of daily PA to keep the at-risk population for foot ulcer moving (6). These results are interesting to explore further and supports the evidence that keeping the population active may reduce DPN complications and even improve nerve plasticity (53).

#### ***4.4 Feasibility of the Physical Activity Task***

As there are no significant changes in all groups between the first and last 5-minute periods in outcome measures for each condition (c1 or c2), this suggests an ease of adaptation to the PA task. There is no significant effect related to fatigue in a 20-minute fast-walk task. Additionally, the adverse events reported by our participants were minor. No hypoglycemia, angina or skin irritation occurred or was reported (54). According to the modified comfort scale, an average of 6.2 on 10 was reported by our participants



during the PA, which is consistent with the minor adverse effects reported without major discomfort. Crews et al. (52) reported perceived comfort ratings of 8.6 on 12 with a knee-high removable cast walker and the use of a lift during a 20-meter walk. Those results are difficult to compare due to the longer and faster walking conditions in our study. Moreover, the Borg scale scores did not differ between groups, but the mandatory use of surgical face masks might have increased the PA's perceived effort as it has been found to decrease oxygen delivery, increase heart rate and blood pressure mostly in sedentary individuals during a moderate PA (55, 56). The perceived effort was higher during the second session (c2), which was expected due to the weight and bulk of the offloading device and the longer testing time. Another important factor associated with the proposed PA's feasibility is the risk of falling. Even though it has not been directly assessed in this study, it is interesting to report that no participants mentioned a fear of falling with the provided devices. Even though this study's context is experimental, 90% of the participants that enrolled in the study reported the proposed PA task as feasible in a daily context. On the other hand, it was reported that the risk of depression is doubled in individuals with diabetes and symptoms associated with it may lead to a decrease in regular exercise (57, 58). Additionally, these individuals have reported less PA self-efficacy and motivation (12, 59).

#### ***4.5 Strengths and Limitations***

The study is innovative regarding the integration of a contralateral shoe balancer in PA tasks to minimize gait deterioration and potentially keep the at-risk individuals with DPN moving. Additionally, we investigate a simple PA to integrate in daily life and promote a sustainable health. It also creates research opportunities related to weight-bearing PA in populations with DPN where much more evidence is needed to establish cautious PA protocols to minimize injury risks. Nonetheless, we focused on analyzing gait parameters but investigating plantar pressures during the proposed PA is mandatory in further work to assess ulceration risks.

As this is a feasibility study, it involves multiple outcome analysis and exploration, which leads to a high type-I error risk. Although the selection criteria were well-defined and the group demographics comparable except for BMI, which may have influenced gait outcomes, a selection bias is present in the study as the assignation of participants is non-randomized due to the nature of the study. Selected participants may not be representative of the general population, especially in group with DPN where the PA level was higher than expected. The individuals recruited were probably already enthusiastic about PA considering the aim of the study. We have also recruited the minimum of participants and the n per group was different. Considering that DPN is prevalent in the diabetic population (60), recruiting individuals with diabetes but without DPN was challenging and these individuals showed less motivation to participate in the study potentially because they do

not realise the possible complications. To compensate, we recruited two types of control participants.

An experimenter bias may be present as the same person (NB) recruited participants, collected data and performed the analysis. We have mitigated this bias by standardizing the protocol with a pilot, selecting objective outcomes and validating analysis by an external reviewer with particular skills in biostatistics. Considering that this was a project with limited resources, a double-blind study was not considered. This also explains our choice to investigate other parameters such as plantar pressures in further work as our present results can support new funding applications. Confounding variables may also affect our results as extensive socio-demographic data was not collected, and self-reported data have limitation (61). Instrumentation bias may also affect the results as the presence of DPN was assessed using exclusion clinical tests instead of proven but more invasive and expensive diagnosis tools (32, 33). Additionally, the type of footwear worn by participants was not standardized, but no major difference was clinically noted. Furthermore, the testing time was not the same for both conditions, but the analysis revealed that there was no difference between the first and last 5-minute periods in both conditions and walking speed was auto-determined. Even though there was no control group for an offloading condition without the contralateral shoe balancer, the comparison with other relevant studies support us to draw conclusions (26, 51).

#### ***4.6 Clinical Contributions and Research Perspectives***

The impact of a unilateral offloading device on spatiotemporal gait outcomes is recognized, and previous studies have suggested that using a contralateral shoe balancer with an offloading device might minimize the gait deterioration (26, 52). Our study contributes to this body of knowledge. However, this need to be interpreted with caution, as the use of the contralateral shoe balancer still results in gait deterioration, especially in individuals with low PA level.

Moreover, this study highlights new evidence methodologically about the use of gait variability parameters and minimal toe clearance in gait analysis. Our results suggest that a moderate level of PA may be feasible in a daily context for individuals with DPN using an offloading boot even if more data are needed regarding the plantar pressures and long-term effects on articulations for example. This study integrates the first parameter (feasibility) related to the implementability of healthcare interventions framework as it assessed the possibility to complete the PA (62). Before it can be scaled up, the acceptability, adherence, adaptation and integration of the study protocol for a daily repetition will have to be explored, as well as investigating the ulceration risk with plantar pressures and cardiometabolic benefits (62). Promising research perspectives include the gait outcomes and plantar pressure during PA with an offloading device comparison with and without a contralateral shoe balancer and the effects of PA with an offloading device and a contralateral shoe balancer in the context of an active DFU.

## **5. Conclusion**

This study demonstrated that while the use of an offloading device in individuals with DPN deteriorates gait function, the use of a contralateral shoe balancer might minimize its impact during PA. Furthermore, a 20-minute fast-walk task, at 40-60% of maximum cardiopulmonary capacity, is feasible with the provided devices. Only minor adverse events such as discomfort and heat related to the offloading device was reported suggested minimum risk. The next steps will be to investigate plantar pressures within the same context and evaluate the implementability of the proposed PA. These findings support that a contralateral shoe balancer should be used in all contexts where an induced limb-length discrepancy is caused by an offloading device in the at-risk population with diabetes. Keeping the population with DPN active has the potential to promote PA, to support positive metabolic effects and ultimately, improve the population's general health.

## **Acknowledgements**

The team thanks all the participants involved in this research project for their time and implication, "Diabète Mauricie" and Mauricie-Centre-du-Québec podiatry clinics including the UQTR podiatry clinic for their support during the recruitment phase. Special thanks to Arthur De Grandpré related to his implication in the data analysis, Yassin Andoulsi with the pilot and data collection and finally, Gabriel Ricard for some clerical support.

Funding statement: Partial support was provided by the Université du Québec à Trois-Rivière internal research funds and Quebec's College of Podiatry. The content is solely the responsibility of the authors.

## References

1. Lazzarini PA, Pacella RE, Armstrong DG, van Netten JJ. Diabetes-related lower-extremity complications are a leading cause of the global burden of disability. *Diabetic medicine : a journal of the British Diabetic Association*. 2018.
2. Sekhar MS, Thomas RR, Unnikrishnan MK, Vijayanarayana K, Rodrigues GS. Impact of diabetic foot ulcer on health-related quality of life: A cross-sectional study. *Seminars in Vascular Surgery*. 2015;28(3):165-71.
3. Hwang DJ, Lee KM, Park MS, Choi SH, Park JI, Cho JH, et al. Association between diabetic foot ulcer and diabetic retinopathy. *PloS one*. 2017;12(4):e0175270-e.
4. Kumar S, Ashe HA, Parnell LN, Fernando DJS, Tsigos C, Young RJ, et al. The Prevalence of Foot Ulceration and its Correlates in Type 2 Diabetic Patients: a Population-based Study. *Diabetic Medicine*. 1994;11(5):480-4.
5. Monteiro-Soares M, Boyko EJ, Ribeiro J, Ribeiro I, Dinis-Ribeiro M. Risk stratification systems for diabetic foot ulcers: a systematic review. *Diabetologia*. 2011;54(5):1190-9.
6. Orlando G, Reeves ND, Boulton AJM, Ireland A, Federici G, Federici A, et al. Sedentary behaviour is an independent predictor of diabetic foot ulcer development: An 8-year prospective study. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2021;177:108877.
7. Dhatariya K, Fox M. Should patients with active foot ulcers be non-weight bearing or take exercise to improve cardiovascular fitness? *Diabetic Foot*. 2014;17(3).
8. van Netten JJ, van Baal JG, Bril A, Wissink M, Bus SA. An exploratory study on differences in cumulative plantar tissue stress between healing and non-healing plantar neuropathic diabetic foot ulcers. *Clinical Biomechanics*. 2018;53:86-92.
9. Brousseau-Foley M, Blanchette V, Trudeau F, Houle J. Physical Activity Participation in People with an Active Diabetic Foot Ulceration: A Scoping Review. *Canadian Journal of Diabetes*. 2021.
10. Tran MM, Haley MN. Does exercise improve healing of diabetic foot ulcers? A systematic review. *Journal of Foot and Ankle Research*. 2021;14(1):19.
11. Brousseau-Foley M, Blanchette V. Remaining Question: Does Exercise Improve Healing of Diabetic Foot Ulcers? *The International Journal of Lower Extremity Wounds*.0(0):15347346211063701.
12. Crews RT, Schneider KL, Yalla SV, Reeves ND, Vileikyte L. Physiological and psychological challenges of increasing physical activity and exercise in patients at risk of diabetic foot ulcers: a critical review. *Diabetes/metabolism research and reviews*. 2016;32(8):791-804.
13. Liao F, An R, Pu F, Burns S, Shen S, Jan Y-K. Effect of Exercise on Risk Factors of Diabetic Foot Ulcers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2019;98(2).
14. Matos M, Mendes R, Silva AB, Sousa N. Physical activity and exercise on diabetic foot related outcomes: A systematic review. *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2018;139:81-90.

15. McPoil TG, Hunt GC. Evaluation and Management of Foot and Ankle Disorders: Present Problems and Future Directions. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 1995;21(6):381-8.
16. Ren W, Duan Y, Jan Y-K, Ye W, Li J, Liu W, et al. Effect of Exercise Volume on Plantar Microcirculation and Tissue Hardness in People With Type 2 Diabetes. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021;9.
17. Ivers NM, Jiang M, Alloo J, Singer A, Ngui D, Casey CG, et al. Diabetes Canada 2018 clinical practice guidelines: Key messages for family physicians caring for patients living with type 2 diabetes. *Can Fam Physician*. 2019;65(1):14-24.
18. Schaper NC, van Netten JJ, Apelqvist J, Bus SA, Hinchliffe RJ, Lipsky BA, et al. Practical Guidelines on the prevention and management of diabetic foot disease (IWGDF 2019 update). *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*. 2020;36(S1):e3266.
19. Yalla SV, Crews RT, Patel NA, Cheung T, Wu S. Offloading for the Diabetic Foot: Considerations and Implications. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*. 2020;37(2):371-84.
20. Alam U, Riley DR, Jugdey RS, Azmi S, Rajbhandari S, D'Août K, et al. Diabetic Neuropathy and Gait: A Review. *Diabetes Therapy*. 2017;8(6):1253-64.
21. Manor B, Wolenski P, Li L. Faster walking speeds increase local instability among people with peripheral neuropathy. *Journal of Biomechanics*. 2008;41(13):2787-92.
22. Menz HB, Lord SR, St George R, Fitzpatrick RC. Walking stability and sensorimotor function in older people with diabetic peripheral neuropathy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2004;85(2):245-52.
23. Gowling TL, Jackson RW. Walking boot design: a gait analysis study. *Orthopedics*. 1999;22(5):503.
24. Gulgin H, Hall K, Luzadre A, Kayfish E. 3D gait analysis with and without an orthopedic walking boot. *Gait & posture*. 2018;59:76-82.
25. Azizan NA, Basaruddin KS, Salleh AF, Sulaiman AR, Safar MJA, Rusli WMR. Leg Length Discrepancy: Dynamic Balance Response during Gait. *Journal of healthcare engineering*. 2018;2018:7815451.
26. Ling E, Lepow B, Zhou H, Enriquez A, Mullen A, Najafi B. The impact of diabetic foot ulcers and unilateral offloading footwear on gait in people with diabetes. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2020;73:157-61.
27. Fernando ME, Woelfel SL, Perry D, Najafi B, Khan T, DuBourdieu C, et al. Dosing Activity and Returning to Pre-Ulcer Function in Diabetic Foot Remission: Patient Recommendations and Guidance from the Limb Preservation Consortium at USC and The National Rehabilitation Center at Rancho Los Amigos. *Journal of the American Podiatric Medical Association*. 2021.
28. Lancaster GA, Thabane L. Guidelines for reporting non-randomised pilot and feasibility studies. *Pilot and Feasibility Studies*. 2019;5(1):114.



29. Schulz KF, Altman DG, Moher D. CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *Annals of internal medicine*. 2010;152(11):726-32.
30. Raspovic A. Gait characteristics of people with diabetes-related peripheral neuropathy, with and without a history of ulceration. *Gait & Posture*. 2013;38(4):723-8.
31. Pepin Y. Le diabète en Mauricie et Centre-du-Québec [...]. Trois-Rivières (Québec)2018.
32. Rapid Screening for Diabetic Neuropathy Using the 10 g Semmes-Weinstein Monofilament. *Canadian Journal of Diabetes*. 2018;42:S320.
33. Rapid Screening for Diabetic Neuropathy Using the 128 Hz Vibration Tuning Fork (the On-Off Method). *Canadian Journal of Diabetes*. 2018;42:S321.
34. Hinchliffe RJ, Forsythe RO, Apelqvist J, Boyko EJ, Fitridge R, Hong JP, et al. Guidelines on diagnosis, prognosis, and management of peripheral artery disease in patients with foot ulcers and diabetes (IWGDF 2019 update). *Diabetes/metabolism research and reviews*. 2020;36:e3276.
35. Craig C, Marshall A, Sjostrom M, Bauman A, Booth M, Ainsworth B, et al. International Physical Activity Questionnaire: 12-Country Reliability and Validity. *Medicine and science in sports and exercise*. 2003;35:1381-95.
36. Ignaszewski M, Lau B, Shannon W, Isserow S. The science of exercise prescription: Martti Karvonen and his contributions. *British Columbia Medical Association*; 2017. p. 38-41.
37. Redmond AC, Crane YZ, Menz HB. Normative values for the Foot Posture Index. *J Foot Ankle Res*. 2008;1(1):6.
38. Brognara L, Mazzotti A, Di Martino A, Faldini C, Cauli O. Wearable Sensor for Assessing Gait and Postural Alterations in Patients with Diabetes: A Scoping Review. *Medicina*. 2021;57(11):1145.
39. Rosales W, Cofré C, Alejandra C, Bertona C, Vizcaya A, González J, et al. Validation of the Borg scale in participants with type 2 diabetes mellitus. *Rev Med Chil*. 2016;144(9):1159-63.
40. Lee IM, Buchner DM. The importance of walking to public health. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(7 Suppl):S512-8.
41. Dunton GF, Schneider M. Perceived barriers to walking for physical activity. *Preventing chronic disease*. 2006;3(4):A116.
42. Sawacha Z, Gabriella G, Cristoferi G, Guiotto A, Avogaro A, Cobelli C. Diabetic gait and posture abnormalities: a biomechanical investigation through three dimensional gait analysis. *Clinical biomechanics*. 2009;24(9):722-8.
43. Sawacha Z, Spolaor F, Guarneri G, Contessa P, Carraro E, Venturin A, et al. Abnormal muscle activation during gait in diabetes patients with and without neuropathy. *Gait & Posture*. 2012;35(1):101-5.
44. Dingwell JB, Cusumano JP, Sternad D, Cavanagh PR. Slower speeds in patients with diabetic neuropathy lead to improved local dynamic stability of continuous overground walking. *J Biomech*. 2000;33(10):1269-77.

45. Reeves ND, Brown SJ, Petrovic M, Boulton AJM, Vileikyte L. How Does Self-Perceived Unsteadiness Influence Balance and Gait in People With Diabetes? Preliminary Observations. *Diabetes Care*. 2017;40(5):e51-e2.
46. Ling C, Kelechi T, Mueller M, Brotherton S, Smith S. Gait and Function in Class III Obesity. *Journal of Obesity*. 2012;2012:257468.
47. Papanas N, Ziegler D. Risk Factors and Comorbidities in Diabetic Neuropathy: An Update 2015. *The review of diabetic studies : RDS*. 2015;12(1-2):48-62.
48. Vileikyte L, Crews RT, Reeves ND. Psychological and Biomechanical Aspects of Patient Adaptation to Diabetic Neuropathy and Foot Ulceration. *Current diabetes reports*. 2017;17(11):109.
49. Yang Z, Chen R, Zhang Y, Huang Y, Hong T, Sun F, et al. Scoring systems to screen for diabetic peripheral neuropathy: *Cochrane Database Syst Rev*. 2018 Jul 30;2018(7):CD010974. doi: 10.1002/14651858.CD010974.pub2. eCollection 2018.
50. Jiang X, Deng F, Rui S, Ma Y, Wang M, Deng B, et al. The Evaluation of Gait and Balance for Patients with Early Diabetic Peripheral Neuropathy: A Cross-Sectional Study. *Risk management and healthcare policy*. 2022;15:543-52.
51. Horstink KA, van der Woude LHV, Hijmans JM. Effects of offloading devices on static and dynamic balance in patients with diabetic peripheral neuropathy: A systematic review. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*. 2021;22(2):325-35.
52. Crews RT, Candela J. Decreasing an Offloading Device's Size and Offsetting Its Imposed Limb-Length Discrepancy Lead to Improved Comfort and Gait. *Diabetes Care*. 2018;41(7):1400.
53. Kluding PM, Bareiss SK, Hastings M, Marcus RL, Sinacore DR, Mueller MJ. Physical Training and Activity in People With Diabetic Peripheral Neuropathy: Paradigm Shift. *Physical therapy*. 2016;97(1):31-43.
54. Kluding PM, Pasnoor M, Singh R, D'Silva LJ, Yoo M, Billinger SA, et al. Safety of Aerobic Exercise in People With Diabetic Peripheral Neuropathy: Single-Group Clinical Trial. *Physical therapy*. 2015;95(2):223-34.
55. Hopkins SR, Dominelli PB, Davis CK, Guenette JA, Luks AM, Molgat-Seon Y, et al. Face Masks and the Cardiorespiratory Response to Physical Activity in Health and Disease. *Annals of the American Thoracic Society*. 2021;18(3):399-407.
56. Umutlu G, Acar NE, Sinar DS, Akarsu G, Güven E, Yildirim I. COVID-19 and physical activity in sedentary individuals: differences in metabolic, cardiovascular, and respiratory responses during aerobic exercise performed with and without a surgical face masks. *J Sports Med Phys Fitness*. 2022;62(6):851-8.
57. Ali S, Stone MA, Peters JL, Davies MJ, Khunti K. The prevalence of co-morbid depression in adults with Type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Diabetic medicine : a journal of the British Diabetic Association*. 2006;23(11):1165-73.
58. Katon WJ, Russo JE, Heckbert SR, Lin EHB, Ciechanowski P, Ludman E, et al. The relationship between changes in depression symptoms and changes in health risk behaviors in patients with diabetes. *International Journal of Geriatric Psychiatry*. 2010;25(5):466-75.

59. King DK, Glasgow RE, Toobert DJ, Strycker LA, Estabrooks PA, Osuna D, et al. Self-Efficacy, Problem Solving, and Social-Environmental Support Are Associated With Diabetes Self-Management Behaviors. *Diabetes Care*. 2010;33(4):751-3.
60. Iqbal Z, Azmi S, Yadav R, Ferdousi M, Kumar M, Cuthbertson DJ, et al. Diabetic Peripheral Neuropathy: Epidemiology, Diagnosis, and Pharmacotherapy. *Clinical therapeutics*. 2018;40(6):828-49.
61. Fisher RJ, Katz JE. Social-desirability bias and the validity of self-reported values. *Psychology & Marketing*. 2000;17(2):105-20.
62. Klaic M, Kapp S, Hudson P, Chapman W, Denehy L, Story D, et al. Implementability of healthcare interventions: an overview of reviews and development of a conceptual framework. *Implementation Science*. 2022;17(1):10.

# Appendix 1

Numéro d'identification du participant : \_\_\_\_\_

## Questionnaire 1 : Perception de la séance #1

1. À combien évaluez-vous la difficulté de l'activité physique effectuée (sans botte) selon l'échelle suivante?

Cote	Perception
0	Rien du tout
0,5	Très très facile
1	Très facile
2	Facile
3	Moyen
4	Un peu difficile
5	Difficile
6	
7	Très difficile
8	
9	
10	Très très difficile (presque maximal)

2. Avez-vous d'autres commentaires sur l'activité physique réalisée?

---

---

---

---

---

---

Numéro d'identification du participant : \_\_\_\_\_

### Questionnaire 2 : Perspective de la séance #2

1. À combien évaluez-vous votre niveau de confort au cours de l'activité physique (avec la botte de décharge)?

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Très confortable					Très inconfortable				

2. À combien évaluez-vous la difficulté de l'activité physique effectuée (avec botte) selon l'échelle de Borg modifiée?

Cote	Perception
0	Rien du tout
0,5	Très très facile
1	Très facile
2	Facile
3	Moyen
4	Un peu difficile
5	Difficile
6	
7	Très difficile
8	
9	
10	Très très difficile (presque maximal)

3. Vous sentiriez-vous apte à refaire cette activité physique dans le cadre de votre vie quotidienne?

Oui  Non

4. Avez-vous d'autres commentaires sur l'activité physique réalisée?

---

---

---

---

---

---

## Appendix 2

Additional table 1. Comparison between left and right foot

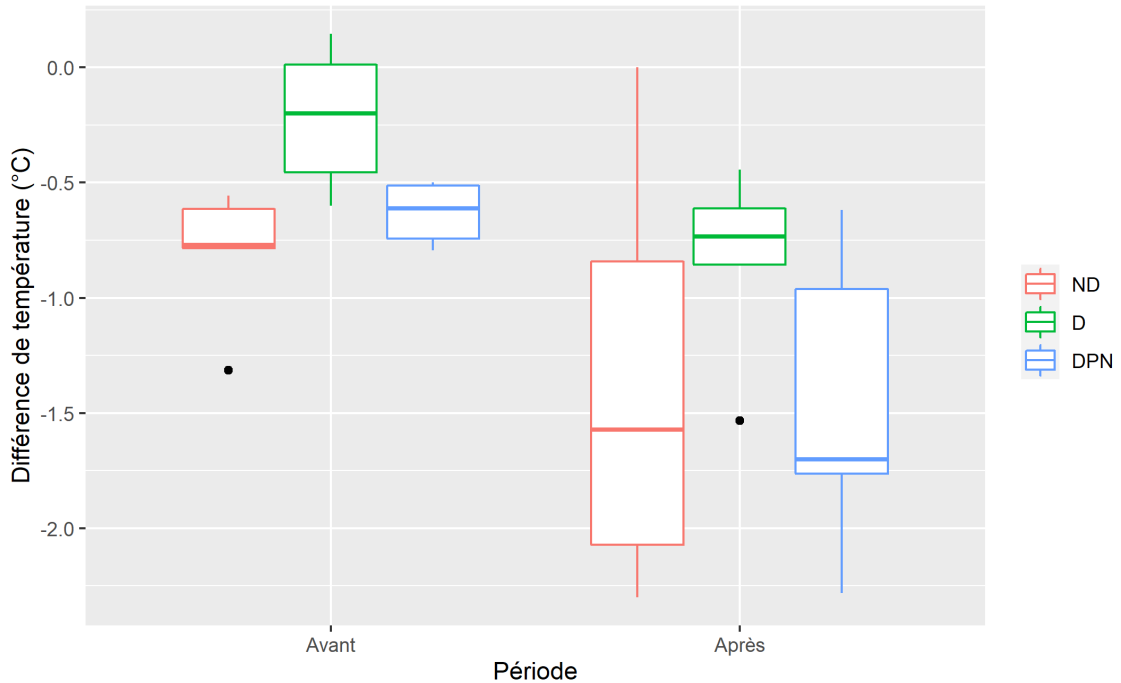
	Control ND				Control D				DPN			
	(n=7)				(n=9)				(n=16)			
	v1 Diff (%)	p-value	v2 Diff (%)	p-value	v1 Diff (%)	p-value	v2 Diff (%)	p-value	v1 Diff (%)	p-value	v2 Diff (%)	p-value
<b>Gait Speed, m/s</b>	0.6	1.00	-1.8	1.00	-0.7	1.00	-1.1	1.00	-0.7	1.00	-0.7	1.00
<b>Stride Length, m</b>	0.7	1.00	-1.5	1.00	-0.7	1.00	-1.3	1.00	-0.7	1.00	-0.7	1.00
<b>Minimal Toe Clearance, cm</b>	11.1	1.00	70.7	1.00	19.9	1.00	88.3	1.00	-4.4	1.00	58.1	1.00
<b>Stance, %</b>	-1.3	1.00	-10.0	0.98	0.0	1.00	-6.3	1.00	0.9	1.00	-5.9	1.00

## CHAPITRE 6 – RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES

### 6.1. Thermographie cutanée

La température cutanée a été récoltée sur la plante des pieds des participants avant et après la marche rapide lors de la seconde séance d'expérimentation (c2). Une période de cinq minutes en position assise avec les jambes allongées a été complétée par tous les participants avant d'effectuer la deuxième mesure après l'AP.

L'analyse de ces données a été effectuée en mesurant la différence de température entre le côté avec botte de décharge et côté controlatéral sur un même site. Les différents sites d'analyse sont décrits à la Figure 2 (Section 2.3.1). Tel que présenté à la Figure 8, les moyennes de différence de température sur un même site pour les différents groupes se situent sous la barre du 2,2°C.



Légende et abbréviation:  
 ND: Participants sans diabète  
 D: Participants avec diabète sans NDP  
 DPN: Participants avec diabète et NDP  
 Points noirs: Valeurs aberrantes

Figure 8. Différence de température sur un même site avant et après l'activité physique pour chaque groupe

Il est cependant important de considérer qu'il y a tout de même une différence plus marquée et irrégulière entre les participants après l'AP qu'avant celle-ci. Cette augmentation est plus marquée sur le côté avec l'élévation controlatérale que celui avec la botte de décharge puisque les valeurs sont négatives. Il est prévu d'éventuellement produire un article scientifique de type rapport bref en lien avec ces résultats.



## CHAPITRE 7 – DISCUSSION

### Rappel des objectifs et hypothèses

Ce mémoire présentait trois objectifs distincts. Le premier était de comparer des variables de la démarche telles que la vitesse de marche, la longueur de pas et sa variation entre les pas, le pourcentage de double-support, le dégagement minimal des orteils et le pourcentage de la phase d'appui lors d'une activité physique (AP) de marche rapide de 20 minutes à intensité moyenne, sans et avec une botte de décharge et une élévation controlatérale. Le deuxième était une évaluation de la faisabilité de l'intervention d'AP proposée et le dernier, une évaluation des patrons de température cutanée avant et après l'AP entre les deux pieds et ce, pour l'ensemble des participants. Les hypothèses émises étaient tout d'abord qu'il n'y aurait pas de différence significative dans les paramètres de la démarche entre la marche sans et avec la botte de décharge et l'élévation controlatérale chez tous les participants. Ensuite, il a été émis que l'intervention proposée serait possible pour tous les participants et que celle-ci n'apporterait pas d'événements indésirables majeurs et finalement, que la marche avec port de modalité de décharge et élévation controlatérale n'augmenterait pas de manière significative la température cutanée locale de plus de 2,2°C. Les résultats sont présentés aux deux chapitres précédents et seront abordés dans le présent chapitre en adressant chacun de ces objectifs individuellement.

## **7.1 Analyse des paramètres de la démarche**

Initialement, les résultats furent divisés en périodes de cinq minutes afin d'évaluer l'effet du temps sur la démarche dans les conditions de l'étude, mais lors de l'analyse, aucune différence significative ne fut identifiée dans les paramètres. Ces résultats suggèrent qu'il n'y avait pas d'effet important de fatigue ou au contraire, d'adaptation significative lors de l'intervention. De plus, aucune différence significative dans les paramètres de la démarche ne fut observée entre le côté gauche et droit dans tous les groupes et conditions de marche. En réponse à la première hypothèse, une certaine détérioration de la démarche a lieu lors de l'intervention avec le port d'une botte de décharge et élévation controlatérale, mais celle-ci reste minimale lorsqu'on la compare avec le port d'une modalité de décharge unilatérale (Ling et al., 2020). L'analyse plus approfondie sera décrite dans les prochaines sections.

### **7.1.1 Comparaison entre les conditions de marche**

Lors de la comparaison de la marche rapide dans les conditions décrites précédemment dans la méthodologie de l'article scientifique (chapitre 5), les participants des groupes sains et atteints de diabète sans neuropathie diabétique périphérique (NDP) démontrent une diminution significative de la vitesse de marche avec le port d'une botte de décharge et d'une élévation controlatérale. Le fait que le groupe atteint de NDP ne présente pas de diminution significative pourrait être associé à la diminution de vitesse de marche concomitante causée par la NDP, mais aussi à l'effet de diminution de vélocité corrélé avec la perception d'instabilité (Dingwell et al., 2000). En effet, puisque

l'appareillage utilisé est plus lourd et muni d'une semelle en berceau contrairement à la chaussure habituelle des participants, il est possible que ceux-ci réduisent leur vitesse en conséquence. La diminution globale de 8,5% reste minimale comparativement aux résultats de 35,5% comparant la démarche normale à l'utilisation d'une botte de décharge unilatérale publiés récemment dans une étude pertinente en lien avec nos objectifs (Ling et al., 2020). Il est cependant important d'interpréter ces résultats avec prudence puisque les participants de cette étude étaient atteints d'un ulcère plantaire diabétique (UPD) actif unilatéral. Ensuite, le pourcentage de double-support est diminué lors de l'utilisation de la modalité de décharge et de l'élévation controlatérale chez le groupe sain, mais augmenté chez le groupe présentant une NDP, suggérant possiblement une compensation de l'instabilité induite par la botte chez les participants de ce groupe. De plus, le temps en appui est plus long sur le côté avec la botte et plus court sur le côté controlatéral chez les trois groupes (Crews & Candela, 2018).

Même si la variabilité de la démarche a été identifiée comme un facteur intéressant dans l'analyse de la démarche chez la population atteinte de NDP, il n'y a que très peu de données disponibles actuellement (Brognara et al., 2021). Il est donc très difficile d'effectuer une comparaison avec la littérature actuelle. Dans ce projet, la variabilité globale dans la longueur de pas était plus élevée de 23% lors de la marche avec modalité de décharge et élévation controlatérale. Cette différence reste considérablement moindre qu'une augmentation de 162% rapportés antérieurement par un autre auteur dans des conditions de marche avec botte de décharge, mais sans élévation controlatérale (Ling et al., 2020). Même si les conditions de marche sont différentes entre les études, il est

intéressant de noter que la variabilité étant moindre, les participants présentent donc une marche plus régulière et ayant moins de variations, donc moins de risque de débalancement qui est associé à moins de chutes.

Au niveau de l'analyse du dégagement minimal des orteils, malgré l'augmentation de la variabilité entre les pas avec le port de la botte de décharge et de l'élévation controlatérale, les valeurs recensées sont au-delà de 10mm dans tous les groupes de participants. Ces résultats suggèrent qu'il n'y aurait pas nécessairement d'augmentation du risque de chute avec l'intervention proposée puisque les participants sont aptes à dégager adéquatement le sol lors de la marche rapide évaluée (Alam et al., 2017; Yalla et al., 2020).

### **7.1.2 Comparaison entre les groupes**

Les résultats de cette étude démontrent certains changements dans les paramètres de la démarche entre les groupes de participants : sains, atteints de diabète et atteints de NDP. En effet, en comparaison avec le groupe sain, le groupe atteint de diabète et celui présentant une NDP ont une vitesse de marche et une longueur de pas diminuée lors des deux conditions de marche réalisées, ce qui est en concordance avec les données actuelles de la littérature (Brognara et al., 2021; Sawacha et al., 2009). Également, le pourcentage de double-support était plus grand chez le groupe présentant une NDP tel qu'attendu par rapport aux modifications normales de la démarche chez cette population. Ces résultats suggèrent une détérioration de la démarche dans les groupes atteints de diabète sans et avec NDP lors de la marche rapide, que ceux-ci utilisent leurs propres chaussures ou la botte de décharge avec une élévation controlatérale. Cet effet est normal, mais doit être

considéré puisqu'il suggère soit une compensation d'instabilité à la marche, soit une association normale à la diminution de vitesse de marche recensée (Williams & Martin, 2019). Dans le cas présent, une diminution de la vitesse de marche est présente avec la seconde condition et le changement dans le double-support semble normal, mais plus accentué que chez la population saine tel que décrit précédemment.

De plus, malgré l'augmentation de la variabilité de dégagement minimal des orteils entre les pas lors du port d'une botte de décharge avec élévation controlatérale, aucune différence significative n'est présente entre les différents groupes, suggérant que le risque de chute ne serait pas plus élevé lors de la réalisation de l'intervention chez la population présentant une NDP que chez une population saine. Également, ce paramètre nous permet de poser l'hypothèse qu'il n'y aurait pas de fatigue importante lors de l'AP puisqu'il a été identifié que l'effet de fatigue lors de marche rapide apporterait une augmentation du dégagement minimal des orteils par comme stratégie de compensation (Jin et al., 2022).

### **7.1.3 Interaction en lien avec le niveau d'activité physique**

Un niveau d'AP plus élevé représenté par un score au questionnaire IPAQ plus haut est associé à une augmentation significative de la vitesse de marche et une diminution du pourcentage de double-support. Ces résultats suggèrent une corrélation inverse entre la détérioration de la démarche et le niveau d'AP, ce qui va dans le même sens des bienfaits de l'intégration d'AP sur une base quotidienne chez la population présentant une NDP (Orlando et al., 2021). Il a été démontré que l'amélioration du niveau d'AP chez la

population atteinte de diabète diminue les anomalies dans le cycle de marche, autant au niveau des durées de cycle que de la cinématique articulaire (Agostini et al., 2012). L'augmentation de l'AP chez la population NDP étant également associée à une meilleure santé cardiovasculaire et à la prévention des comorbidités, il est important de mettre celle-ci de l'avant (Yang et al., 2014). Elle permet de renforcer la musculature aux membres inférieurs et donc, de mieux s'adapter à la marche rapide et aux possibles débalancements associés au port de la botte de décharge (Skelton, 2001).

## **7.2 Faisabilité de l'intervention**

Les résultats de faisabilité de l'intervention de l'étude confirment l'hypothèse initiale. Par rapport aux valeurs de l'échelle de confort, les participants ont rapporté une valeur moyenne de 6,2 sur 10 pendant l'AP avec port de la botte de décharge et d'élévation controlatérale. Cette valeur est logique considérant les quelques événements indésirables rencontrés lors de l'intervention. Une étude a démontré un niveau de confort pendant une marche de 20 mètres avec les mêmes appareils de 8,6 sur 12, ce qui est comparable aux résultats actuels (Crews & Candela, 2018). Il est tout de même important de considérer la différence entre les méthodologies, où les participants de l'étude actuelle ont effectué une marche plus rapide et beaucoup plus longue, révélant des résultats intéressants dans ce contexte peu étudié. De plus, les résultats de perception de l'effort mesurés à partir de l'échelle de Borg modifiée ne diffèrent pas significativement entre les groupes. Cependant, tel que rapporté dans la littérature, l'utilisation obligatoire du masque de procédure dû au contexte de pandémie de la Covid-19 peut avoir influencé ces résultats,

particulièrement chez la population NDP. Effectivement, un lien a été établi entre la difficulté à l'AP avec le port de masque chez les individus présentant un niveau de sédentarité élevé, ce qui est généralement le cas chez les individus atteints de NDP (Hopkins et al., 2021; Umutlu et al., 2022). La perception de l'effort est plus élevée lors de l'AP avec botte de décharge et élévation controlatérale, ce qui était attendu dû au poids de l'appareillage ainsi qu'à la plus longue durée de l'intervention. Le risque de chute n'a pas été investigué spécifiquement dans l'étude, mais il n'y a eu aucune chute pendant l'expérimentation et aucun participant n'a rapporté ressentir la peur de tomber avec l'appareillage. Finalement, 90% des participants ont rapporté que l'intervention d'AP proposée serait faisable quotidiennement. Considérant que l'intervention proposée se trouve à respecter les recommandations d'AP aérobique si elle est effectuée quotidiennement, nous suggérons donc de poursuivre les études par rapport à cette intervention. Il est par contre important de considérer que l'étude a été réalisée dans un contexte contrôlé, où il n'y a aucune pente, obstacles ou terrains instables.

### **7.3 Analyse de la thermographie cutanée**

Les résultats nous permettent de confirmer la troisième hypothèse voulant que l'intervention proposée n'augmente pas la température cutanée chez les participants de plus de 2,2°C sur un même site entre le côté avec botte de décharge et le côté avec élévation controlatérale. Cependant, puisque la température cutanée était plus élevée sur le côté controlatéral que le côté avec la botte de décharge après l'activité, il est important d'être prudent dans l'interprétation des résultats puisqu'il est plausible que cet effet soit

dû à une augmentation compensatoire de la pression plantaire. La thermographie cutanée étant un outil intéressant et recommandé dans l'analyse des risques d'UPD, celle-ci a été mesurée avant et après l'intervention dans le but de vérifier si une augmentation de plus de 2,2°C était présente sur un même site entre le côté avec botte de décharge et le côté controlatéral (Houghton et al., 2013; Van Netten et al., 2013; Bus et al., 2020). Les résultats confirment la dernière hypothèse, alors qu'il n'y a pas cette augmentation significative sur aucun point. Puisqu'il n'y a pas de points chauds indicateurs d'une inflammation pré-ulcéralive, il est possible de suggérer qu'il n'y ait donc pas de régions présentant une pression locale trop élevée au cours de l'AP proposée chez les participants, mais le nombre de participants à l'étude étant limité et la variabilité élevée, ces résultats doivent être interprétés avec prudence (Petrova et al., 2020). Il demeure que la thermographie cutanée est un outil avec un potentiel dans ce contexte car ce projet soutient la faisabilité de cette prise de mesure.



## 7.4 Implications cliniques et perspectives de recherche

Les impacts du port d'une modalité de décharge unilatérale sur les paramètres de la démarche sont bien identifiés et plusieurs études ont proposé l'utilisation d'une élévation controlatérale pour en diminuer l'impact (Crews & Candela, 2018; Ling et al., 2020). À la lumière des résultats découlant du projet, cela renforce l'importance d'avoir les deux modalités en concomitance pour limiter ces impacts, surtout lors d'une marche rapide. Nos résultats supportent cette hypothèse, mais suggèrent d'en faire l'interprétation clinique avec prudence puisqu'il y a tout de même une certaine détérioration de la démarche, particulièrement chez les individus présentant un bas niveau d'AP. Du côté méthodologique, l'étude contribue aux connaissances actuelles sur l'utilisation des paramètres d'analyse de variabilité de la démarche, de dégagement minimal des orteils et l'intégration de l'analyse de la thermographie cutanée dans le contexte d'AP. Les résultats supportent la faisabilité de l'intervention proposée chez la population NDP, mais plus de connaissances, principalement en lien avec l'analyse des pressions plantaires et la sécurité à long terme de l'intervention sont nécessaires. De plus, investiguer le risque d'UPD et les bénéfices métaboliques, l'acceptabilité chez la population, l'adhésion aux recommandations, l'adaptation et l'intégration du protocole quotidien sont nécessaires avant l'implémentation de ce type d'AP à plus grande échelle (Klaic et al., 2022). L'étude ouvre des perspectives de recherche intéressantes sur la comparaison des pressions plantaires et des paramètres de la démarche avec et sans l'utilisation d'une élévation controlatérale en contexte d'AP. Une autre opportunité scientifique intéressante serait d'évaluer les effets de l'AP avec modalité de décharge et élévation controlatérale dans un

contexte d'UPD actif où celle-ci pourrait potentiellement améliorer la vascularisation locale, voire aider dans le processus de guérison et de prévention des récurrences par la suite selon la théorie du stress tissulaire.

### **7.5 Limites du projet de recherche**

Le projet de recherche actuel se voulant expérimental, il présente plusieurs limites décrites dans l'article scientifique en plus de limitations budgétaires et de disponibilité de l'équipement en lien avec l'analyse des pressions plantaires. En plus de celles-ci, la condition physique cardiorespiratoire des participants n'a pas été mesurée, ce qui permet seulement une mesure et analyse subjective de l'effort. De plus, l'indice de masse corporelle n'a pas été contrôlé pour les participants, ce qui limite le potentiel de comparaison des groupes. Une différence expérimentale dans le temps de marche rapide entre les conditions est également présente, ce qui ne permet pas d'isoler l'effet de l'appareillage sur l'AP. Cette différence est due à une limitation temporelle ainsi qu'à la simplification du protocole en lien avec la pandémie COVID-19.

## CHAPITRE 8 - CONCLUSION

Les travaux réalisés dans le cadre de ce mémoire démontrent que l'utilisation d'une modalité de décharge chez la population atteinte de neuropathie diabétique périphérique (NDP) lors d'une marche rapide détériore la démarche, mais que l'utilisation d'une élévation controlatérale pourrait potentiellement limiter cette détérioration. De plus, l'activité physique (AP) moyenne de type aérobique sous forme de marche rapide pendant 20 minutes avec ces appareillages est faisable, et ce même si quelques événements indésirables mineurs ont été rapportés. La thermographie cutanée effectuée après l'intervention démontre qu'il n'a pas eu d'augmentation de température à certains sites et pourrait être un outil utile pour évaluer le risque d'ulcère plantaire diabétique dans ce contexte. Des études supplémentaires investiguant les pressions plantaires dans le même contexte sont essentielles pour la poursuite des travaux pour ultimement considérer l'implémentation de l'AP proposée à plus grande échelle ou chez une population plus à risque. Ces résultats sont novateurs. L'intervention proposée a le potentiel de diminuer la sédentarité chez la population atteinte de NDP et donc promouvoir l'AP et ses bénéfices métaboliques dans le but ultime d'améliorer la santé globale.

## BIBLIOGRAPHIE

- Abdulhannan, P., Russell, D. A., & Homer-Vanniasinkam, S. (2012). Peripheral arterial disease: a literature review. *British Medical Bulletin*, *104*, 21-39.
- Adam, M., Ng, E. Y. K., Tan, J. H., Heng, M. L., Tong, J. W. K., & Acharya, U. R. (2017). Computer aided diagnosis of diabetic foot using infrared thermography: A review. *Computers in Biology and Medicine*, *91*, 326-336.
- Agostini, V., De Luca, R., Mansin, L. C., & Knaflitz, M. (2012). Reduction of gait abnormalities in type 2 diabetic patients due to physical activity: A quantitative evaluation based on statistical gait analysis. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, *12*(05), 1240025.
- Ahmed, S., Barwick, A., Butterworth, P., & Nancarrow, S. (2020). Footwear and insole design features that reduce neuropathic plantar forefoot ulcer risk in people with diabetes: a systematic literature review. *Journal of Foot and Ankle Research*, *13*, 1-13.
- Alam, U., Riley, D. R., Jugdey, R. S., Azmi, S., Rajbhandari, S., D'Août, K., & Malik, R. A. (2017). Diabetic neuropathy and gait: A review. *Diabetes Therapy*, *8*(6), 1253-1264.
- Alavi, A., Sibbald, R. G., Nabavizadeh, R., Valaei, F., Coutts, P., & Mayer, D. (2015). Audible handheld Doppler ultrasound determines reliable and inexpensive exclusion of significant peripheral arterial disease. *Vascular*, *23*(6), 622-629.
- Albright, B. C., & Woodhull-Smith, W. M. (2009). Rocker bottom soles alter the postural response to backward translation during stance. *Gait & Posture*, *30*(1), 45-49.
- Ali, S., Stone, M. A., Peters, J. L., Davies, M. J., & Khunti, K. (2006). The prevalence of co-morbid depression in adults with type 2 diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Diabetic medicine : a journal of the British Diabetic Association*, *23*(11), 1165–1173.
- Allet, L., Armand, S., de Bie, R. A., Golay, A., Monnin, D., Aminian, K., & de Bruin, E. D. (2008). Reliability of diabetic patients' gait parameters in a challenging environment. *Gait & posture*, *28*(4), 680–686.
- Amemiya, A., Noguchi, H., Oe, M., Takehara, K., Ohashi, Y., Suzuki, R. & Mori, T. (2016). Shear stress-normal stress (pressure) ratio decides forming callus in patients with diabetic neuropathy. *Journal of Diabetes Research*, *2016*, 3157123.
- Aronson, R., Chu, L., Joseph, N., & Brown, R. (2021). Prevalence and risk evaluation of diabetic complications of the foot among adults with type 1 and type 2 diabetes in a large canadian population (PEDAL Study). *Canadian Journal of Diabetes*, *45*(7), 588-593.
- Andersen, H. (2012). Motor dysfunction in diabetes. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, *28*(S1), 89-92.
- Armstrong, D. G., Boulton, A. J., & Bus, S. A. (2017). Diabetic foot ulcers and their recurrence. *New England Journal of Medicine*, *376*(24), 2367-2375.

- Armstrong, D. G., Kanda, V. A., Lavery, L. A., Marston, W., Mills, J. L., & Boulton, A. J. M. (2013). Mind the gap: Disparity between research funding and costs of care for diabetic foot ulcers. *Diabetes Care*, *36*(7), 1815.
- Armstrong, D. G., Lavery, L. A., Kimbriel, H. R., Nixon, B. P., & Boulton, A. J. M. (2003). Activity patterns of patients with diabetic foot ulceration: Patients with active ulceration may not adhere to a standard pressure off-loading regimen. *Diabetes Care*, *26*(9), 2595-2597.
- Armstrong, D. G., Lavery, L. A., Liswood, P. J., Todd, W. F., & Tredwell, J. A. (1997). Infrared dermal thermometry for the high-risk diabetic foot. *Physical Therapy*, *77*(2), 169-175.
- Armstrong, D. G., Swerdlow, M. A., Armstrong, A. A., Conte, M. S., Padula, W. V., & Bus, S. A. (2020). Five year mortality and direct costs of care for people with diabetic foot complications are comparable to cancer. *Journal of Foot and Ankle Research*, *13*(1), 1-4.
- Azizan, N. A., Basaruddin, K. S., Salleh, A. F., Sulaiman, A. R., Safar, M. J. A., & Rusli, W. M. R. (2018). Leg length discrepancy: Dynamic balance response during gait. *Journal of Healthcare Engineering*, *2018*, 7815451.
- Baumgartner, I., Schainfeld, R., & Graziani, L. (2005). Management of peripheral vascular disease. *Annual review of medicine*, *56*, 249-272.
- Benson, L. C., Clermont, C. A., Bošnjak, E., & Ferber, R. (2018). The use of wearable devices for walking and running gait analysis outside of the lab: A systematic review. *Gait & Posture*, *63*, 124-138.
- Blanchette, V. & Brousseau-Foley, M. (2020). Too few, too many or just right? *Wound Care Canada*, *18*(2).
- Blanchette, V., & Brousseau-Foley, M. (2021). Prise en charge multidisciplinaire de l'infection de l'ulcération plantaire diabétique. *La Revue de médecine interne*, *42*(3), 193-201.
- Botros, M., Kuhnke, J., Embil, J., Goettl, K., Morin, C., Parsons, L., . . . Evans, R. (2019). Prevention and Management of Diabetic Foot Ulcers. In: Canadian Association of Wound Care (Wounds Canada).
- Bowen, D. J., Kreuter, M., Spring, B., Cofta-Woerpel, L., Linnan, L., Weiner, D., . . . Fernandez, M. (2009). How we design feasibility studies. *American journal of preventive medicine*, *36*(5), 452-457.
- Boyko, E. J., Ahroni, J. H., Stensel, V., Forsberg, R. C., Davignon, D. R., & Smith, D. G. (1999). A prospective study of risk factors for diabetic foot ulcer. The Seattle Diabetic Foot Study. *Diabetes Care*, *22*(7), 1036-1042.
- Brod, M., Pohlman, B., Blum, S. I., Ramasamy, A., & Carson, R. (2015). Burden of illness of diabetic peripheral neuropathic pain: a qualitative study. The patient-patient-centered outcomes research, *8*(4), 339-348.

- Brognara, L., Mazzotti, A., Di Martino, A., Faldini, C., & Cauli, O. (2021). Wearable sensor for assessing gait and postural alterations in patients with diabetes: A scoping review. *Medicina*, 57(11), 1145.
- Brousseau-Foley, M., & Blanchette, V. (2020). Multidisciplinary management of diabetic foot ulcers in primary cares in Quebec: Can we do better? *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, 13, 381-385.
- Brousseau-Foley, M., & Blanchette, V. (2021). Remaining question: Does exercise improve healing of diabetic foot ulcers? *The international Journal of Lower Extremity Wounds*, 0(0), 15347346211063701.
- Brousseau-Foley, M., Blanchette, V., Trudeau, F., & Houle, J. (2021). Physical activity participation in people with an active diabetic foot ulceration: A scoping review. *Canadian Journal of Diabetes*.
- Brown, J. J., Pribesh, S. L., Baskette, K. G., Vinik, A. I., & Colberg, S. R. (2017). A comparison of screening tools for the early detection of peripheral neuropathy in adults with and without type 2 diabetes. *Journal of Diabetes Research*, 2017, 1467213-1467213.
- Brown, S. J., Handsaker, J. C., Bowling, F. L., Boulton, A. J. M., & Reeves, N. D. (2015). Diabetic peripheral neuropathy compromises balance during daily activities. *Diabetes Care*, 38(6), 1116.
- Brown, S. J., Handsaker, J. C., Bowling, F. L., Maganaris, C. N., Boulton, A. J. M., & Reeves, N. D. (2014). Do patients with diabetic neuropathy use a higher proportion of their maximum strength when walking? *Journal of Biomechanics*, 47(15), 3639-3644.
- Brownrigg, J. R. W., Apelqvist, J., Bakker, K., Schaper, N. C., & Hinchliffe, R. J. (2013). Evidence-based management of PAD & the diabetic foot. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*, 45(6), 673-681.
- Bus, S. A. (2016). Innovations in plantar pressure and foot temperature measurements in diabetes. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 32 Suppl 1, 221-226.
- Bus, S. A., Armstrong, D. G., Gooday, C., Jarl, G., Caravaggi, C., Viswanathan, V., . . . Foot, I. W. G. o. t. D. (2020). Guidelines on offloading foot ulcers in persons with diabetes (IWGDF 2019 update). *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36, e3274.
- Bus, S. A., Lavery, L. A., Monteiro-Soares, M., Rasmussen, A., Raspovic, A., Sacco, I. C. N., & van Netten, J. J. (2020). Guidelines on the prevention of foot ulcers in persons with diabetes (IWGDF 2019 update). *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36 Suppl 1, e3269.
- Bus, S. A., Ulbrecht, J. S., & Cavanagh, P. R. (2004). Pressure relief and load redistribution by custom-made insoles in diabetic patients with neuropathy and foot deformity. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 19(6), 629-638.
- Bus, S. A., van Deursen, R. W., Armstrong, D. G., Lewis, J. E., Caravaggi, C. F., & Cavanagh, P. R. (2016). Footwear and offloading interventions to prevent and

- heal foot ulcers and reduce plantar pressure in patients with diabetes: a systematic review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 32 Suppl 1, 99-118.
- Bus, S. A., Yang, Q. X., Wang, J. H., Smith, M. B., Wunderlich, R., & Cavanagh, P. R. (2002). Intrinsic muscle atrophy and toe deformity in the diabetic neuropathic foot: A magnetic resonance imaging study. *Diabetes Care*, 25(8), 1444-1450.
- Caldas, R., Mundt, M., Potthast, W., Buarque de Lima Neto, F., & Markert, B. (2017). A systematic review of gait analysis methods based on inertial sensors and adaptive algorithms. *Gait & Posture*, 57, 204-210.
- Callaghan, B. C., Kerber, K., Smith, A. L., Fendrick, A. M., & Feldman, E. L. (2012). The evaluation of distal symmetric polyneuropathy: a physician survey of clinical practice. *Archives of Neurology*, 69(3), 339-345.
- Carmichael, J., Fadavi, H., Ishibashi, F., Shore, A. C., & Tavakoli, M. (2021). Advances in screening, early diagnosis and accurate staging of diabetic neuropathy. *Frontiers in Endocrinology*, 12.
- Caselli, A., Pham, H., Giurini, J. M., Armstrong, D. G., & Veves, A. (2002). The forefoot-to-rearfoot plantar pressure ratio is increased in severe diabetic neuropathy and can predict foot ulceration. *Diabetes Care*, 25(6), 1066-1071.
- Cavanagh, P. R., & Bus, S. A. (2010). Off-loading the diabetic foot for ulcer prevention and healing. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 100(5), 360-368.
- Cavanagh, P. R., Derr, J. A., Ulbrecht, J. S., Maser, R. E., & Orchard, T. J. (1992). Problems with gait and posture in neuropathic patients with insulin-dependent diabetes mellitus. *Diabetic medicine*, 9(5), 469-474.
- Celik, Y., Stuart, S., Woo, W. L., & Godfrey, A. (2021). Gait analysis in neurological populations: Progression in the use of wearables. *Medical Engineering & Physics*, 87, 9-29.
- Chatwin, K. E., Abbott, C. A., Boulton, A. J. M., Bowling, F. L., & Reeves, N. D. (2020). The role of foot pressure measurement in the prediction and prevention of diabetic foot ulceration—A comprehensive review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36(4), e3258.
- Church, T. S., LaMonte, M. J., Barlow, C. E., & Blair, S. N. (2005). Cardiorespiratory fitness and body mass index as predictors of cardiovascular disease mortality among men with diabetes. *Archives of internal medicine*, 165(18), 2114-2120.
- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. C., . . . Tate, D. F. (2016). Physical activity/exercise and diabetes: A Position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 39(11), 2065.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2011). National diabetes fact sheet: national estimates and general information on diabetes and prediabetes in the United States, 2011. Atlanta, GA: US department of health and human services, centers for disease control and prevention, 201(1), 2568-2569.

- Coppelli, A., Abbruzzese, L., Goretti, C., Iacopi, E., Riitano, N., & Piaggese, A. (2018). Does microangiopathy contribute to the pathogenesis of the diabetic foot syndrome? *The Diabetic Foot Syndrome* (Vol. 26, pp. 70-82): Karger Publishers.
- Couppé, C., Svensson, R. B., Kongsgaard, M., Kovanen, V., Grosset, J.-F., Snorgaard, O., . . . Magnusson, S. P. (2016). Human Achilles tendon glycation and function in diabetes. *Journal of Applied Physiology*, *120*(2), 130-137.
- Craig, C., Marshall, A., Sjostrom, M., Bauman, A., Booth, M., Ainsworth, B., . . . Oja, P. (2003). International Physical Activity Questionnaire: 12-Country reliability and validity. *Medicine and science in sports and exercise*, *35*, 1381-1395.
- Crews, R. T., & Candela, J. (2018). Decreasing an offloading device's size and offsetting its imposed limb-length discrepancy lead to improved comfort and gait. *Diabetes Care*, *41*(7), 1400.
- Crews, R. T., King, A. L., Yalla, S. V., & Rosenblatt, N. J. (2018). Recent advances and future opportunities to address challenges in offloading diabetic feet: A mini-review. *Gerontology*, *64*(4), 309-317.
- Crews, R. T., Schneider, K. L., Yalla, S. V., Reeves, N. D., & Vileikyte, L. (2016). Physiological and psychological challenges of increasing physical activity and exercise in patients at risk of diabetic foot ulcers: a critical review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, *32*(8), 791-804.
- Crews, R. T., Shen, B.-J., Campbell, L., Lamont, P. J., Boulton, A. J. M., Peyrot, M., . . . Vileikyte, L. (2016). Role and determinants of adherence to off-loading in diabetic foot ulcer healing: A prospective investigation. *Diabetes Care*, *39*(8), 1371-1377.
- Cruz-Vega, I., Hernandez-Contreras, D., Peregrina-Barreto, H., Rangel-Magdaleno, J. d. J., & Ramirez-Cortes, J. M. (2020). Deep learning classification for diabetic foot thermograms. *Sensors*, *20*(6), 1762.
- Cuesta-Vargas, A. I., Galán-Mercant, A., & Williams, J. M. (2010). The use of inertial sensors system for human motion analysis. *Physical Therapy Reviews*, *15*(6), 462-473.
- Davies, M., Brophy, S., Williams, R., & Taylor, A. (2006). The prevalence, severity, and impact of painful diabetic peripheral neuropathy in type 2 diabetes. *Diabetes Care*, *29*(7), 1518-1522.
- DeMott, T. K., Richardson, J. K., Thies, S. B., & Ashton-Miller, J. A. (2007). Falls and gait characteristics among older persons with peripheral neuropathy. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, *86*(2).
- Dhatariya, K., & Fox, M. (2014). Should patients with active foot ulcers be non-weight bearing or take exercise to improve cardiovascular fitness? *Diabetic Foot*, *17*(3).
- Diabetes Canada Clinical Practice Guidelines Expert Committee. Diabetes Canada 2018 Clinical Practice Guidelines for the Prevention and Management of Diabetes in Canada. *Canadian Journal of Diabetes*. 2018;42(Suppl 1):S1-S325.



- Dingwell, J. B., Cusumano, J. P., Sternad, D., & Cavanagh, P. R. (2000). Slower speeds in patients with diabetic neuropathy lead to improved local dynamic stability of continuous overground walking. *Journal of Biomechanics*, 33(10), 1269-1277.
- Dixit, S., Maiya, A. G., & Shastry, B. A. (2014). Effect of aerobic exercise on peripheral nerve functions of population with diabetic peripheral neuropathy in type 2 diabetes: a single blind, parallel group randomized controlled trial. *Journal of diabetes and its complications*, 28(3), 332–339.
- Duby, J. J., Campbell, R. K., Setter, S. M., White, J. R., & Rasmussen, K. A. (2004). Diabetic neuropathy: an intensive review. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 61(2), 160-173.
- Dunton, G. F., & Schneider, M. (2006). Perceived barriers to walking for physical activity. *Preventing chronic disease*, 3(4), A116
- El-nahas, M. R., Gawish, H. M., Tarshoby, M. M., State, O. I., & Aboelyazid, A. (2011). Effect of simulated leg length discrepancy on plantar pressure distribution in diabetic patients with neuropathic foot ulceration. *Journal of Wound Care*, 20(10), 473-477.
- Ersen, A. L. I., Jupiter, D., Raspovic, K. M., Lavery, L. A., & Yavuz, M. (2020). The Effects of an external shoe-lift on off-loading the diabetic foot. *Diabetes*, 69(Supplement 1), 2157-PUB.
- Feldman, E. L., Callaghan, B. C., Pop-Busui, R., Zochodne, D. W., Wright, D. E., Bennett, D. L., . . . Viswanathan, V. (2019). Diabetic neuropathy. *Nature Reviews Disease Primers*, 5(1), 41.
- Fernando, M., Crowther, R., Lazzarini, P., Sangla, K., Cunningham, M., Buttner, P., & Golledge, J. (2013). Biomechanical characteristics of peripheral diabetic neuropathy: a systematic review and meta-analysis of findings from the gait cycle, muscle activity and dynamic barefoot plantar pressure. *Clinical Biomechanics*, 28(8), 831-845.
- Fernando, M., Crowther, R., Lazzarini, P., Sangla, K., Cunningham, M., & Golledge, J. (2013). Is it how they walk? Biomechanics in diabetic peripheral neuropathy: a review of the literature. *Journal of Foot & Ankle Research*, 6(Suppl 1), 1-1.
- Fernando, M. E., Crowther, R. G., Pappas, E., Lazzarini, P. A., Cunningham, M., Sangla, K. S., . . . Golledge, J. (2014). Plantar pressure in diabetic peripheral neuropathy patients with active foot ulceration, previous ulceration and no history of ulceration: a meta-analysis of observational studies. *PLoS one*, 9(6), e99050.
- Fernando, M. E., Woelfel, S. L., Perry, D., Najafi, B., Khan, T., DuBourdieu, C., . . . Armstrong, D. G. (2021). Dosing activity and returning to pre-ulcer function in diabetic foot remission: Patient recommendations and Guidance from the Limb Preservation Consortium at USC and The National Rehabilitation Center at Rancho Los Amigos. *Journal of the American Podiatric Medical Association*.
- Fleischli, J. G., Lavery, L. A., Vela, S. A., Ashry, H., & Lavery, D. C. (1997). 1997 William J. Stickel Bronze Award. Comparison of strategies for reducing pressure at the site

- of neuropathic ulcers. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 87(10), 466-472.
- Fortaleza, A. C. D. S., Chagas, E. F., Ferreira, D. M. A., Mantovani, A. M., Chagas, E. F. B., Barela, J. Â., & Fregonesi, C. E. P. T. (2014). Gait stability in diabetic peripheral neuropathy. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 16(4), 427-436.
- Fuller, G. (2003). FOCAL PERIPHERAL NEUROPATHIES. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 74(suppl 2), ii20.
- Garg, P. K., Tian, L., Criqui, M. H., Liu, K., Ferrucci, L., Guralnik, J. M., . . . McDermott, M. M. (2006). Physical activity during daily life and mortality in patients with peripheral arterial disease. *Circulation*, 114(3), 242-248.
- Gefen, A., van Nierop, B., Bader, D. L., & Oomens, C. W. (2008). Strain-time cell-death threshold for skeletal muscle in a tissue-engineered model system for deep tissue injury. *Journal of Biomechanics*, 41(9), 2003-2012.
- Giacomozzi, C., Caselli, A., Macellari, V., Giurato, L., Lardieri, L., & Uccioli, L. (2002). Walking strategy in diabetic patients with peripheral neuropathy. *Diabetes Care*, 25(8), 1451.
- Ginsberg, L. (2020). Acute and chronic neuropathies. *Medicine*, 48(9), 612-618.
- Gordon, J. E., & Davis, L. E. (2019). Leg length discrepancy: The natural history (And what do we really know). *Journal of Pediatric Orthopaedics*, 39, S10-S13.
- Gowling, T. L., & Jackson, R. W. (1999). Walking boot design: a gait analysis study. *Orthopedics*, 22(5), 503.
- Gray, K., Game, F., & Pinnington, L. (2018). Encouraging reduction of activity amongst patients with diabetic foot ulcers. *Wounds UK*, 14(3).
- Gregg, E. W., Sorlie, P., Paulose-Ram, R., Gu, Q., Eberhardt, M. S., Wolz, M., . . . Geiss, L. (2004). Prevalence of lower-extremity disease in the US adult population  $\geq$  40 years of age with and without diabetes: 1999–2000 national health and nutrition examination survey. *Diabetes Care*, 27(7), 1591-1597.
- Grewal, G. S., Bharara, M., Menzies, R., Talal, T. K., Armstrong, D., & Najafi, B. (2013). Diabetic peripheral neuropathy and gait: does footwear modify this association? *SAGE Publications*.
- Gulgin, H., Hall, K., Luzadre, A., & Kayfish, E. (2018). 3D gait analysis with and without an orthopedic walking boot. *Gait & Posture*, 59, 76-82.
- Guthrie, R. A., & Guthrie, D. W. (2004). Pathophysiology of diabetes mellitus. *Critical Care Nursing Quarterly*, 27(2), 113-125.
- Guzaitis, J., Kadusauskiene, A., & Raisutis, R. (2021). Algorithm for automated foot detection in thermal and optical images for temperature asymmetry analysis. *Electronics*, 10(5), 571.
- Handsaker, J. C., Brown, S. J., Bowling, F. L., Marple-Horvat, D. E., Boulton, A. J., & Reeves, N. D. (2016). People with diabetic peripheral neuropathy display a

- decreased stepping accuracy during walking: potential implications for risk of tripping. *Diabetic Medicine*, 33(5), 644-649.
- Hazenbergh, C. E. V. B., van de Stegge, W. B., Van Baal, S. G., Moll, F. L., & Bus, S. A. (2020). Telehealth and telemedicine applications for the diabetic foot: A systematic review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36(3), e3247.
- Ontario Health Quality. (2017). Fibreglass total contact casting, removable cast walkers, and irremovable cast walkers to treat diabetic neuropathic foot ulcers: A health technology assessment. *Ontario Health Technology Assessment Series*, 17(12), 1-124.
- Heikkilä, K., Coughlin, P. A., Pentti, J., Kivimäki, M., & Halonen, J. I. (2019). Physical activity and peripheral artery disease: Two prospective cohort studies and a systematic review. *Atherosclerosis*, 286, 114-120.
- Hernandez-Contreras, D. A., Peregrina-Barreto, H., Rangel-Magdaleno, J. d. J., & Renero-Carrillo, F. J. (2019). Plantar thermogram database for the study of diabetic foot complications. *IEEE Access*, 7, 161296-161307.
- Hidayati, L., Pratiwi, I. N., Pawanis, Z., McKenna, L., & Widyawati, I. Y. (2021). Buerger exercise reduces the risk of neuropathy in people with diabetes mellitus. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 9(G), 94-99.
- Hinchliffe, R. J., Forsythe, R. O., Apelqvist, J., Boyko, E. J., Fitridge, R., Hong, J. P., . . . Reekers, J. (2020). Guidelines on diagnosis, prognosis, and management of peripheral artery disease in patients with foot ulcers and diabetes (IWGDF 2019 update). *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36, e3276.
- Hoitsma, E., Reulen, J., De Baets, M., Drent, M., Spaans, F., & Faber, C. (2004). Small fiber neuropathy: a common and important clinical disorder. *Journal of the Neurological Sciences*, 227(1), 119-130.
- Hopkins, S. R., Dominelli, P. B., Davis, C. K., Guenette, J. A., Luks, A. M., Molgat-Seon, Y., . . . Stickland, M. K. (2021). Face masks and the cardiorespiratory response to physical activity in health and disease. *Annals of the American Thoracic Society*, 18(3), 399-407.
- Horstink, K. A., van der Woude, L. H. V., & Hijmans, J. M. (2021). Effects of offloading devices on static and dynamic balance in patients with diabetic peripheral neuropathy: A systematic review. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 22(2), 325-335.
- Houghton, V. J., Bower, V. M., & Chant, D. C. (2013). Is an increase in skin temperature predictive of neuropathic foot ulceration in people with diabetes? A systematic review and meta-analysis. *Journal of foot and ankle research*, 6(1), 31.
- Huysman, F., & Mathieu, C. (2009). Diabetes and peripheral vascular disease. *Acta Chirurgica Belgica*, 109(5), 587-594.
- Hwang, D. J., Lee, K. M., Park, M. S., Choi, S. H., Park, J. I., Cho, J. H., . . . Woo, S. J. (2017). Association between diabetic foot ulcer and diabetic retinopathy. *PLoS one*, 12(4), e0175270-e0175270.

- International Diabetes Federation. IDF Diabetes Atlas, 10th edn. Brussels, Belgium: 2021. Available at: <https://www.diabetesatlas.org>
- Ignaszewski, M., Lau, B., Shannon, W., & Isserow, S. (2017). The science of exercise prescription: Martti Karvonen and his contributions. In (Vol. 59, pp. 38-41): *British Columbia Medical Association*.
- Imam, B., Miller, W. C., Finlayson, H. C., Eng, J. J., & Jarus, T. (2017). Incidence of lower limb amputation in Canada. *Canadian journal of public health, 108*(4), e374-e380.
- Ivers, N. M., Jiang, M., Alloo, J., Singer, A., Ngui, D., Casey, C. G., & Yu, C. H. (2019). Diabetes Canada 2018 clinical practice guidelines: Key messages for family physicians caring for patients living with type 2 diabetes. *Canadian family physician, 65*(1), 14-24.
- Jarl, G., van Netten, J. J., Lazzarini, P. A., Crews, R. T., Najafi, B., & Mueller, M. J. (2021). Should weight-bearing activity be reduced during healing of plantar diabetic foot ulcers, even when using appropriate offloading devices? *Diabetes Research and Clinical Practice, 108*733.
- Jeon, C. Y., Lokken, R. P., Hu, F. B., & van Dam, R. M. (2007). Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes: A systematic review. *Diabetes Care, 30*(3), 744-752.
- Jiang, X., Deng, F., Rui, S., Ma, Y., Wang, M., Deng, B., . . . Duan, X. (2022). The evaluation of gait and balance for patients with early diabetic peripheral neuropathy: A cross-sectional study. *Risk Management Healthcare Policy, 15*, 543-552.
- Jin, Y., Sano, Y., Shogenji, M., & Watanabe, T. (2022). Fatigue effect on minimal toe clearance and toe activity during walking. *Sensors, 22*(23), 9300.
- Jones, P., Davies, M. J., Khunti, K., Fong, D., & Webb, D. (2020). In-shoe pressure thresholds for people with diabetes and neuropathy at risk of ulceration: A systematic review. *Journal of Diabetes and its Complications, 107*815.
- Jostel, A., & Jude, E. B. (2008). Medical treatment of Charcot Neuroosteoarthropathy. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery, 25*(1), 63-69.
- Jude, E., Eleftheriadou, I., & Tentolouris, N. (2010). Peripheral arterial disease in diabetes: a review. *Diabetic medicine, 27*(1), 4-14.
- Juster-Switlyk, K., & Smith, A. G. (2016). Updates in diabetic peripheral neuropathy. *F1000Research, 5*, F1000 Faculty Rev-738.
- Khan, K. S., & Andersen, H. (2022). The impact of diabetic neuropathy on activities of daily living, postural balance and risk of falls: A systematic review. *Journal of diabetes science and technology, 16*(2), 289-294.
- 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.

- Kipp, D., Village, D., & Edwards, K. J. (2017). Effectiveness of Evenup™ shoe-lift use among individuals prescribed a walking boot. *Journal of allied health, 46*(2), 104-110.
- Klaic, M., Kapp, S., Hudson, P., Chapman, W., Denehy, L., Story, D., & Francis, J. J. (2022). Implementability of healthcare interventions: an overview of reviews and development of a conceptual framework. *Implementation Science, 17*(1), 10.
- Kluding, P. M., Bareiss, S. K., Hastings, M., Marcus, R. L., Sinacore, D. R., & Mueller, M. J. (2016). Physical training and activity in people with diabetic peripheral neuropathy: Paradigm shift. *Physical Therapy, 97*(1), 31-43.
- Kluding, P. M., Pasnoor, M., Singh, R., D'Silva, L. J., Yoo, M., Billinger, S. A., . . . Wright, D. E. (2015). Safety of aerobic exercise in people with diabetic peripheral neuropathy: Single-group clinical trial. *Physical Therapy, 95*(2), 223-234.
- Kobrin Klein, B. E. (2007). Overview of epidemiologic studies of diabetic retinopathy. *Ophthalmic epidemiology, 14*(4), 179-183.
- Kumar, S., Ashe, H. A., Parnell, L. N., Fernando, D. J. S., Tsigos, C., Young, R. J., . . . Boulton, A. J. M. (1994). The prevalence of foot ulceration and its correlates in type 2 diabetic patients: A population-based study. *Diabetic medicine, 11*(5), 480-484.
- Kumar, V., Jagannathan, A., Philip, M., Thulasi, A., Angadi, P., & Raghuram, N. (2016). Role of yoga for patients with type II diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. *Complementary therapies in medicine, 25*, 104-112.
- Lancaster, G. A., & Thabane, L. (2019). Guidelines for reporting non-randomised pilot and feasibility studies. *Pilot and Feasibility Studies, 5*(1), 114.
- Laranjo, L., Neves, A. L., Costa, A., Ribeiro, R. T., Couto, L., & Sá, A. B. (2015). Facilitators, barriers and expectations in the self-management of type 2 diabetes: A qualitative study from Portugal. *The European journal of general practice, 21*(2), 103–110.
- Lavery, L. A., Armstrong, D. G., Wunderlich, R. P., Mohler, M. J., Wendel, C. S., & Lipsky, B. A. (2006). Risk factors for foot infections in individuals with diabetes. *Diabetes Care, 29*(6), 1288-1293.
- Lavery, L. A., Higgins, K. R., Lanctot, D. R., Constantinides, G. P., Zamorano, R. G., Armstrong, D. G., . . . Agrawal, C. M. (2004). Home monitoring of foot skin temperatures to prevent ulceration. *Diabetes Care, 27*(11), 2642-2647.
- Lavery, L. A., Higgins, K. R., Lanctot, D. R., Constantinides, G. P., Zamorano, R. G., Athanasiou, K. A., . . . Agrawal, C. M. (2007). Preventing diabetic foot ulcer recurrence in high-risk patients: use of temperature monitoring as a self-assessment tool. *Diabetes Care, 30*(1), 14-20.
- Lazzarini, P., & Jarl, G. (2021). Knee-high devices are gold in closing the foot ulcer gap: A review of offloading treatments to heal diabetic foot ulcers. *Medicina, 57*, 941.

- Lazzarini, P. A., Crews, R. T., van Netten, J. J., Bus, S. A., Fernando, M. E., Chadwick, P. J., & Najafi, B. (2019). Measuring plantar tissue stress in people with diabetic peripheral neuropathy: a critical concept in diabetic foot management. *Journal of diabetes science and technology*, *13*(5), 869-880.
- Lazzarini, P. A., Jarl, G., Gooday, C., Viswanathan, V., Caravaggi, C. F., Armstrong, D. G., & Bus, S. A. (2020). Effectiveness of offloading interventions to heal foot ulcers in persons with diabetes: a systematic review. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, *36*(S1), e3275.
- Lazzarini, P. A., Pacella, R. E., Armstrong, D. G., & van Netten, J. J. (2018). Diabetes-related lower-extremity complications are a leading cause of the global burden of disability. *Diabetic medicine*.
- Lee, M. S., Jun, J. H., Lim, H. J., & Lim, H. S. (2015). A systematic review and meta-analysis of tai chi for treating type 2 diabetes. *Maturitas*, *80*(1), 14-23.
- Leibson, C. L., Ransom, J. E., Olson, W., Zimmerman, B. R., O'Fallon, W. M., & Palumbo, P. J. (2004). Peripheral arterial disease, diabetes, and mortality. *Diabetes Care*, *27*(12), 2843-2849.
- Lemaster, J. W., Mueller, M. J., Reiber, G. E., Mehr, D. R., Madsen, R. W., & Conn, V. S. (2008). Effect of weight-bearing activity on foot ulcer incidence in people with diabetic peripheral neuropathy: feet first randomized controlled trial. *Physical Therapy*, *88*(11), 1385-1398.
- LeMaster, J. W., Reiber, G. E., Smith, D. G., Heagerty, P. J., & Wallace, C. (2003). Daily weight-bearing activity does not increase the risk of diabetic foot ulcers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *35*(7), 1093-1099.
- Liao, F., An, R., Pu, F., Burns, S., Shen, S., & Jan, Y.-K. (2019). Effect of exercise on risk factors of diabetic foot ulcers: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, *98*(2).
- Lima, R. A. d. O., Piemonte, G. A., Nogueira, C. R., & Nunes-Nogueira, V. d. S. (2021). Efficacy of exercise on balance, fear of falling, and risk of falls in patients with diabetic peripheral neuropathy: a systematic review and meta-analysis. *Archives of Endocrinology and Metabolism*.
- Ling, E., Lepow, B., Zhou, H., Enriquez, A., Mullen, A., & Najafi, B. (2020). The impact of diabetic foot ulcers and unilateral offloading footwear on gait in people with diabetes. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, *73*, 157-161.
- Liu, C., van Netten, J. J., Van Baal, J. G., Bus, S. A., & van Der Heijden, F. (2015). Automatic detection of diabetic foot complications with infrared thermography by asymmetric analysis. *Journal of biomedical optics*, *20*(2), 026003.
- Liubaoerjijin, Y., Terada, T., Fletcher, K., & Boulé, N. G. (2016). Effect of aerobic exercise intensity on glycemic control in type 2 diabetes: a meta-analysis of head-to-head randomized trials. *Acta Diabetol*, *53*(5), 769-781.
- Long, J., Modrall, J. G., Parker, B. J., Swann, A., Welborn III, M. B., & Anthony, T. (2004). Correlation between ankle-brachial index, symptoms, and health-related quality

- of life in patients with peripheral vascular disease. *Journal of Vascular Surgery*, 39(4), 723-727.
- Luboz, V., Perrier, A., Bucki, M., Vuillerme, N., Cannard, F., Diot, B., & Payan, Y. (2014, 2014). Biomechanical modeling to prevent soft tissues pressure ulcers. *Paper presented at the Surgetica 2014, Chambéry, France*.
- Magalhaes, C., Mendes, J., & Vardasca, R. (2021). Meta-analysis and systematic review of the application of machine learning classifiers in biomedical applications of infrared thermography. *Applied Sciences*, 11(2), 842.
- Manor, B., Wolenski, P., & Li, L. (2008). Faster walking speeds increase local instability among people with peripheral neuropathy. *Journal of biomechanics*, 41(13), 2787-2792.
- Martins-Mendes, D., Monteiro-Soares, M., Boyko, E. J., Ribeiro, M., Barata, P., Lima, J., & Soares, R. (2014). The independent contribution of diabetic foot ulcer on lower extremity amputation and mortality risk. *Journal of Diabetes and its Complications*, 28(5), 632-638.
- Matheson, E. M., Bragg, S. W., & Blackwelder, R. S. (2021). Diabetes-related foot infections: Diagnosis and treatment. *American Family Physician*, 104(4), 386-394.
- Matheus, A. S. d. M., Tannus, L. R. M., Cobas, R. A., Palma, C. C. S., Negrato, C. A., & Gomes, M. d. B. (2013). Impact of diabetes on cardiovascular disease: an update. *International journal of hypertension*, 2013, 653789-653789.
- Matos, M., Mendes, R., Silva, A. B., & Sousa, N. (2018). Physical activity and exercise on diabetic foot related outcomes: A systematic review. *Diabetes research and clinical practice*, 139, 81-90.
- McPoil, T. G., & Hunt, G. C. (1995). Evaluation and management of foot and ankle disorders: Present problems and future directions. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 21(6), 381-388.
- Menz, H. B., Lord, S. R., St George, R., & Fitzpatrick, R. C. (2004). Walking stability and sensorimotor function in older people with diabetic peripheral neuropathy. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(2), 245-252.
- Monteiro-Soares, M., Boyko, E. J., Ribeiro, J., Ribeiro, I., & Dinis-Ribeiro, M. (2011). Risk stratification systems for diabetic foot ulcers: a systematic review. *Diabetologia*, 54(5), 1190-1199.
- Morona, J. K., Buckley, E. S., Jones, S., Reddin, E. A., & Merlin, T. L. (2013). Comparison of the clinical effectiveness of different off-loading devices for the treatment of neuropathic foot ulcers in patients with diabetes: a systematic review and meta-analysis. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 29(3), 183-193.
- Motawea, M., El-Nahas, M., & Armstrong, D. G. (2019). Pressure distribution under the contralateral limb in Charcot arthropathy with different walking speeds. *The Foot*, 39, 15-21.

- Mueller, M. J., & Maluf, K. S. (2002). Tissue adaptation to physical stress: a proposed "Physical Stress Theory" to guide physical therapist practice, education, and research. *Physical Therapy, 82*(4), 383-403.
- Mueller, M. J., Tuttle, L. J., Lemaster, J. W., Strube, M. J., McGill, J. B., Hastings, M. K., & Sinacore, D. R. (2013). Weight-bearing versus nonweight-bearing exercise for persons with diabetes and peripheral neuropathy: a randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 94*(5), 829-838.
- Muro-De-La-Herran, A., Garcia-Zapirain, B., & Mendez-Zorrilla, A. (2014). Gait analysis methods: An overview of wearable and non-wearable systems, highlighting clinical applications. *Sensors, 14*(2), 3362-3394.
- Mustapa, A., Justine, M., Mohd Mustafah, N., Jamil, N., & Manaf, H. (2016). Postural control and gait performance in the diabetic peripheral neuropathy: A systematic review. *BioMed Research International, 2016*, 9305025.
- Najafi, B., Crews, R. T., & Wrobel, J. S. (2010). Importance of time spent standing for those at risk of diabetic foot ulceration. *Diabetes Care, 33*(11), 2448-2450.
- Najafi, B., Grewal, G. S., Bharara, M., Menzies, R., Talal, T. K., & Armstrong, D. G. (2017). Can't stand the pressure: The association between unprotected standing, walking, and wound healing in people with diabetes. *Journal of diabetes science and technology, 11*(4), 657-667.
- Nolan, R. C., Raynor, A. J., Berry, N. M., & May, E. J. (2016). Self-reported physical activity using the International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) in Australian adults with type 2 diabetes, with and without peripheral neuropathy. *Canadian journal of diabetes, 40*(6), 576-579.
- Orlando, G., Reeves, N. D., Boulton, A. J. M., Ireland, A., Federici, G., Federici, A., . . . Balducci, S. (2021). Sedentary behaviour is an independent predictor of diabetic foot ulcer development: An 8-year prospective study. *Diabetes research and clinical practice, 177*, 108877.
- Owings, T. M., Apelqvist, J., Stenström, A., Becker, M., Bus, S. A., Kalpen, A., . . . Cavanagh, P. R. (2009). Plantar pressures in diabetic patients with foot ulcers which have remained healed. *Diabetic medicine, 26*(11), 1141-1146.
- Patrick McDonald, B., Carl Kihm, B., & Craig Nimick, B. (2008). Analysis of plantar pressures and gait characteristics in a post-surgical walking boot with and without a contralateral limb length adjustment device.
- Patry, J., Belley, R., Côté, M., & Chateau-Degat, M.-L. (2013). Plantar pressures, plantar forces, and their influence on the pathogenesis of diabetic foot ulcers: a review. *Journal of the American Podiatric Medical Association, 103*(4), 322-332.
- Patry, J., Tourigny, A., Mercier, M.-P., & Dionne, C. E. (2021). Outcomes and prognosis of diabetic foot ulcers treated by an interdisciplinary team in Canada. *International wound journal, 18*(2), 134-146.
- Peltier, A., Goutman, S. A., & Callaghan, B. C. (2014). Painful diabetic neuropathy. *British Medical Journal, 348*, g1799.



- Pepin, Y. (2018). *Le diabète en Mauricie et Centre-du-Québec [...]*. Trois-Rivières (Québec).
- Petrova, N. L., Donaldson, N. K., Tang, W., MacDonald, A., Allen, J., Lomas, C., . . . Edmonds, M. E. (2020). Infrared thermography and ulcer prevention in the high-risk diabetic foot: data from a single-blind multicentre controlled clinical trial. *Diabetic medicine*, *37*(1), 95-104.
- Petrovic, M., Deschamps, K., Verschueren, S. M., Bowling, F. L., Maganaris, C. N., Boulton, A. J. M., & Reeves, N. D. (2015). Is the metabolic cost of walking higher in people with diabetes? *Journal of Applied Physiology*, *120*(1), 55-62.
- Piaggese, A., Goretti, C., Iacopi, E., Clerici, G., Romagnoli, F., Toscanella, F., & Vermigli, C. (2016). Comparison of removable and irremovable walking boot to total contact casting in offloading the neuropathic diabetic foot ulceration. *Foot & ankle international*, *37*(8), 855-861.
- Pickup, J. C. (2004). Inflammation and activated innate immunity in the pathogenesis of type 2 diabetes. *Diabetes Care*, *27*(3), 813-823.
- Priyadarshini, J., Abdi, S., Metwaly, A., Lenjawi, B., San Jose, J., & Mohamed, H. (2018). Prevention of diabetic foot ulcers at primary care level. *Dermatol Open J*, *3*(1), 4-9.
- Prompers, L., Huijberts, M., Apelqvist, J., Jude, E., Piaggese, A., Bakker, K., . . . Mauricio, D. (2007). High prevalence of ischaemia, infection and serious comorbidity in patients with diabetic foot disease in Europe. Baseline results from the Eurodiale study. *Diabetologia*, *50*(1), 18-25.
- Radhika, J., Poomalai, G., Nalini, S., & Revathi, R. (2020). Effectiveness of buerger-allen exercise on lower extremity perfusion and peripheral neuropathy symptoms among patients with diabetes mellitus. *Iranian journal of nursing and midwifery research*, *25*(4), 291.
- Rapid screening for diabetic neuropathy using the 10 g Semmes-Weinstein monofilament. (2018). *Canadian Journal of Diabetes*, *42*, S320.
- Rapid screening for diabetic neuropathy using the 128 Hz vibration tuning fork. (2018). *Canadian journal of diabetes*, *42*, S321.
- Raspovic, A. (2013). Gait characteristics of people with diabetes-related peripheral neuropathy, with and without a history of ulceration. *Gait & Posture*, *38*(4), 723-728.
- Redmond, A. C., Crane, Y. Z., & Menz, H. B. (2008). Normative values for the Foot Posture Index. *Journal of foot and ankle research*, *1*(1), 6.
- Reeves, N. D., Brown, S. J., Petrovic, M., Boulton, A. J. M., & Vileikyte, L. (2017). How does self-perceived unsteadiness influence balance and gait in people with diabetes? Preliminary observations. *Diabetes Care*, *40*(5), e51-e52.
- Reeves, N. D., Orlando, G., & Brown, S. J. (2021). Sensory-motor mechanisms increasing falls risk in diabetic peripheral neuropathy. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, *57*(5).

- Ren, W., Duan, Y., Jan, Y.-K., Ye, W., Li, J., Liu, W., . . . Fan, Y. (2021). Effect of exercise volume on plantar microcirculation and tissue hardness in people with type 2 diabetes. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9.
- Ribu, L., Hanestad, B. R., Moum, T., Birkeland, K., & Rustoen, T. (2007). A comparison of the health-related quality of life in patients with diabetic foot ulcers, with a diabetes group and a nondiabetes group from the general population. *Quality of Life Research*, 16(2), 179-189.
- Richardson, J. K., Ching, C., & Hurvitz, E. A. (1992). The relationship between electromyographically documented peripheral neuropathy and falls. *Journal of the American Geriatrics Society*, 40(10), 1008-1012.
- Ring, F. (2010). Thermal imaging today and its relevance to diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 4(4), 857-862.
- Robinson, C. C., Balbinot, L. F., Silva, M. F., Achaval, M., & Zaro, M. A. (2013). Plantar pressure distribution patterns of individuals with prediabetes in comparison with healthy individuals and individuals with diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 7(5), 1113-1121.
- Rogers, L. C., Frykberg, R. G., Armstrong, D. G., Boulton, A. J., Edmonds, M., Van, G. H., Hartemann, A., Game, F., Jeffcoate, W., Jirkovska, A., Jude, E., Morbach, S., Morrison, W. B., Pinzur, M., Pitocco, D., Sanders, L., Wukich, D. K., & Uccioli, L. (2011). The Charcot foot in diabetes. *Diabetes care*, 34(9), 2123–2129.
- Rosales, W., Cofré, C., Alejandra, C., Bertona, C., Vizcaya, A., González, J., . . . Rodríguez, M. (2016). Validation of the Borg scale in participants with type 2 diabetes mellitus. *Revista medica de Chile*, 144(9), 1159-1163.
- Saboor, A., Kask, T., Kuusik, A., Alam, M. M., Moullec, Y. L., Niazi, I. K., . . . Ahmad, R. (2020). Latest research trends in gait analysis using wearable sensors and machine learning: A systematic review. *IEEE Access*, 8, 167830-167864.
- Samuelson, K. L., Kiefer, C. T., Wu, S. C., & Crews, R. T. (2020). Changing perspectives: Offloading a patient with a diabetic foot ulcer as opposed to offloading a diabetic foot ulcer. *Foot & Ankle Specialist*, 14(4), 347-351.
- Sawacha, Z., Gabriella, G., Cristoferi, G., Guiotto, A., Avogaro, A., & Cobelli, C. (2009). Diabetic gait and posture abnormalities: a biomechanical investigation through three dimensional gait analysis. *Clinical Biomechanics*, 24(9), 722-728.
- Sawacha, Z., Spolaor, F., Guarneri, G., Contessa, P., Carraro, E., Venturin, A., . . . Cobelli, C. (2012). Abnormal muscle activation during gait in diabetes patients with and without neuropathy. *Gait & Posture*, 35(1), 101-105.
- Schaper, N. C., van Netten, J. J., Apelqvist, J., Bus, S. A., Hinchliffe, R. J., Lipsky, B. A., & Board, I. E. (2020). Practical Guidelines on the prevention and management of diabetic foot disease (IWGDF 2019 update). *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36(S1), e3266.

- Schiattarella, G., Perrino, C., Magliulo, F., Carbone, A., Bruno, A., De Paulis, M., . . . Esposito, G. (2014). Physical activity in the prevention of peripheral artery disease in the elderly. *Frontiers in Physiology, 5*.
- Schulz, K. F., Altman, D. G., & Moher, D. (2010). CONSORT 2010 statement: updated guidelines for reporting parallel group randomized trials. *Annals of internal medicine, 152*(11), 726-732.
- Schwameder, H., Andress, M., Graf, E., & Strutzenberger, G. (2015). Validation of an IMU-System (Gait-Up) to identify gait parameters in normal and induced limping walking conditions. *Paper presented at the ISBS-conference proceedings archive*.
- Segal, A., Rohr, E., Orendurff, M., Shofer, J., O'Brien, M., & Sangeorzan, B. (2004). The effect of walking speed on peak plantar pressure. *Foot & Ankle International, 25*(12), 926-933.
- Sekhar, M. S., Thomas, R. R., Unnikrishnan, M. K., Vijayanarayana, K., & Rodrigues, G. S. (2015). Impact of diabetic foot ulcer on health-related quality of life: A cross-sectional study. *Seminars in Vascular Surgery, 28*(3), 165-171.
- Shoelson, S. E., Lee, J., & Goldfine, A. B. (2006). Inflammation and insulin resistance. *The Journal of Clinical Investigation, 116*(7), 1793-1801.
- Sigal, R. J., Armstrong, M. J., Bacon, S. L., Boulé, N. G., Dasgupta, K., Kenny, G. P., & Riddell, M. C. (2018). Physical Activity and Diabetes. *Canadian Journal of Diabetes, 42 Suppl 1*, S54-s63.
- Skelton, D. A. (2001). Effects of physical activity on postural stability. *Age and ageing, 30*(suppl\_4), 33-39.
- Sloan, G., Selvarajah, D., & Tesfaye, S. (2021). Pathogenesis, diagnosis and clinical management of diabetic sensorimotor peripheral neuropathy. *Nature Reviews Endocrinology, 17*(7), 400-420.
- Soyoye, D. O., Abiodun, O. O., Ikem, R. T., Kolawole, B. A., & Akintomide, A. O. (2021). Diabetes and peripheral artery disease: A review. *World journal of diabetes, 12*(6), 827-838.
- Statistics, B. o. L. (2016). Sports and exercise among Americans. *The Economics Daily*. <https://www.bls.gov/opub/ted/2016/sports-and-exercise-among-americans.htm>.
- Tao, W., Liu, T., Zheng, R., & Feng, H. (2012). Gait analysis using wearable sensors. *Sensors, 12*(2).
- Tikkanen-Dolenc, H., Wadén, J., Forsblom, C., Harjutsalo, V., Thorn, L. M., Saraheimo, M., . . . Groop, P. H. (2017). Frequent and intensive physical activity reduces risk of cardiovascular events in type 1 diabetes. *Diabetologia, 60*(3), 574-580.
- Tolosa, D. C., Zequera, M., & Castro, G. (2020, 2020//). COP analysis in type 2 diabetics with peripheral diabetic neuropathy. *Paper presented at the Future Trends in Biomedical and Health Informatics and Cybersecurity in Medical Devices*, Cham.

- Tooke, J. E. (1995). Microvascular function in human diabetes: A physiological perspective. *Diabetes*, 44(7), 721.
- Tran, M. M., & Haley, M. N. (2021). Does exercise improve healing of diabetic foot ulcers? A systematic review. *Journal of foot and ankle research*, 14(1), 19.
- Tremblay, M. S., Warburton, D. E. R., Janssen, I., Paterson, D. H., Latimer, A. E., Rhodes, R. E., . . . Duggan, M. (2011). New canadian physical activity guidelines. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 36(1), 36-46.
- Tsalamandris, S., Antonopoulos, A. S., Oikonomou, E., Papamikroulis, G.-A., Vogiatzi, G., Papaioannou, S., . . . Tousoulis, D. (2019). The role of inflammation in diabetes: Current concepts and future perspectives. *European Cardiology*, 14(1), 50-59.
- Umutlu, G., Acar, N. E., Sinar, D. S., Akarsu, G., Güven, E., & Yildirim, I. (2022). COVID-19 and physical activity in sedentary individuals: differences in metabolic, cardiovascular, and respiratory responses during aerobic exercise performed with and without a surgical face masks. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 62(6), 851-858.
- van Doremalen, R. F. M., van Netten, J. J., van Baal, J. G., Vollenbroek-Hutten, M. M. R., & van der Heijden, F. (2019). Validation of low-cost smartphone-based thermal camera for diabetic foot assessment. *Diabetes research and clinical practice*, 149, 132-139.
- van Netten, J. J., Bus, S. A., Apelqvist, J., Lipsky, B. A., Hinchliffe, R. J., Game, F., . . . Peters, E. J. (2020). Definitions and criteria for diabetic foot disease. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, 36, e3268.
- van Netten, J. J., Seng, L., Lazzarini, P. A., Warnock, J., & Ploderer, B. (2019). Reasons for (non-)adherence to self-care in people with a diabetic foot ulcer. *Wound Repair and Regeneration*, 27(5), 530-539.
- van Netten, J. J., van Baal, J. G., Bril, A., Wissink, M., & Bus, S. A. (2018). An exploratory study on differences in cumulative plantar tissue stress between healing and non-healing plantar neuropathic diabetic foot ulcers. *Clinical Biomechanics*, 53, 86-92.
- van Netten, J. J., van Baal, J. G., Liu, C., van der Heijden, F., & Bus, S. A. (2013). Infrared thermal imaging for automated detection of diabetic foot complications. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 7(5), 1122-1129.
- Vinik, A. I., Maser, R. E., Mitchell, B. D., & Freeman, R. (2003). Diabetic autonomic neuropathy. *Diabetes Care*, 26(5), 1553-1579.
- Wahid, A., Manek, N., Nichols, M., Kelly, P., Foster, C., Webster, P., . . . Scarborough, P. (2016). Quantifying the association between physical activity and cardiovascular disease and diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Heart Association*, 5(9), e002495.
- Waibel, F. W. A., Berli, M. C., Gratwohl, V., Sairanen, K., Kaiser, D., Shin, L., Armstrong, D. G., & Schöni, M. (2020). Midterm fate of the contralateral foot in charcot arthropathy. *Foot & ankle international*, 41(10), 1181-1189.

- Wang, D. D., & Hu, F. B. (2018). Precision nutrition for prevention and management of type 2 diabetes. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 6(5), 416-426.
- Wang, H., Naghavi, M., Allen, C., Barber, R. M., Bhutta, Z. A., Carter, A., . . . Murray, C. J. L. (2016). Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015. *The lancet*, 388(10053), 1459-1544.
- Williams, D. S., & Martin, A. E. (2019). Gait modification when decreasing double support percentage. *Journal of biomechanics*, 92, 76-83.
- Williams, R., Karuranga, S., Malanda, B., Saeedi, P., Basit, A., Besançon, S., . . . Colagiuri, S. (2020). Global and regional estimates and projections of diabetes-related health expenditure: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9th edition. *Diabetes research and clinical practice*, 162, 108072.
- Wong, M.-c., Chung, J. W. Y., & Wong, T. K. S. (2007). Effects of treatments for symptoms of painful diabetic neuropathy: systematic review. *British Medical Journal*, 335(7610), 87.
- Wong, M.-c., Chung, J. W. Y., & Wong, T. K. S. (2007). Effects of treatments for symptoms of painful diabetic neuropathy: systematic review. *British Medical Journal*, 335(7610), 87-90.
- Wrobel, J. S., & Najafi, B. (2010). Diabetic foot biomechanics and gait dysfunction. *Journal of diabetes science and technology*, 4(4), 833-845.
- Yalla, S. V., Crews, R. T., Patel, N. A., Cheung, T., & Wu, S. (2020). Offloading for the diabetic foot: Considerations and implications. *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, 37(2), 371-384.
- Yamine, K., Otayek, J., & Assi, C. (2021). Evidence-based conservative limb preserving surgery for the diabetic foot complications: A systematic review of systematic reviews. *Foot and Ankle Surgery*.
- Yang, Z., Chen, R., Zhang, Y., Huang, Y., Hong, T., Sun, F., . . . Zhan, S. Scoring systems to screen for diabetic peripheral neuropathy. *Cochrane Database Systematic Reviews*. 2018 Jul 30;2018(7):CD010974.
- Yang, Z., Scott, C. A., Mao, C., Tang, J., & Farmer, A. J. (2014). Resistance exercise versus aerobic exercise for type 2 diabetes: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 44(4), 487-499.
- Yardley, J. E., Kenny, G. P., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Bala, N., Malcolm, J., . . . Sigal, R. J. (2013). Resistance versus aerobic exercise: acute effects on glycemia in type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 36(3), 537-542.
- Yardley, J. E., Kenny, G. P., Perkins, B. A., Riddell, M. C., Malcolm, J., Boulay, P., . . . Sigal, R. J. (2012). Effects of performing resistance exercise before versus after aerobic exercise on glycemia in type 1 diabetes. *Diabetes Care*, 35(4), 669-675.
- Yazdi, N., Ayazi, F., & Najafi, K. (1998). Micromachined inertial sensors. *Proceedings of the IEEE*, 86(8), 1640-1659.

- Young, M., Boulton, A., MacLeod, A., Williams, D., & Sonksen, P. (1993). A multicentre study of the prevalence of diabetic peripheral neuropathy in the United Kingdom hospital clinic population. *Diabetologia*, 36(2), 150-154.
- Yvon, A., Faroni, A., Reid, A., & Lees, V. (2018). Selective fiber degeneration in the peripheral nerve of a patient with severe complex regional pain syndrome. *Frontiers in neuroscience*, 12, 207.
- Zoe, R. (2009). Anxiety and depression in patients with type 2 diabetes mellitus, depending on sex and body mass index. *Health science journal*, 3(1), 0-0.

## ANNEXES

### Annexe I – Échelle de Borg modifiée sur la perception de l'effort

Les recommandations en activité physique varient en fonction de l'intensité des exercices. Plus l'intensité est faible, plus il faut pratiquer l'exercice longtemps pour obtenir des bénéfices semblables à ceux d'une intensité plus élevée. Il n'est donc pas obligatoire de pratiquer des activités physiques très intenses, mais il faut savoir ajuster la durée d'exercice en conséquence pour s'assurer d'obtenir le maximum de bénéfices sur sa santé !

De façon générale, voici à quoi correspondent les différentes intensités :

#### INTENSITÉ LÉGÈRE :

C'est facile  
Peu ou pas d'essoufflement  
Peu ou pas de transpiration

Marche sur le plat (4 km/h)  
Volleyball récréatif  
Danse sociale

#### INTENSITÉ MODÉRÉE :

C'est un peu difficile  
Essoufflement léger à moyen  
Transpiration présente

Marche rapide (6 km/h)  
Ski de fond sur le plat (4 km/h)  
Cours d'aérobic

#### INTENSITÉ ÉLEVÉE :

C'est difficile  
Essoufflement marqué  
Transpiration abondante

Jogging  
Randonnée en montagne  
Sports compétitifs

#### Perception de l'effort :

Il s'agit d'évaluer subjectivement l'intensité de l'effort à partir de l'échelle de Borg modifiée. Cette dernière est graduée de 0 à 10 où le 0 correspond à l'absence d'effort physique et le 10 correspond à l'effort le plus difficile que l'on puisse fournir. Cette méthode est particulièrement utile dans les situations où la prise de médicaments influence le rythme cardiaque ou lorsqu'il est impossible de mesurer adéquatement ses battements cardiaques.

#### ÉCHELLE DE BORG MODIFIÉE

Cote	Perception
0	Rien du tout
0,5	Très très facile
1	Très facile
2	Facile
3	Moyen
4	Un peu difficile
5	Difficile
6	
7	Très difficile
8	
9	
10	Très très difficile (presque maximal)

#### LÉGENDE :

 Intensité faible  
 Intensité modérée  
 Intensité élevée

## Annexe II – Questionnaire international d'activité physique (QIAP)

### INTERNATIONAL PHYSICAL ACTIVITY QUESTIONNAIRE

(version française – Juillet 2003)

Nous nous intéressons aux différents types d'activités physiques que vous faites dans votre vie quotidienne. Les questions suivantes portent sur le temps que vous avez passé à être actif physiquement au cours des 7 derniers jours. Répondez à chacune de ces questions même si vous ne vous considérez pas comme une personne active. Les questions concernent les activités physiques que vous faites au travail, dans votre maison ou votre jardin, pour vos déplacements, et pendant votre temps libre.

Pensez à toutes les activités intenses que vous avez faites au cours des 7 derniers jours. Les activités physiques intenses font référence aux activités qui vous demandent un effort physique important et vous font respirer beaucoup plus difficilement que normalement. Pensez seulement aux activités que vous avez effectuées pendant au moins 10 minutes d'affilées.

1. Au cours des 7 derniers jours, combien y a-t-il eu de jours au cours desquels vous avez fait des activités physiques intenses comme porter des charges lourdes, bêcher, faire du VTT ou jouer au football ?

\_\_\_\_\_ jours par semaine

Je n'ai pas eu d'activité physique intense → *Passez directement à la question 3*

2. Au total, combien de temps avez-vous passé à faire des activités intenses au cours des 7 derniers jours ?

..... heures(s) par jour ..... minutes par jour

Je ne sais pas

Pensez à toutes les activités modérées que vous avez faites au cours des 7 derniers jours. Les activités physiques modérées font référence aux activités qui vous demandent un effort physique modéré et vous font respirer un peu plus difficilement que normalement. Pensez seulement aux activités que vous avez effectuées pendant au moins 10 minutes d'affilée.

3. Au cours des 7 derniers jours, combien y a-t-il eu de jours au cours desquels vous avez fait des activités physiques modérées comme porter des charges légères, passer l'aspirateur, faire du vélo tranquillement, ou jouer au volley-ball ? Ne pas inclure la marche.

\_\_\_\_\_ jours par semaine

Je n'ai pas eu d'activité physique modérée → *Passez directement à la question 5*



4. Au total, combien de temps avez-vous passé à faire des activités modérées au cours des 7 derniers jours ?

..... heures(s) par jour ..... minutes par jour

Je ne sais pas

Pensez au temps que vous avez passé à marcher au cours des 7 derniers jours. Cela comprend la marche au travail et à la maison, la marche pour vous rendre d'un lieu à un autre, et tout autre type de marche que vous auriez pu faire pendant votre temps libre pour la détente, le sport ou les loisirs.

5. Au cours des 7 derniers jours, combien y a-t-il eu de jours au cours desquels vous avez marché pendant au moins 10 minutes d'affilée.

\_\_\_\_\_ jours par semaine

Je n'ai pas fait de marche → *Passez directement à la question 7*

6. Au total, combien de temps avez-vous passé à marcher au cours des 7 derniers jours ?

..... heures(s) par jour ..... minutes par jour

Je ne sais pas

La dernière question porte sur le temps que vous avez passé assis pendant un jour de semaine, au cours des 7 derniers jours. Cela comprend le temps passé assis au travail, à la maison, lorsque vous étudiez et pendant votre temps libre. Il peut s'agir par exemple du temps passé assis à un bureau, chez des amis, à lire, à être assis ou allongé pour regarder la télévision.

7. Au cours des 7 derniers jours, combien de temps avez-vous passé assis pendant un jour de semaine ?

..... heures(s) par jour ..... minutes par jour

Je ne sais pas

Le questionnaire est terminé. Merci pour votre participation.



## Calcul des scores de l'IPAQ (version courte)

### Score continu :

Exprimé en MET-minutes par semaine :

$$\text{Niveau en MET} \times \text{minutes d'activité par jour} \times \text{jours par semaine}$$

Exemples de calcul pour un sujet X :

Niveaux de MET :	MET-minutes/sem pour 30 min/jour, 5 jours/sem
Marche = 3.3 METs	$3.3 \times 30 \times 5 = 495$ MET-minutes/semaine
Intensité modérée = 4.0 METs	$4.0 \times 30 \times 5 = 600$ MET-minutes/semaine
Intensité élevée = 8.0 METs	$8.0 \times 30 \times 5 = 1200$ MET-minutes/semaine
	<hr/>
	TOTAL = 2295 MET-minutes/semaine

TOTAL MET-minutes/semaine = Marche (METs  $\times$  min par jour  $\times$  jours par semaine) + Intensité modérée (METs  $\times$  min par jour  $\times$  jours par semaine) + Intensité élevée (METs  $\times$  min par jour  $\times$  jours par semaine)

### Score catégoriel : 3 niveaux d'activité physique sont proposés

#### 1 – Faible

- Aucune activité n'est reportée OU
- Une activité est reportée mais sans atteindre les niveaux 2 ou 3.

#### 2 – Modéré

Correspond à l'un des 3 critères suivants :

- 3 jours ou plus d'activité intense durant au moins 20 min par jour OU
- 5 jours ou plus d'activité d'intensité modérée et/ou de marche durant au moins 30 min par jour OU
- 5 jours ou plus d'activité combinant la marche, des activités d'intensité modérée ou élevée, atteignant ainsi au moins 600 MET-minutes/semaine

#### 3 – Elevé

Correspond à l'un des 2 critères suivants :

- Activité intense au moins 3 jours par semaine et atteignant au moins 1500 MET-minutes/semaine OU
- 7 jours ou plus d'activité combinant la marche, des activités d'intensité modérée ou élevée, atteignant ainsi au moins 3000 MET-minutes/semaine

Consulter le document entier "Guidelines for the data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire" pour une description plus détaillée de l'analyse de l'IPAQ et des recommandations portant sur la validité et le traitement des données [www.ipaq.ki.se].

## Annexe III – Fiche de spécifications FLIR™ One Pro

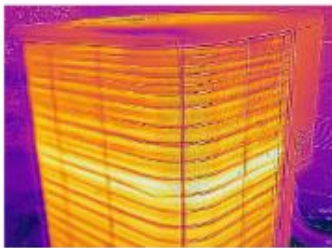


### PRO-GRADE THERMAL CAMERAS FOR SMARTPHONES

## FLIR ONE® Pro-Series

The FLIR ONE Pro and FLIR ONE Pro LT give you the power to find invisible problems faster than ever. With robust features such as multiple temperature meters and level/span controls, FLIR ONE Pro cameras work as hard as you do. The revolutionary VividIR™ image processing helps you see more details, FLIR MSX® adds sharpness and perspective, and the FLIR OneFit™ adjustable connector extends up to 4 mm to fit many popular protective cases. Whether you're inspecting electrical panels, looking for HVAC problems, or finding water damage, the FLIR ONE Pro and FLIR ONE Pro LT are tools no serious professional should be without.

[www.flir.com/flironepro](http://www.flir.com/flironepro)



### VividIR™ IMAGE PROCESSING

Detect problems with precision thanks to the FLIR ONE Pro-Series' enhanced processing power

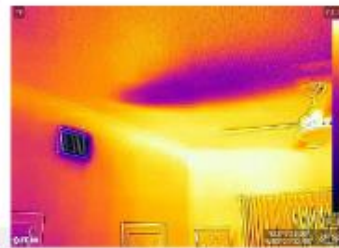
- Unique image processing technique generates images with up to 4x as many pixels for improved temperature measurement accuracy
- Enhances native IR resolution to output crisply detailed thermal images that are easy to interpret
- When combined with MSX®—which enhances thermal images with visual details—the FLIR ONE Pro-Series offers unsurpassed image quality for a mobile IR solution



### PRO AND PRO LT MODELS

Get great results from the Pro LT or upgrade to the FLIR ONE Pro for higher resolution and improved sensitivity

- Choose the FLIR ONE Pro to record crisp 19,200 pixel IR images at a thermal sensitivity of 70 mK
- Record images with better clarity and temperature measurement accuracy by putting more pixels on the target
- Measure temperatures up to 400°C (752°F) with the FLIR ONE Pro, compared to a temperature maximum of 120°C (248°F) with the Pro LT



### HARD-WORKING APP

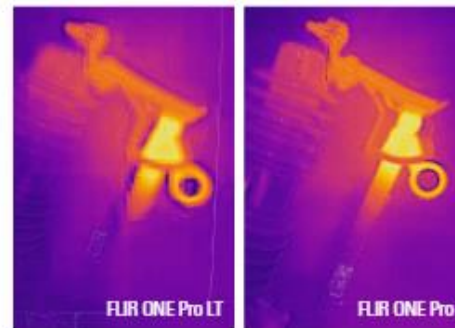
Advanced, work-based features mean more professional problem solving and functionality

- Set multiple temperature spot meters and regions of interest for concurrent measurements
- See around corners or into awkward spaces by connecting to an Apple Watch or Android smartwatch
- Access real-time thermal tips through the FLIR ONE app and prepare professional reports through FLIR Tools® mobile app

## SPECIFICATIONS

Specifications by product	FLIR ONE Pro LT	FLIR ONE Pro
Thermal pixel size	17 $\mu$ m	12 $\mu$ m
Thermal resolution	4,000 pixels (80 × 60)	19,200 pixels (160 × 120)
Thermal sensitivity	100 mK	70 mK
Object temperature range	-20°C to 120°C (-4°F to 248°F)	-20°C to 400°C (-4°F to 752°F)
<b>Common features</b>		
Certifications	MFi (iOS version), RoHS, CE/FCC, CEC-BC, EN62133	
Operating temperature	0°C to 35°C (32°F to 95°F), battery charging 0°C to 30°C (32°F to 86°F)	
Non-operating temperature	-20°C to 60°C (-4°F to 140°F)	
Size (w × h × d)	68 × 34 × 14 mm (2.7 × 1.3 × 0.6 in)	
Weight (incl. battery)	36.5 g	
Mechanical shock	Drop from 1.8 m (5.9 ft)	
<b>Optical data</b>		
Spectral range	8 – 14 $\mu$ m	
Visual resolution	1440 × 1080	
IFOV / VFOV	50° ±1° / 43° ±1°	
Frame rate	8.7 Hz	
Focus	Fixed 15 cm – infinity	
<b>Measurement</b>		
Accuracy	+3°C (5.4°F) or ±5%, typical percent of the difference between ambient and scene temperature. Applicable 60 sec after start-up when the unit is within 15°C to 35°C (59°F to 95°F) and the scene is within 5°C to 120°C (41°F to 248°F)	
Emissivity correction	Matte, Semi-Matte, Semi-Glossy, Glossy	
Measurement correction	Emissivity; Reflected apparent temperature (22°C / 72°F)	
Shutter	Automatic/Manual	

<b>Power</b>	
Battery life	Approximately 1 hr
Battery charge time	40 min
<b>Interfaces</b>	
Video	Male Lightning (iOS), Male USB-C (Android), Micro-USB (Android)
Charging	Female USB-C (5V/1A)
<b>App</b>	
Image presentation modes	Infrared, visual, MSX, gallery
VividIR	Yes
Palettes	Gray (white hot), Hottest, Coldest, Iron, Rainbow, Rainbow HC, Arctic, Lava, and Wheel
Capture modes	Video, photo, time-lapse
Video and still image display/capture	Saved as 1440 × 1080
File formats	Radiometric, JPG, MPEG-4 (file format MOV (iOS), MP4 (Android))
Spot meter	On/Off; Resolution 0.1°C (0.1°F)
Adjustable MSX distance	0.3 m – infinity
Visual battery indicator	0-100%



Specifications are subject to change without notice. For the most up-to-date specs, go to [www.flir.com](http://www.flir.com)

**CORPORATE HEADQUARTERS**  
FLIR Systems, Inc.  
27700 SW Parkway Ave.  
Wilsonville, OR 97070  
PH: +1 877.773.3547

**NASHUA**  
FLIR Systems, Inc.  
9 Townsend West  
Nashua, NH 03063  
USA  
PH: +1 866.477.3687

**LATIN AMERICA**  
FLIR Systems Brasil  
Av. Antonio Bardella, 320  
Sorocaba, SP 18085-852  
Brasil  
PH: +55 15 3238 7080

**CANADA**  
FLIR Systems, Ltd.  
920 Sheldon Court  
Burlington, ON L7L 5K6  
Canada  
PH: +1 800.613.0507

[www.flir.com](http://www.flir.com)  
NASDAQ: FLIR

Equipment described herein is subject to US export regulations and may require a license prior to export. Diversion contrary to US law is prohibited. Imagery for illustration purposes only. Specifications are subject to change without notice. ©2018 FLIR Systems, Inc. All rights reserved. 06/18  
18-1165-INS



The World's Sixth Sense™

## Annexe IV – Fiche de spécifications *GaitUp™ Physilog5*

# Physilog® 5

## High Quality Motion Sensor

Our latest generation Physilog® is a compact and versatile wearable device for sensing movement of any kind. Benefit from 18 years of R&D, collaboration and trust with top clinics, researchers and industrial partners, for applications in health monitoring, sports, entertainment and more. For applications in science: [www.gaitup.com/science](http://www.gaitup.com/science)



### Unique features

- ✓ Waterproof and dust resistant
- ✓ Multi-standard wireless connectivity
- ✓ Long-term motion recording and on-board processing
- ✓ microUSB port for rapid file transfer and universal charging

### Software

- > Free SDKs for accessing raw data and 3D angles
- > Free companion App to sync, check battery, and program sensors
- > Free MATLAB/Python/C/C++ routines to sync, stream, read, plot
- > Professional applications for Gait and Running
- > On-demand custom algorithm libraries and OEM/licencing

### Accessories

- > Rubber clip (for shoe laces/belt)
- > Elastic Velcro® straps
- > Bio-compatible patches (for skin)
- > Transport case
- > microUSB <-> USB cables
- > External sync. with lab systems

### Specifications

Component	Manufacturer	Remarks
Inertial Sensors	STMicroelectronics	3D Accelerometer up to 16g 3D Gyroscope up to 2000°/s
Ambient Sensor	STMicroelectronics	Barometric altitude from 260 to 1250 NPa Temperature sensor accuracy of +/- 1.5°C
Radio Chip	Nordic Semiconductors	Multi standard Bluetooth Low Energy (BLE), ANT+, and Near Field communication (NFC)
Internal Memory	Apacer	Class 10 microSD Card, 8GB
Microcontroller	Nordic Semiconductors	ARM® Cortex® M0 with floating point for on-board processing
Micro-USB interface	Amphenol FCi & Microchip	Waterproof IP64, with dedicated chip for fast data transfer. High-speed USB 2.0
Battery	Renata	130mAh Lithium Ion Polymer Accumulator 3.7V 140mAh
Plastic Enclosure	ABS Polydic® PA-157	Bio-compatible with bi-color LED and touch buttons
Operating Temperature		From -30° to 45°C
Assembly	Isotels Electronics SA (CHI)	Weight 11 grams Dimensions 26.5x42.5x10 mm

### Size



### Certifications

Medical CE class 1 pending, ISO 13485 certified  
(IEC 60950, IP64 RT&TE, FCC, IC)




make sense of motion

CONTACT US  
LEARN MORE  
PURCHASE ONLINE

[sales@gaitup.com](mailto:sales@gaitup.com)  
[www.gaitup.com](http://www.gaitup.com)  
[shop.gaitup.com](http://shop.gaitup.com)



## ANNEXE V - CERTIFICAT D'ÉTHIQUE

3555	
 <b>UQTR</b> Savoir. Surprendre.	
<b>CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS</b>	
En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :	
<b>Titre :</b>	<b>Évaluation des pressions plantaires lors du port d'une botte de décharge au cours d'une activité physique chez une population atteinte de neuropathie sensitive périphérique secondaire au diabète</b>
<b>Chercheur(s) :</b>	Nikolas Beauchesne Département des sciences de l'activité physique
<b>Organisme(s) :</b>	FIR-Volet émergence
<b>N° DU CERTIFICAT :</b>	<b>CER-20-272-07.07</b>
<b>PÉRIODE DE VALIDITÉ :</b>	<b>Du 24 février 2021      au 24 février 2022</b>
<b>En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :</b>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;</li><li>- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;</li><li>- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;</li><li>- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.</li></ul>	
 Me Richard LeBlanc Président du comité	 Fanny Longpré Secrétaire du comité
<i>Décanat de la recherche et de la création</i> Date d'émission : 24 février 2021	



### CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

**Titre :** Évaluation de la démarche lors du port d'une botte de décharge au cours d'une activité physique chez une population atteinte de neuropathie sensitive périphérique secondaire au diabète

**Chercheur(s) :** Nikolas Beauchesne  
Département des sciences de l'activité physique

**Organisme(s) :** FIR-Volet émergence

**N° DU CERTIFICAT :** CER-20-272-07.07

**PÉRIODE DE VALIDITÉ :** Du 24 février 2022 au 24 février 2023

**En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :**

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Me Richard LeBlanc  
Président du comité

Fanny Longpré  
Secrétaire du comité

*Décanat de la recherche et de la création*

**Date d'émission :** 26 janvier 2022