

La marche sur tapis roulant en réadaptation: revue des évidences pour différentes populations

Présenté par :  
Marie-Michèle Gagnon  
Philippe Paquette  
Myriam Thibault

Travail présenté à: M. Cyril Duclos  
Dans le cadre du cours PHT-6113  
Travail dirigé

Le 31 mai 2011

Programme de physiothérapie  
École de réadaptation  
Université de Montréal

## **ABRÉGÉ**

**Objectif:** Déterminer la pertinence de la marche sur tapis roulant en réadaptation.

**Méthodologie:** Une revue de littérature a été effectuée portant sur la biomécanique de la marche sur tapis roulant et au sol, ainsi que sur l'efficacité des paramètres, outils et approches émergentes accompagnant l'utilisation d'un tapis roulant pour améliorer la fonction à la marche, chez différentes populations, avec une évaluation du niveau d'évidence actuel. Les bases de données utilisées sont Medline, Embase, PEDro, Rehabdata, Cinhal et Cochrane database of systematic reviews. **Résultats et discussion:** 159 articles, ayant des devis expérimentaux variant d'études préliminaires à des méta-analyses, sont inclus dans l'analyse, qui regroupe les résultats concernant des populations de tout âge ayant des atteintes neurologiques, cardio-respiratoires ou musculo-squelettiques. Les principaux paramètres améliorés sont la vitesse et l'endurance à la marche, mais aussi la symétrie et les amplitudes articulaires à la marche, la force et la coordination des membres inférieurs, l'équilibre et certains paramètres cardio-respiratoires. Les meilleures preuves concernent la combinaison du tapis roulant avec un support de poids, des orthèses robotisées ou une haute intensité. Les résultats sont en général équivalents ou légèrement supérieurs à ceux retrouvés à la marche au sol, malgré quelques données contradictoires, en accord avec l'absence de différences biomécaniques majeures entre ces deux modes de locomotion. **Conclusion:** La marche sur tapis roulant est indiquée, en particulier pour la clientèle neurologique, pour laquelle le nombre d'études est actuellement le plus important. Plus d'études seront nécessaires pour appuyer l'utilité de l'ensemble des modalités et motiver leur utilisation en clinique chez les autres clientèles.

**MOT CLÉS :** tapis roulant, réadaptation, marche

## Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	1
1.1. Épidémiologie des troubles à la marche .....	1
1.2. Approche orientée vers la tâche .....	1
1.3. Pertinence de la marche sur tapis roulant.....	2
<b>2. La marche sur tapis roulant en réadaptation: revue des évidences concernant les aspects comparés de la marche sur tapis roulant et à la marche au sol</b> .....	3
2.1. Stratégie de recherche .....	3
2.2. Analyse biomécanique.....	4
2.2.1 <i>Protocoles utilisés pour l'analyse biomécanique de la marche</i> .....	4
2.2.2 <i>Familiarisation au tapis roulant</i> .....	7
2.3. Revue des évidences .....	8
2.3.1 <i>Paramètres spatio-temporels</i> .....	8
2.3.2 <i>Coordination entre les membres supérieurs et inférieurs</i> .....	11
2.3.3 <i>La cinématique angulaire</i> .....	11
2.3.4 <i>La cinétique</i> .....	13
2.3.5 <i>Dépense métabolique</i> .....	14
2.3.6 <i>Électromyogramme</i> .....	15
2.4. Analyse des évidences .....	16
<b>3. La marche sur tapis roulant en réadaptation: revue des évidences concernant les effets immédiats et d'entraînement de la modalité en combinaison avec différentes modalités chez plusieurs populations</b> .....	18
3.1. Stratégie de recherche .....	19
3.2. Description des paramètres et outils.....	20
3.2.1 <i>Haute intensité</i> .....	20
3.2.2 <i>Rampe d'appui</i> .....	20
3.2.3 <i>Support partiel de poids avec harnais</i> .....	20
3.2.4 <i>Appareils robotisés</i> .....	21
3.2.5 <i>Rétroaction sonore et/ou visuelle</i> .....	24
3.2.6 <i>Stimulation musculaire électrique neurosensorielle</i> .....	24
3.2.7 <i>Tapis roulant immergé</i> .....	24
3.2.8 <i>Tapis roulant en décubitus dorsal avec chambre à pression négative sur le bas du corps</i> .....	25
3.2.9 <i>Tapis roulant avec chambre à pression positive sur le bas du corps</i> .....	25
3.2.10 <i>Tapis roulant à courroies séparées</i> .....	25
3.2.11 <i>Réalité virtuelle</i> .....	26
3.3. Effets immédiats sur la marche.....	26

3.3.1	<i>Paramètres spatio-temporels</i> .....	26
3.3.2	<i>Effets métaboliques et cardiorespiratoires</i> .....	29
3.3.3	<i>Équilibre</i> .....	30
3.3.4	<i>Sensibilité profonde</i> .....	30
3.3.5	<i>Effets neurophysiologiques</i> .....	31
3.4	<b>Effets d'entraînement sur la marche</b> .....	31
3.4.1	<i>Post- accident vasculaire cérébral en phase chronique</i> .....	32
3.4.2	<i>Lésion médullaire incomplète</i> .....	33
3.4.3	<i>Maladie de Parkinson</i> .....	34
3.4.4	<i>Maladie coronarienne</i> .....	35
3.4.5	<i>Arthrite rhumatoïde</i> .....	35
3.4.6	<i>Obésité</i> .....	35
3.4.7	<i>Personnes âgées à risque de chutes</i> .....	36
3.4.8	<i>Paralysie cérébrale</i> .....	36
3.4.9	<i>Syndrome de Down</i> .....	36
3.4.10	<i>Désordres neurologiques variés chez l'enfant</i> .....	37
3.4.11	<i>Alitement et microgravité</i> .....	37
3.4.12	<i>Sujets sains</i> .....	37

#### **4. La marche sur tapis roulant en réadaptation: revue des évidences concernant l'entraînement sur la modalité seule et en combinaison avec un support de poids ou des orthèses robotisées chez différentes populations**..... 38

4.1	<b>Stratégie de recherche</b> .....	39
4.2	<b>Résultats selon l'atteinte ou le type de population étudiée</b> .....	40
4.2.1	<i>Accident vasculaire cérébral</i> .....	40
4.2.2	<i>Lésion médullaire</i> .....	42
4.2.3	<i>Paralysie cérébrale</i> .....	44
4.2.4	<i>Traumatisme crânio-cérébral</i> .....	45
4.2.5	<i>Maladie de Parkinson</i> .....	46
4.2.6	<i>Maladie artérielle périphérique et claudication intermittente</i> .....	47
4.2.7	<i>Fracture et arthroplastie de la hanche</i> .....	48
4.2.8	<i>Sclérose en plaques</i> .....	49
4.2.9	<i>Maladie pulmonaire obstructive chronique</i> .....	49
4.2.10	<i>Sténose spinale lombaire</i> .....	50
4.2.11	<i>Paralysie supranucléaire progressive</i> .....	51
4.2.12	<i>Obésité</i> .....	51
4.2.13	<i>Personnes âgées à risque de chute</i> .....	52
4.2.14	<i>Maladie coronarienne</i> .....	52
4.2.15	<i>Cancer</i> .....	52

4.2.16	<i>Syndrome de Down</i> .....	53
4.2.17	<i>Ostéoporose</i> .....	53
4.2.18	<i>Ataxie cérébelleuse sévère chez l'enfant</i> .....	54
<b>5.</b>	<b>Discussion</b> .....	54
5.1.	Sources d'erreurs .....	54
5.2.	Généralités .....	55
5.3.	Clientèles neurologiques.....	56
5.4.	Clientèles orthopédiques .....	59
5.5.	Clientèles cardio-respiratoires .....	60
5.6.	Clientèles pédiatriques .....	61
5.7.	Clientèles âgées .....	62
5.8.	Clientèles variées .....	63
<b>6.</b>	<b>Conclusion</b> .....	63
	Liste des références .....	65

## Remerciements

*Nous tenons à remercier M. Cyril Duclos, qui nous a supervisé et conseillé tout au long de ce travail.*

*Nous aimerions aussi remercier nos proches qui ont su nous supporter tout au long de la réalisation de ce projet.*

*Finalement, nous remercions le programme de physiothérapie de l'Université de Montréal de nous avoir permis d'acquérir toutes les connaissances qui feront de nous des physiothérapeutes à l'affût de la justesse scientifique.*

## 1. Introduction

### 1.1. Épidémiologie des troubles à la marche

La marche bipède représente le mode de déplacement principal chez l'Homme et est même considérée par certains comme le cinquième signe vital (1). Aucun autre animal ne possède un modèle biomécanique aussi perfectionné pour la marche bipède que l'humain (2). C'est pourquoi les déficiences et incapacités à la marche peuvent avoir des répercussions importantes sur la participation sociale des personnes affectées. La promotion d'un patron de marche optimal est d'ailleurs un des objectifs majeurs de l'approche en réadaptation (3). Les troubles à la marche peuvent être causés par un ensemble de facteurs hétérogènes. Des résultats provenant d'une étude portant sur un échantillon de patients âgés ayant des troubles à la marche ont démontré que 18,3 % des problèmes à la marche étaient reliés à des déficits sensoriels, 16,7 % étaient secondaires à une myélopathie, 15 % faisaient suite à des infarctus multiples et 11,7 % étaient dus à la maladie de Parkinson. À noter que 14,2 % des patients ne présentaient pas de pathologie évidente expliquant leurs difficultés à la marche et que 28 % des patients avaient des troubles à la marche d'origines multifactorielles (4). En physiothérapie, tous ces types d'atteintes peuvent être rencontrés, ainsi que d'autres atteintes neurologiques, cardiovasculaires ou musculo-squelettiques pouvant altérer la marche. Sans avoir de chiffre précis, nous pouvons affirmer que les troubles à la marche représentent une problématique complexe et fréquente nécessitant des interventions ayant pour but de promouvoir le retour d'un patron de marche fonctionnel.

### 1.2. Approche orientée vers la tâche

L'approche orientée vers la tâche est définie comme : « un entraînement ou une thérapie où le patient pratique une tâche motrice dans un contexte spécifique [durant lequel] il reçoit une rétroaction », selon une revue systématique récente (5). De plus, cette revue mentionne que l'efficacité de cette approche se base sur la neuroplasticité du cerveau, laquelle est fortement stimulée par la pratique répétée. On y indique aussi qu'il s'agit d'une thérapie démontrée efficace pour la réadaptation à la marche et pour la réadaptation dans plusieurs contextes, soient un traumatisme crânio-cérébral, la maladie de Parkinson, une arthroplastie totale de la hanche, un accident de travail, une lésion

médullaire et un accident vasculaire cérébral. Son efficacité s'explique en partie par le fait qu'une tâche concrète est plus significative pour un patient, augmentant sa motivation et sa participation. Ainsi, cette approche favorise l'adhérence au traitement, maximisant les gains pouvant être obtenus. De plus, le fait de pratiquer une tâche particulière entraîne des effets spécifiques à celle-ci, favorisant l'amélioration de son exécution. Dans un contexte de réadaptation, l'approche orientée vers la tâche est réalisée par la pratique et la répétition dont le but vise l'amélioration de la performance d'une tâche fonctionnelle, telle la marche. En ce sens, l'utilisation du tapis roulant est un exercice centré sur la tâche, puisqu'il permet la pratique de la marche à travers la répétition de celle-ci. Il est d'ailleurs considéré comme tel par une autre revue systématique portant sur la réadaptation suite à un accident vasculaire cérébral. Cet outil a donc le potentiel d'optimiser la réadaptation fonctionnelle à la marche, en plus d'être couramment utilisé dans le milieu (5, 6).

### 1.3. Pertinence de la marche sur tapis roulant

La marche est une tâche complexe qui se caractérise par diverses composantes qui sont modifiables ou non, comme l'environnement dans lequel nous évoluons. Le tapis roulant représente un facteur qui pourrait influencer les caractéristiques de la marche. Ainsi, nous pouvons nous questionner sur les différences qui pourraient exister en choisissant de faire marcher des patients sur un tapis roulant plutôt qu'au sol. C'est pourquoi une analyse biomécanique est importante pour nous permettre de savoir s'il existe des différences importantes, tant au niveau de la cinématique et de la cinétique, qu'au niveau des paramètres cardiorespiratoires et métaboliques de la marche. Aussi, nous savons que chaque clientèle vue dans un contexte de réadaptation comporte des caractéristiques et des déficits spécifiques, lesquelles influencent la marche différemment. Ceci justifie l'intérêt d'analyser séparément les effets d'entraînement à la marche sur tapis roulant pour chacune de ces clientèles. D'autre part, plusieurs paramètres, outils et approches innovatrices existent et peuvent être utilisés conjointement au tapis roulant. La description de ces derniers nous permettra alors de connaître dans quels buts ils ont été conçus. Puisqu'ils influencent des paramètres spécifiques de la marche sur tapis roulant, une analyse de l'interaction entre ces effets et les paramètres à la marche des différentes clientèles lors d'un entraînement devient pertinente. Afin d'y parvenir, une revue de la littérature existant sur ces sujets sera



effectuée. Par la suite, l'examen des résultats obtenus nous permettra de conclure sur la pertinence de l'utilisation du tapis roulant et de ses différentes options dans un contexte clinique

## **2. La marche sur tapis roulant en réadaptation: revue des évidences concernant les aspects comparés de la marche sur tapis roulant et à la marche au sol**

*~Philippe Paquette~*

Le tapis roulant comporte des avantages évidents qui justifient l'attention que l'on porte à son usage lors de l'analyse de la marche. Outre l'économie d'espace important, d'autres bénéfices ont été rapportés tels que la possibilité d'utiliser des outils d'évaluation qui nécessite un environnement statique tout en ayant un sujet en mouvement. De plus, le tapis roulant permet aux scientifiques de contrôler la vitesse de marche et l'environnement (7, 8). Ce cadre permet aussi de réduire le nombre de caméras nécessaires à l'analyse cinématique (9). Si l'usage du tapis roulant est devenu très populaire dans les milieux de recherche, de même que dans les cliniques, la question de la validité des informations obtenues par rapport à la locomotion au sol est fréquemment débattue et demeure un sujet controversé (10, 11). Cette section abordera plus spécifiquement la comparaison entre la marche au sol et la marche sur le tapis roulant chez une clientèle saine. Pour déterminer s'il existe une différence, dans ce travail, il sera question de l'analyse biomécanique de la marche et d'autres modalités, telles l'électromyographie et la consommation d'oxygène. Le but visé est d'objectiver s'il existe des changements dans un premier temps et d'interpréter leur impact selon un contexte de réadaptation de la marche dans un deuxième temps.

### **2.1. Stratégie de recherche**

Les articles ciblés pour la revue sont retrouvés dans les bases de données de Medline (1996-2011) et Embase (1996-2011). D'autres bases de données telles que CINAHL, PEDro, REHABDATA ne contenaient pas d'article pertinent qui n'était pas déjà trouvé. Afin de considérer un article, le sujet devait traiter de la comparaison entre la marche au sol et la marche sur tapis roulant chez des sujets sains. Les sources d'exclusions les plus fréquentes concernaient les articles abordant la course et diverses

clientèles atteintes de pathologie. D'autres articles souvent cités datant d'avant la date indiquée ont été sélectionnés à partir des références d'articles.

## 2.2. Analyse biomécanique

D'un point de vue strictement physique, il ne semble y avoir point de différence entre la marche au sol et sur tapis roulant. Cet énoncé est vrai en théorie, ce qui implique que les lois de la physique mécanique sont appliquées sans tenir compte de l'influence de tous les facteurs. Ainsi, certaines variables sont à considérer tel que la friction qui peut être différente entre le tapis et le sol (10). Selon Savelberg et al, s'il existe une différence, cette dernière ne peut être attribuée qu'à des facteurs non-mécaniques ou l'altération du modèle physique théorique qui serait principalement attribuable à la variation de la vitesse de marche (12). D'autre part, la psychologie, l'adaptation inadéquate au tapis roulant ou l'influence de changement du flot optique pourraient contribuer à modifier la marche sur tapis roulant par rapport à la marche au sol (8). La possibilité que le rythme imposé par le tapis roulant perturbe la constance des pas, comme c'est le cas lors de la marche avec un métronome, a aussi été soulevée (13).

### **2.2.1 Protocoles utilisés pour l'analyse biomécanique de la marche**

On retrouve différents protocoles d'analyse de la marche dans la littérature. Cependant, il est possible d'identifier certains points communs se retrouvant dans la majorité des études. La plupart des protocoles encouragent les sujets à marcher à une vitesse confortable qu'ils déterminent. Or la vitesse confortable varie entre les individus et cette variation influence la cinématique, la cinétique et les données électromyographiques (EMG) (14). Afin de comparer adéquatement les données biomécaniques, il est donc nécessaire que les sujets soient comparés à eux-mêmes. D'autre part, si la vitesse obtenue à la marche au sol n'est pas la même que celle employée sur le tapis roulant, cela peut entraîner des différences de dépenses énergétiques(15). De plus, le sujet qui s'appuie sur les barres latérales lors de la marche sur tapis roulant pourra utiliser ce contact externe afin d'améliorer sa stabilité dynamique (13). La vision ou l'usage des barres latérales, même si l'appui est minime, influencent les oscillations du centre de masse dans le plan antéro-postérieur et médio-latéral en comparaison à la marche sur tapis roulant avec les yeux fermés sans appui.

En considérant ces variations, il est recommandé que les protocoles expérimentaux rapportent dans quelles conditions leur étude s'est déroulée (16). Enfin, le type de tapis roulant doit être pris en compte. Certaines études choisissent un modèle commercial afin d'être plus fidèles à la réalité, d'autres favorisent des tapis roulants de réadaptation qui permettent de graduer plus précisément la vitesse et d'amorcer la marche à des vitesses plus basses. Aussi, le moteur de la courroie doit être assez puissant pour éviter que la vitesse ne soit altérée lors de la marche. Advenant que la vitesse ne soit pas constante, cela pourrait entraîner des modifications des paramètres temporels, tout particulièrement la longueur des pas et la cadence (10, 17, 18). La principale variation concernant la vitesse de la courroie consiste en un ralentissement de l'ordre de 2,5 % à 5 % lorsque les sujets initient le double appui antérieur de réception (8, 9). Cependant, selon Riley et al le glissement de la courroie sur ses assises aurait un impact plus important que la puissance des moteurs sur la variabilité de la vitesse, contrairement à l'hypothèse de Savelberg (9). Ce dernier affirme que l'augmentation de la variabilité de la vitesse serait proportionnellement reliée à l'augmentation des différences cinématiques de la marche sur tapis roulant (12). Une solution au problème n'a pas encore été mise au point

Lorsque les auteurs tentent de comparer les paramètres temporels, on sélectionne la vitesse de marche pour chaque sujet. Pour ce faire, ces derniers marchent dans un environnement contrôlé tel un corridor ou directement sur le tapis s'il est intégré dans le sol de l'aire de marche. Pour standardiser la mesure, le processus est répété 3 fois (19). Alors que d'autres obtiennent plusieurs passages et sélectionnent 2 séquences au hasard (20). Une moyenne de la vitesse obtenue pour chaque passage est ainsi utilisée. Les chercheurs programment alors le tapis roulant en fonction et on s'assure de la calibration des appareils en comparant la vitesse affichée et le nombre de révolutions de la courroie dans le temps à l'aide d'un marqueur placé sur la courroie à titre de point de référence (19).

L'analyse cinématique porte essentiellement sur l'enregistrement du mouvement des membres qui sont considérés comme des corps rigides, c'est-à-dire que la déformation liée aux déplacements des masses musculaires n'est pas prise en compte. À l'aide de systèmes d'analyse de la marche, il est possible de calculer les angles formés entre les segments corporels et ainsi déterminer les déplacements angulaires aux différentes articulations étudiées. Il est également possible de décrire le mouvement en terme de déplacement, de vitesse ou d'accélération, linéaire et angulaire, dans

l'espace pour chaque segment ou le corps entier par l'intermédiaire de leur centre de masse (21). Pour déterminer la position des articulations ou de points anatomiques, les marqueurs sont disposés sur des proéminences osseuses telles que le centre de l'acromion, la pointe du grand trochanter, le condyle latéral du fémur, la tête de la fibula et la malléole externe. La plupart des analyses concernent les mouvements du plan sagittal, même si l'analyse de mouvement est tridimensionnelle (9). Pour diminuer les biais liés à la position des marqueurs, l'application devrait être effectuée par le même clinicien expérimenté. Aussi, les marqueurs apposés directement sur la peau peuvent être sécurisés à l'aide de ruban adhésif (8). D'autres stratégies ont aussi été développées telles que le regroupement de quatre capteurs attachés par un polymère ajustable sur mesure ou l'usage du KneeKG<sup>MC</sup> fabriqué expressément pour l'analyse cinématique du genou qui est composé d'une bande circulaire où sont disposés les marqueurs entourant une région anatomique (8, 22). Afin de s'assurer de la fiabilité de la mesure, les données sont prises à partir d'au moins trois cycles de marche complets (20).

Finalement, la cinétique de la marche a été investiguée plus récemment afin de fournir des renseignements pertinents sur les moments articulaires et sur la puissance musculaire. L'apparition de tapis roulants instrumentés, équipés de capteurs de force intégrés, a facilité la réalisation de telles analyses. Avant l'avènement de ce type de tapis roulant, les études cinétiques de la marche étaient réalisées à l'aide de plaques de forces intégrées au sol. Plusieurs essais étaient requis afin d'obtenir un bon contact entre le pied des sujets et la plaque de force et ainsi des données adéquates. Le long processus peut prédisposer les sujets à la fatigue et à l'altération de leur cinétique tout particulièrement si ces sujets présentent un patron de marche déficient (10). Grâce aux nouveaux appareils, les scientifiques peuvent acquérir un volume plus important de données plus rapidement, ce qui bénéficie à l'évaluation des sujets fatigables (23). Par ailleurs, la question de la validité des tapis instrumentés a été établie, selon Tesio et Rota, les évidences tendent à accepter leur utilisation (24). Une idée originale retrouvée dans le protocole de Lee et Hidler se penche sur la possibilité que le capteur de force entre le sol et le tapis roulant soit influencé par une différence au niveau des propriétés physiques des surfaces, c'est-à-dire entre le contact dur du sol des plaques de force et le caoutchouc du tapis roulant recouvrant les capteurs de force. Afin de vérifier cette hypothèse, les données cinétiques de cette étude ont donc toutes été recueillies à l'aide des du tapis roulant instrumenté intégré au même niveau que le corridor de marche.

Dans un premier temps, les sujets marchaient au sol et traversaient le tapis roulant inactivé, puis dans un deuxième temps ils retournaient sur le tapis qui était alors activé (8). À ce jour, une étude à comparer les résultats recueillis entre une plaque de force au sol et un capteur intégré au tapis roulant à l'arrêt chez deux sujets seulement sans avoir trouvé de différence tangible, les auteurs concluent que le type de surface n'influe pas sur les valeurs cinétiques (20).

### **2.2.2 Familiarisation au tapis roulant**

Le phénomène d'habituation à la marche sur tapis roulant avait déjà été étudié par Wall et Charteris au début des années 1980. Des études ultérieures ont mené au constat que les sujets qui n'ont jamais marché sur un tapis roulant, donc qui y sont naïfs peuvent démontrer une accoutumance importante dans un premier temps. Ce processus se prolonge de façon moins marquée avec le temps à la manière d'une courbe logarithmique. Les auteurs recommandaient alors que les sujets devaient avoir eu la chance de s'entraîner sur plusieurs sessions totalisant 1 heure et que les 2 premières minutes sur le tapis roulant ne soient pas analysées (25).

Matsas et al ont spécifiquement analysé le temps nécessaire aux jeunes sujets sains pour qu'ils soient considérés familiarisés à la marche sur tapis roulant. Le terme familiarisation sera utilisé dans le texte, dans le même sens que le concept d'habituation. En fonction de leurs résultats, ils affirment que les sujets devraient être familiarisés avec la marche sur tapis roulant pour une période de 4 à 6 minutes précédente la collecte de données (26). Dans une expérience similaire chez une clientèle saine âgée, les mêmes auteurs ont trouvé que la familiarisation ne se faisait pas au même rythme. En effet, ces sujets n'étaient pas considérés comme étant complètement familiarisés après une période de 15 minutes de marche sur le tapis roulant, bien que le coefficient de corrélation intraclasse, entre les paramètres biomécaniques des deux conditions, était élevé après 14 minutes (7). Une autre étude a cherché à quantifier le temps nécessaire pour qu'un jeune adulte non naïf soit accommodé au tapis roulant et n'a pas réussi à établir un temps précis étant donné que la variation à la marche de leurs sujets ne dépassait pas 1,2° tout au long de l'expérience malgré une analyse cinématique du genou dans trois plans. Les auteurs concluent que la période de familiarisation est spécifique à la population à étude (22).

L'apparition de tapis roulant à doubles courroies a de nouveau soulevé des hypothèses sur l'influence du temps de familiarisation au tapis roulant. Tout comme

l'avait démontré Matsas et al, il a été déterminé que les sujets devaient être familiarisés au moins 5 minutes avant de pouvoir recueillir des données constantes sur un tapis roulant à deux courroies. Après ce temps, les paramètres temporels, cinétiques et cinématiques peuvent être considérés comme étant constants (27).

### 2.3 Revue des évidences

#### **2.3.1 Paramètres spatio-temporels**

Ces paramètres sont probablement les plus étudiés pour comparer la biomécanique de la marche. On peut d'ailleurs ressortir certains points fréquemment abordés dans la littérature. En effet, en comparant la marche sur le tapis roulant, on observe principalement des changements au niveau de la cadence, la longueur du pas et l'attaque du talon ou plus précisément l'attaque avec tout le pied (28). Cette section regroupe les études abordant ces sujets en fonction des résultats obtenus par les auteurs.

Des études mentionnent que la marche sur le tapis roulant augmente significativement la cadence par rapport à la marche au sol. Alton et al ont mis en lumière cette augmentation associée à une diminution du temps d'appui unipodal lors d'une analyse tridimensionnelle. Cependant, de l'avis même des auteurs, les 3 minutes de pratique sur le tapis roulant laissées aux sujets pour s'habituer n'étaient peut-être pas suffisantes. La position des orteils et de la malléole externe ont été utilisées afin de définir les phases d'appui et d'oscillation lors de la marche sur le tapis roulant, car l'étude ne disposait pas de dynamométrie, ce qui est plus couramment employée selon les auteurs. De plus, la vitesse entre la marche au sol et sur tapis roulant était ajusté à 0,2 km/h ce qui constitue une source d'erreur potentielle. Les auteurs ont diminué leur seuil statistiquement significatif en conséquence (19), mais les résultats sont malgré tout jugés questionnables selon Lee et Hidler (8). Warabi et al ont obtenu des résultats similaires à Alton et al. Les patients de ces deux études étaient pied nu afin de permettre de placer des marqueurs à divers repères anatomiques au niveau du pied. Cette particularité de leurs protocoles n'a été répétée que dans une seule autre étude recensée dans le présent travail, il est donc difficile d'établir si un biais peut-être relié à cette pratique. Le protocole de Warabi et al ne fait pas mention d'une période de familiarisation au tapis roulant (29). Ensuite, Nymark et al ont obtenu une augmentation de la cadence et une diminution de la longueur des pas à la marche au tapis roulant. La

durée d'appui unipodal n'était pas précisément évaluée. Leur protocole ne mentionne pas qu'un temps de familiarisation ait été observé, de plus la vitesse de marche confortable au sol a été déterminée par la capacité des sujets à obtenir une vitesse semblable entre deux essais (différence inférieure ou égale à 0,02 m/s). Étant donné que toutes les données ont été prises le même jour et que le nombre d'essais de marche au sol n'est pas précisé, il est possible que les sujets aient été influencés par la fatigue en fin de séance (28). Tesio et Rota ont confirmé les résultats de Nymark et al. Par ailleurs, cette étude a inclus un temps de familiarisation de 2 minutes pour leurs sujets qui n'avaient pas d'expérience antérieure à la marche sur tapis roulant, le temps était volontairement écourté afin de mieux représenter la réalité clinique. À noter que parmi les quatre études, la plus grande différence de cadence a été observée dans cette dernière. Elle était de 8 % supérieure à celle obtenue à la marche au sol pour la même vitesse de marche.

Matsas et al ont exposé que, chez des patients jeunes qui non familiarisés à la marche sur le tapis roulant, la cadence, la longueur des pas et la durée du pas variaient significativement des valeurs obtenues à la marche au sol. En fonction du temps, la différence des paramètres diminuait et après la sixième minute de marche sur le tapis roulant, tous les paramètres précédents étaient fortement corrélés aux résultats obtenus à la marche au sol (26). Les mêmes auteurs n'ont pu réitérer la même conclusion en analysant spécifiquement une clientèle saine plus âgée. Cette contradiction peut s'expliquer par les consignes transmises aux sujets qui avaient le choix de tenir les barres latérales lors de la marche sur le tapis roulant. Ainsi, certains sujets n'ont pas réussi à lâcher prise alors que d'autres l'ont fait. Dans cette dernière étude, 2 sujets n'ont pu terminer la séance, ils se sont arrêtés en raison de la fatigue après 7 et 10 minutes de marche respectivement. La fatigue des patients en fin de séance semble avoir joué un rôle important sur la variation des résultats(7). D'autres études récentes réalisées avec plus de patients ont obtenu des cadences similaires entre la marche sur le tapis roulant et la marche au sol. Riley et al n'ont trouvé aucune différence significative pour tous les paramètres spatio-temporels. De plus, ces derniers ont trouvé que la vitesse, la longueur des pas et la cadence étaient plus constantes lors de la marche sur tapis roulant par rapport à la marche libre, puisque la vitesse était fixée (9). Lee et Hidler sont arrivés à la même conclusion bien qu'une diminution significative, de l'ordre de 3 secondes, du temps d'appui unipodal et du temps d'oscillation, a été notée (8). Les deux études suivantes n'ont pas mentionné si un temps de familiarisation avait

été observé. Goldberg et al ont obtenu des cadences quasi identiques entre les deux conditions en sélectionnant les essais où la vitesse moyenne était la plus semblable entre les deux conditions (23). Une étude récente de Tulchin et al confirme cette conclusion, il faut souligner que les sujets inclus dans cette étude se disaient eux-mêmes familiers avec la marche sur le tapis roulant, cependant ils étaient pied nu lors des séances de marche ce à quoi ils n'étaient pas habitués. De plus, ils ont reçu comme consigne de déposer leurs mains sur les barres latérales lors de la marche sur le tapis roulant (11). Bien que les résultats obtenus contreviennent plus spécifiquement à ceux avancés par Alton et al et Warabi et al, l'impact potentiel des barres latérales sur les paramètres de la marche limite les comparaisons entre ces études.

En comparant les conclusions des études précédentes, on constate qu'il y a controverse sur les différences entre les paramètres temporels. Toutefois, la méthodologie de certaines études comporte des failles, principalement la familiarisation à la marche sur tapis roulant qui n'est pas présente ou insuffisante. Les études plus récentes ayant bénéficié de technologie plus avancée, dont le tapis roulant instrumenté, et ayant incluse la familiarisation de leurs sujets à la marche sur tapis roulant ont conclu que les paramètres temporels étaient similaires entre la marche sur tapis roulant et la marche libre. Or, ces études portaient sur de jeunes adultes sains et ces conclusions ne peuvent être généralisées à une population plus âgée (7, 20) deux études conduites chez une population âgée de plus de 60 ans ont démontrées que la cadence est augmentée et que la longueur du pas est diminuée lors de la marche sur le tapis roulant. Selon ces résultats, la variation moyenne de la cadence était de 5 %, alors que la longueur était diminuée de 5 à 9 cm. Ce qui s'accompagnait d'une augmentation variable du temps d'oscillation. Ces résultats ont été obtenus bien que les sujets aient reçu un temps de familiarisation au préalable (7, 20). Une autre étude a trouvé que le temps de double appui de même que le ratio entre l'oscillation et la phase d'appui était statistiquement diminué lors de la marche sur tapis roulant. Cependant, cette même étude ne témoigne d'aucune différence au niveau de la cadence (30).

Rosenblatt et al ont déterminé que la largeur des pas augmentait significativement de 15 % lorsque les sujets évoluaient sur tapis roulant. Ils ont aussi mesuré la variation de la largeur des pas et celle-ci s'est avérée plus constante sur le tapis roulant. Le but de leur étude cependant était d'investiguer les différences entre la marche libre et la marche sur tapis roulant sur le plan de la stabilité frontale, ce qui peut être associé à la variation sur la largeur des pas lors de la marche. Leur objectif premier



n'était donc pas de comparer des paramètres temporels (31). Cela a certainement contribué aux choix d'évaluations qu'ils ont sélectionnés dans leur protocole, entre autres la vitesse au sol qui variait significativement par rapport à celle sur tapis roulant nuisant ainsi à la validité de leur résultat. Cependant, d'autres études démontrent la tendance qu'ont les individus sains à adopter une démarche avec une base élargie sur le tapis roulant à deux courroies. Même si la largeur des pas ne fluctuait plus après 5 minutes, les auteurs ont mentionné que sa valeur de départ était plus importante que celle trouvée sur un tapis à simple courroie. Les sujets auraient volontairement augmenté la largeur de leur pas, en l'absence d'instruction, afin d'éviter de ne pas faire un pas sur la bande controlatérale selon les auteurs.(24, 27)

### ***2.3.2 Coordination entre les membres supérieurs et inférieurs***

Une étude a soulevé l'hypothèse que le contrôle moteur est altéré lors de la marche sur tapis roulant. Les résultats de ces auteurs démontrent que les mouvements alternés des bras sont en phase avec le déplacement des membres inférieurs lors de la marche libre et sur tapis roulant alors que les sujets marchaient à leur vitesse confortable ou leur vitesse maximale. Alors que l'oscillation des membres supérieurs n'était plus en phase lors la marche à basse vitesse pour le tapis roulant seulement. Selon les auteurs ceci serait attribuable au processus de contrôle central du mouvement qui est dépendant de la condition (32). Cette hypothèse sera approfondie lors de la discussion. En somme, cette étude fournit des résultats préliminaires que la marche sur tapis roulant à basse vitesse n'est pas équivalente à la marche au sol.

### ***2.3.3 La cinématique angulaire***

Hanche : Alton et al ont trouvé que l'amplitude de flexion était augmentée de 5° en moyenne (19). D'autres études ont également observé uniquement une augmentation de la flexion de hanche variant entre 3° de différence moyenne significative et 5° de différence non significative (28, 30). Alors que Riley et al ont trouvé des différences significatives pour plusieurs amplitudes à la hanche dont la flexion de hanche, la variation n'était cependant que de 0,68°. Par ailleurs, leur étude démontrait surtout une diminution de l'extension de même que de l'adduction et de la rotation interne (9). Les mêmes auteurs ayant analysé plus spécifiquement des personnes âgées dans une autre étude, ont reproduit la plupart de ces résultats. En effet, chez leurs sujets âgés, l'extension de la hanche, l'adduction et la rotation interne étaient

diminuées significativement et la différence moyenne atteignait  $5,69^\circ$  pour la rotation, alors que la flexion de hanche n'était pas statistiquement différente (20). D'autre part, Lee et Hidler affirment qu'il n'y a pas de différence cinématique au niveau de l'amplitude articulaire de la hanche dans le plan sagittal (8).

Genou : Lee et Hidler ont observé une diminution significative de l'amplitude de mouvement au genou en comparant la marche libre à la marche sur tapis roulant, dans cette étude la flexion maximale obtenue n'était pas différente alors que l'extension n'était pas mesurée (8). Aussi, d'autres études ont identifié une diminution significative de l'extension du genou de l'ordre de  $0,58^\circ$  et  $1,5^\circ$  (9, 30). Le manque d'extension a également été observé spécifiquement lors du double appui antérieur de réception, mais la différence n'était pas significative dans cette étude (28). Enfin, en considérant spécifiquement l'analyse sagittale du genou, Matsas et al quant à eux on trouver des différences significatives de l'amplitude articulaire globale entre la marche libre et sur tapis roulant. Ces différences n'étaient plus significatives après 4 minutes de familiarisation des sujets sur le tapis roulant (26). Dans le plan frontal, seule l'étude de Watt et al rapporte une diminution du varus (20).

Cheville : Nymark et al n'ont pas réussi à mettre en évidence une différence significative de l'amplitude articulaire globale de la cheville. Par contre, dans leur analyse post-hoc, il est possible de constater une diminution de la dorsiflexion tout au long du cycle à la marche sur tapis roulant (28). Ces résultats sont contredits par Tulchin et al qui se sont penchés plus spécifiquement sur l'analyse des mouvements à la cheville. Ils ont illustré que l'amplitude maximale en flexion plantaire atteinte durant le double appui antérieur de réception (first foot rocker) était diminuée significativement sur le tapis roulant. Aussi, la différence d'amplitude n'était que de  $1,5^\circ$  bien qu'une analyse visuelle de la courbe cinématique semble indiquer une augmentation de la dorsiflexion à la marche sur tapis roulant (11). D'un autre côté, aucune différence significative ni de tendance précise n'a été identifiée dans le plan sagittal par d'autres études (8, 9, 20, 30)

Deux études ont analysé la cheville dans d'autres plans. D'une part Tulchin et al ont conclu que les différences, même si elles étaient parfois statistiquement significatives ne dépassaient pas en moyenne  $2,5^\circ$  ce qui représentait moins que la variabilité rencontrée d'une journée à l'autre (11). D'autre part, les résultats de Watt et al étaient similaires, bien que les auteurs se contentent de commenter sur les changements cinématiques dans le plan sagittal en général sans spécifier si ces changements dépassaient la variation sur la mesure (20).

Lombo-pelvien : Les mouvements cinétiques du bassin, de même qu'à la colonne lombaire, sont très similaires entre les deux modes de locomotions selon Riley et al (9). Alors que l'étude de Vogt et al retrouve des réductions statistiquement significatives dans les plans frontal et transverse au niveau du bassin. Cependant, les sujets de leur étude n'évoluaient pas à la même vitesse, cette différence était suffisante pour modifier la durée d'un cycle de marche qui n'était pas la même entre les essais(33). Chez des sujets âgés, les valeurs maximales et minimales dans le plan transverse sont réduites significativement à la marche sur le tapis roulant (20).

### **2.3.4 La cinétique**

La cinétique varie beaucoup plus que la cinématique, les différences intersujets pouvant atteindre 200 % (14). En fait, les études étoffées qui ont complété une analyse cinétique n'ont pas eu recours totalement à la même méthodologie. Riley et al ont été les premiers à réaliser une étude comparée de la cinétique de la marche. Leur groupe expérimental était le plus important avec 26 sujets sains âgés en moyenne de 23, 4 ans (9). Lee et Hidler ont obtenu les valeurs cinétiques de la marche au sol pour un groupe de sujets hétérogène, la moitié étant jeune (23, 5 ans) et l'autre plus âgée (56 ans). Les auteurs affirment qu'aucune différence reliée à l'âge n'a été trouvée, cela peut s'expliquer par le fait que leurs sujets âgés étaient actifs et qu'ils marchaient fréquemment sur un tapis roulant pour s'exercer. Les données des deux groupes ont donc été combinées dans toute l'analyse. De plus, toutes leurs valeurs cinétiques ont été mesurées à l'aide des capteurs de force du tapis roulant instrumenté (8). Le groupe de Riley et al ont repris cette méthode, mais pour des sujets beaucoup plus âgées (70, 3 ans) (20).

#### *2.3.4.1 Moments intersegmentaires*

Selon les résultats de Riley et al, tous les moments sont similaires pour la hanche, le genou et la cheville. Seul, le moment maximal de l'extension du genou est augmenté sur le tapis roulant (9). Lee et Hidler ont déterminé que tous moments obtenus sur le tapis roulant dans un plan sagittal à l'exception de la flexion plantaire étaient statistiquement différents de la marche au sol, alors que tous les moments du plan frontal étaient similaires entre les deux modes de marche. Les moments de dorsiflexion à la cheville, d'extension au genou et de flexion de hanche étaient diminués, tandis que les moments de flexion du genou et d'extension de la hanche étaient

augmentés (8). En général, les résultats de Watt et al sont consistants avec ceux de Riley et al, on note une diminution des moments, mais comparables à ceux obtenus à la marche au sol. Cependant, les moments en rotations internes à la hanche, au genou et à la cheville étaient statistiquement augmentés lors de la marche sur le tapis roulant (20).

#### *2.3.4.2 Forces au sol*

Golberg et al se sont appliqués à déterminer si le tapis roulant aidait à la propulsion. C'est-à-dire si le mouvement de la courroie, qui amène le membre inférieur en postérieur, réduit ainsi le moment nécessaire développé par les muscles propulseurs à la marche. Selon leurs observations, qui ont porté uniquement sur les fléchisseurs plantaires, la force antéro-postérieure au double appui postérieur d'élan est similaire entre les deux modes de locomotion, bien qu'une tendance à la baisse pour le tapis roulant soit observée. Cependant, la force horizontale en antéro-postérieure au double appui antérieur de réception était significativement réduite lors de la marche sur tapis roulant (23). Par ailleurs, la force maximale en antéro-postérieure est aussi diminuée de façon statistiquement significative dans toutes les autres études qui ont comparé les forces au sol. Dans les autres plans, le groupe de Riley et al a trouvé des différences au niveau des forces maximales médio-latérales, ces résultats ont été corroborés dans l'étude de Watt et al, alors que Lee et Hidler ne sont pas parvenus au même résultat. Finalement, les études de Parvataneni et al et de Watt et al ont trouvé une diminution de la force verticale lors du double appui postérieur d'élan (8, 9, 20, 30).

#### *2.3.4.3 Puissance*

Aucune différence n'a été relevée entre les puissances maximales et minimales à la cheville. Riley et al n'ont pas obtenu d'autre résultat significatif alors que deux études, de Lee et Hidler et de Watt et al, ont quelques résultats significatifs, mais la plupart de leurs données sont divergentes. Seule la puissance d'absorption du genou lors du double appui postérieur d'élan était significativement diminuée dans les deux études (8, 9, 20).

#### **2.3.5 Dépense métabolique**

La marche sur le tapis roulant augmente significativement les dépenses énergétiques. Il a été démontré que le coût en oxygène de la marche est plus élevé

lorsque de jeunes adultes marchent sur un tapis roulant à une vitesse confortable déterminée sur le tapis roulant en comparaison à la marche à une vitesse confortable déterminée au sol (15). Une augmentation de 23 % de la consommation énergétique a été mesurée chez des sujets sains plus âgés lorsqu'on compare la marche sur le tapis roulant à la marche au sol pour la même vitesse (30).

### **2.3.6 Électromyogramme**

Le patron d'activation musculaire a été peu étudié dans un contexte de comparaison entre la marche au sol et la marche sur tapis roulant chez les sujets sains. Pourtant, les légères variations d'amplitudes articulaires de même que l'augmentation de la dépense énergétique lors de la marche sur tapis roulant semblent indiquer qu'il y a des différences à ce niveau. Parmi les études plus anciennes portant sur le sujet, Murray et al exposent qu'il n'y a aucune différence statistique au niveau de l'activité enregistrée à l'EMG, bien que les amplitudes d'activation étaient généralement plus élevées ce qui pourrait indiquer un travail musculaire supérieur lors de la marche sur tapis roulant. À noter que la variabilité de la mesure a été jugée importante selon les auteurs (17). Plus récemment, Nymark et al ont eux aussi affirmé que le patron général était semblable. Toutefois, ils observèrent une légère baisse de l'activité du tibial antérieur au double appui antérieur de réception et une augmentation de l'activité des ischio-jambiers médiaux lors de la période d'oscillation lors de la marche sur tapis roulant. Cela vient renforcer l'hypothèse d'une co-contraction plus importante secondaire au tapis roulant. Cependant, l'écart type à la mesure était très important et si l'on tient compte de la méthodologie qui n'était pas optimale, ces résultats doivent être interprétés prudemment (28). Par opposition aux résultats précédents, les amplitudes d'activation du tibial antérieur et du semi-tendineux obtenues lors de la marche sur le tapis roulant étaient superposables à celles obtenues à la marche au sol et donc considérées comme étant égales. Ces résultats de Tesio et Rota sont exposés sous forme de graphique seulement, les données chiffrées ne sont pas indiquées ce qui limite l'analyse (24). L'étude la plus récente a trouvé que, lors de la marche sur tapis roulant, le tibial antérieur des sujets était moins actif tout au long de la phase d'appui et cela de façon significative. Alors que les ischio-jambiers étaient significativement plus actifs à la marche sur tapis roulant mais seulement en fin d'oscillation, Il en va de même pour le vaste médial du quadriceps et le long adducteur. De plus, le muscle droit fémoral était

plus actif sur le tapis roulant tout au long des phases de marche. Encore une fois cependant, les écarts-types sont importants ce qui limite la validité des conclusions (8).

#### 2.4 Analyse des évidences

À la lumière des résultats recueillis dans ce travail, il est possible d'affirmer qu'il existe à la fois des similitudes et des différences entre la marche au sol et la marche sur tapis roulant. Tout d'abord, dans l'analyse biomécanique de la marche, un trouve un nombre important de paramètres cinématiques et cinétiques statistiquement différents qui, toutefois, varient en moyenne de moins de 3° entre les deux conditions. Les affirmations de certains auteurs à ce sujet voulant qu'il existe une augmentation significative de la flexion de la hanche (19, 28), une diminution de l'extension du genou (9, 30) et une variation dans le plan frontal au niveau du bassin (20, 33) n'ont cependant pas été confirmées par d'autres évidences. Il semble plutôt après revue des évidences que la marche sur le tapis roulant induit une réduction globale non significative des amplitudes articulaires et donc, en somme, ces différences ne sont pas cliniquement significatives. D'autre part, des réserves ont été émises au sujet du rythme imposé par le tapis roulant qui pourrait perturber la génération de mouvement lors de la marche (32). Or, l'absence de distinction biomécanique majeure entre ces deux conditions suggère le contraire et d'autres évidences soutiennent cette conclusion. En effet, une étude d'imagerie cérébrale a identifié certaines zones corticales actives lors de la marche sur tapis roulant. Ces régions étaient compatibles aux aires connues comme étant impliquées lors de la marche. Entre autre, l'activation de l'aire supplémentaire suggère que le mouvement est initié par le patient et non par l'intégration de stimuli externes (34). Aussi, Chang et al ne considèrent pas que le tapis roulant influence négativement la dynamique intrinsèque des pas, par opposition à la marche avec métronome où le sujet est influencé par un indice externe (13). Ce qui démontre que le rythme imposé par le tapis roulant n'influence pas négativement le processus de régulation du mouvement. Donc, les sujets sains et probablement la clientèle en réadaptation ne devraient pas voir leur patron de marche influencé négativement lors d'un entraînement à la marche sur tapis roulant.

Ensuite, à l'aide de méthodes d'investigation autres que l'analyse biomécanique, des différences entre la marche sur tapis roulant et la marche au sol ont été identifiées

sur le plan énergétique et EMG. Ces changements suggèrent que la marche sur tapis roulant n'est pas aussi efficace que la marche libre. Pour appuyer cette hypothèse, la vitesse de marche confortable est employée en tant que marqueur global de l'efficacité de la marche (15). Or en l'absence d'une vitesse de marche imposée, la vitesse de marche confortable est inférieure lors de la marche sur le tapis roulant (13, 15, 31). Sachant que la dépense énergétique de la marche au sol et sur tapis roulant suit une courbe en « U » (14) dans laquelle le niveau d'effort minimal est retrouvé au centre de la courbe et correspond à la vitesse de marche confortable des patients (15). Ainsi, les sujets qui marchent sur le tapis roulant à une vitesse confortable déterminée lors d'un essai au sol pourraient se retrouver dans une partie plus élevée de la courbe qui est associée à une dépense énergétique supérieure. Ce qui est intéressant puisque dans un milieu de réadaptation, la vitesse de marche sur un tapis roulant est normalement déterminée de concert avec le patient, il y a donc de fortes chances que ce dernier sélectionne une vitesse confortable. Ainsi, les effets négatifs, telle la fatigue, pouvant survenir avec une intensité élevée sont moins probables. D'autre part, quelques hypothèses pourraient expliquer que la marche sur tapis roulant n'est pas aussi efficace que la marche au sol. Tout d'abord, l'instabilité engendrée par la variabilité de la vitesse de la courroie, lors du double appui antérieur de réception, pourrait causer un déséquilibre qui pourrait expliquer l'augmentation de la co-contraction des masses musculaires des membres inférieurs afin de stabiliser les articulations. Tel que discuté dans le paragraphe précédent, l'absence de variation majeure rapportée dans la littérature, il ne semble pas y avoir d'impact important relié à l'activité EMG. Ensuite, le conflit entre la perception du flot optique et l'information proprioceptive pourrait faire en sorte que la marche sur tapis roulant est moins automatique que la marche libre (32) ce qui expliquerait l'efficacité réduite. Enfin, la marche sur tapis roulant induit un post-effet ce qui témoigne d'un rééquilibrage de la commande motrice (35). En effet, la posture statique est influencée de sorte que le centre de masse est projeté antérieurement, indépendamment de la condition dans laquelle la marche a été réalisée, c'est-à-dire avec les yeux ouverts ou fermés (35). Ce qui implique directement l'effet du tapis roulant et élimine l'influence de l'information visuelle. Aussi, le tapis roulant induit une perturbation constante, provenant du flot optique, à laquelle le corps s'adapte (36), ce qui est caractérisé en quelque sorte par la conservation d'un schème de commande du mouvement. En cessant la marche sur tapis roulant, une période de retour à la normale est alors nécessaire qui pourrait persister au-delà de dix minutes (35). Chez les

personnes âgées qui semblent ne pas se familiariser avec autant de facilité que de jeunes sujets, l'étude de ce phénomène pourrait être utilisée puisque la présence d'un post-effet négatif est associée à l'adaptation du système nerveux (36). En déterminant la présence d'un post-effet, nous pourrions obtenir des renseignements sur la capacité des personnes âgées à se familiariser à la marche sur le tapis roulant. L'impact des aspects précédents sur la réadaptation à la marche n'est pas totalement élucidé. Toutefois, ils ne représentent pas des désavantages majeurs à la mise en route d'un programme d'entraînement, si l'objectif est d'utiliser le tapis roulant afin de reproduire la marche libre, puisque le patron de marche adopté par les sujets sains sur le tapis roulant est similaire d'un point de vue biomécanique.

En somme, peu d'études ont analysé exhaustivement la cinématique et la cinétique, d'autre part dans ces études la proportion entre les différences et les amplitudes articulaires n'ont pas été approfondies. Ainsi, une différence de 3° de flexion de la hanche à la marche qui est approximativement 32° (8, 19) n'a pas le même impact que 3° de différence d'adduction de la hanche qui est de 6° (20). Davantage d'études ont traité des paramètres temporels, probablement puisque ces données nécessitent moins d'équipement de pointe par opposition aux données cinétiques. Considérant la controverse qui persiste sur certains points, notamment la cadence et la longueur des pas, l'apport de nouvelles évidences ayant des méthodologies supérieures est nécessaire afin d'ajouter du poids à la conclusion de ce présent travail.

### **3. La marche sur tapis roulant en réadaptation: revue des évidences concernant les effets immédiats et d'entraînement de la modalité en combinaison avec différentes modalités chez plusieurs populations**

*~Marie-Michèle Gagnon~*

Pour accompagner le tapis roulant conventionnel en physiothérapie, plusieurs paramètres et outils existent, soit l'utilisation d'une pente et d'une haute intensité, la rampe, le support de poids partiel ou total, les orthèses robotisées, la rétroaction sonore et/ou visuelle, la stimulation musculaire électrique neurosensorielle et l'immersion du tapis roulant dans une piscine. Ils ont été développés afin de faciliter les traitements, par



exemple en soulageant le poids des patients, en procurant une assistance passive ou semi-passive au mouvement, en augmentant le niveau de contraction des muscles ou en apportant une stimulation sensorielle supplémentaire. Le but est d'optimiser la réadaptation des patients à la marche, que ce soit en augmentant les résultats obtenus au niveau des paramètres de la marche ou en augmentant l'autonomie à la marche, le tout en diminuant le temps de réadaptation. Aussi, des approches innovatrices telles que le tapis à bandes séparées, le tapis en position de décubitus dorsal, l'utilisation de chambre à pression négative ou positive et la réalité virtuelle ont été développées. Certains équipements sont dispendieux, que ce soit le coup d'achat et d'installation ou la nécessité de plusieurs thérapeutes pour leur utilisation. Ainsi, plusieurs centres de réadaptation ne possèdent pas de tels outils ou hésitent à s'en procurer par manque de ressource mais aussi par manque d'information. Il s'agit donc ici de déterminer si les études cliniques réalisées nous permettent de conclure sur l'efficacité des outils développés et la pertinence de leur utilisation.

### 3.1. Stratégie de recherche

Afin de réaliser la revue de littérature sur les outils entourant le tapis roulant en réadaptation, les bases de données Medline, Embase, Cochrane, Cinahl et PEDro ont été utilisées. La recherche fut effectuée entre le 11 septembre et le 30 novembre 2010. Les limites imposées étaient des articles de 2000 à récemment, pour des sujets humains et en anglais ou en français. Les mots-clés employés étaient *treadmill, rehabilitation/ exercise therapy/ physiotherapy, body-weight support, inclination, intensity, handrail, virtual reality, split-belt*. Les études déjà incluses dans une revue systématique n'étaient pas retenues. Un total de 57 articles ont été inclus dans les résultats.

À la suite de la recherche informatique, une lecture des résumés a été faite afin de s'assurer de la pertinence primaire des études puis chaque article fut classé en fonction de l'outil employé, de la clientèle étudiée et du type d'étude (transversale ou longitudinale), afin d'en ressortir les conclusions sur les effets immédiats ou d'entraînement. Pour chaque accessoire du tapis roulant, il a été extrait de la littérature une description générale et de la méthode d'utilisation ainsi que les indications et applications. La présentation des résultats selon le niveau d'évidence des études nous permet ensuite de déterminer si elles nous permettent d'exploiter ces résultats en clinique. Le niveau de validité interne a été jugé selon l'échelle PEDro lorsque la cote

était disponible ou qualitativement (faible, modéré ou élevé) dans le cas contraire en fonction du type de devis, de la méthodologie employée et des biais présents. Le niveau de validité externe a été jugé de la même façon que précédemment. Les résultats des entraînements utilisant le support de poids et les orthèses robotisées sur le tapis roulant chez les différentes clientèles présentant un déficit de marche sont traités dans une autre partie de ce travail.

### 3.2. Description des paramètres et outils

#### **3.2.1 Haute intensité**

L'entraînement à la marche sur tapis roulant peut être modifié en modulant l'intensité du traitement. Ceci peut se faire par l'augmentation de la vitesse de la courroie, l'augmentation du temps de la session, l'augmentation du nombre de sessions par semaine ou par l'ajout d'une pente au tapis. Le but théorique est d'optimiser la réadaptation en augmentant le niveau d'effort, ce qui peut avoir comme effet d'améliorer plus rapidement les différents paramètres de marche.

#### **3.2.2 Rampe d'appui**

Les rampes d'appui sont des accessoires qui peuvent se situer en latéral du sujet et/ou en frontal, selon le modèle du tapis roulant. Souvent utilisées comme sécurité pour les patients, elles peuvent aussi modifier certains paramètres d'entraînement en soulageant une partie du poids du patient.

#### **3.2.3 Support partiel de poids avec harnais**

Le système de support de poids partiel avec harnais est un outil qui peut être utilisé lors de l'entraînement à la marche sur tapis roulant pour permettre la station debout de façon mécanique, ce qui libère en partie le thérapeute. Le but théorique de cet outil est en effet de soulager le patient et le thérapeute du poids du patient grâce à un soutien en position verticale. Plusieurs modèles existent, dont trois ont été mis en comparaison (37) ici. Le *TR Spacetrainer* incorpore le tapis roulant et le système de harnais en un seul élément et permet un bon accès aux jambes par les thérapeutes. Il comprend une rampe d'accès pour le fauteuil roulant et un système de lift automatique, donc le harnais peut être posé en position assise. Le harnais passe par les jambes et le tronc pour procurer un bon support, mais il n'y a qu'une seule grandeur disponible. Le

support de poids est indiqué par un pourcentage du poids du patient et le système permet un mouvement vertical du corps au-delà de 12 cm sans altérer la quantité de support. Le *Lite-Gait* est un système de support seul fait sur roue qui peut être utilisé au sol ou combiné avec un tapis roulant. Il peut soulever le sujet mécaniquement depuis la position assise et le harnais passe par les jambes et le tronc, procurant un bon support. Il permet un support de poids différent pour chaque jambe, mais ne permet pas de mouvement vertical du corps, donc le support de poids varie pendant la marche. Le *Z-Lift* est un cadre en U incorporant le système de harnais qui peut être positionné au-dessus de n'importe quel tapis roulant, mais l'accès aux jambes du sujet est très difficile. Aussi, il n'a pas la capacité de soulever automatiquement le patient depuis la position assise, ce qui implique d'assister manuellement le patient pour se lever. Le harnais est seulement posé autour du tronc, ce qui procure un support de poids difficile. Il est donc plus indiqué pour les sujets qui ont un équilibre pauvre sans faiblesse et qui nécessitent plus une mesure de sécurité plutôt qu'un support. Finalement, il est à noter que plusieurs autres modèles existent puisque cette technologie est en constante évolution, où la variable est le système du support (ex. : fixe, à ressort, pneumatique ou modulé activement par un moteur tout au long de la marche afin de le synchroniser avec les phases de marche). Le but de ces modifications est d'assurer un pourcentage de support constant, produire des forces de réactions du sol semblable à la normale et permettre davantage de mouvements normaux à la marche, la référence étant la marche au sol. Par contre lors du choix d'un modèle de support de poids avec harnais, le thérapeute doit aussi regarder les aspects plus techniques, soit l'espace requis pour l'appareil, le besoin ou non d'un tapis roulant en plus du système de support de poids, la facilité pour accéder aux jambes du patient pendant la thérapie et le nombre de thérapeutes nécessaires afin de guider adéquatement les membres inférieurs lors de la marche.

### **3.2.4 Appareils robotisés**

Le support de poids partiel peut également être prodigué par un système mécanique incluant des orthèses robotisées pour assister la réadaptation à la marche. Cet outil permet de réduire les efforts et le nombre de thérapeutes nécessaires pour fournir de l'assistance manuelle aux mouvements des membres inférieurs des patients. La fatigue des thérapeutes et le manque de ressource des milieux sont en effet des limites importantes notées avec le support de poids avec harnais (2). Il a aussi comme

but d'améliorer la reproductivité de la cinématique des pas, difficilement constante avec l'assistance manuelle, et d'augmenter le volume de l'entraînement locomoteur. Présentement, plusieurs modèles existent et sont bien décrits.

Le *Lokomat Driven Gait Orthosis* (38) consiste en des orthèses de marche robotisées et un système de support de poids par harnais appelé *Lokolift* et est utilisé en combinaison avec un tapis roulant *Woodway* comportant une rampe d'accès pour le fauteuil roulant. Le contrôle de la position des orthèses est fait par une synchronisation de la cinématique des articulations avec la vitesse de marche. Le harnais de support de poids est posé au niveau des hanches et de l'abdomen et est parfaitement fixé pour minimiser le glissement vers le haut des bandes de fixation lors de la suspension. Il comporte des attaches supplémentaires au niveau des jambes. Le système permet de soulever le sujet mécaniquement. Les longueurs fémorale et tibiale sont utilisées pour l'ajustement du bras de force robotique et des positions pour la conduite robotique des articulations du genou et de la cheville. La vitesse du tapis roulant va de 1 à 3,2 km/h, les orthèses robotisées sont contrôlées par ordinateur et sont programmées pour produire un patron de marche et une cinématique normale au niveau physiologique par un contrôle dans le plan sagittal des membres inférieurs. Ils sont contrôlés en temps réel via des manchons autour des cuisses, sous les genoux et aux chevilles et les orthèses sont assez fortes pour les bouger en présence d'hypertonie. Le cadre du système DGO est conçu pour prévenir le mouvement horizontal au sol qui serait induit par le mouvement du tapis roulant. Le support permet le mouvement vertical du corps pendant la marche, mais prévient le mouvement latéral et antéro-postérieur. Une sécurité est assurée par des senseurs qui évaluent le patient lors de la marche et arrêtent automatiquement le tapis roulant si les pieds traînent sur la surface. Les ajustements sont multiples et possibles à tous les niveaux d'attaches. La quantité de support de poids est précisément ajustée dynamiquement via des senseurs pour s'ajuster pendant la marche et elle peut être modifiée facilement pendant l'entraînement. Le poids maximal permis est 135 kg. Une interface de contrôle par ordinateur est accessible pour le thérapeute et permet de moduler le support de poids, l'assistance des orthèses et les paramètres de marche et d'entraînement. Une mémoire est disponible pour les ajustements spécifiques à chaque patient. Le temps et la distance de marche, la rigidité, la force isométrique en flexion et extension et l'amplitude de mouvement passif et/ou actif au niveau des hanches et des genoux sont enregistrés pendant la marche et

peuvent donner une rétroaction de l'effort du patient en temps réel pendant l'entraînement.

Le *HealthSouth AutoAmbulator* (38) est composé d'un tapis roulant avec rampe d'accès pour fauteuil roulant, d'un lift au-dessus de la tête, d'une paire de bras articulés, d'un système de support de poids et d'un système de contrôle par ordinateur. Le harnais est posé au niveau du tronc et passe entre les jambes, le support passant par le pubis et les tubérosités ischiatiques. Le système permet de soulever le sujet mécaniquement. Chaque bras articulé contrôlé mécaniquement comporte des articulations pivotantes aux hanches et aux genoux avec des attaches sur le côté des chevilles et dessus les genoux. Il n'y a pas de contrôle de la flexion plantaire ou dorsale à la cheville et la position de la cheville peut être établie via une orthèse ou un bandage. La stabilité au tronc minimise la rotation du bassin et assure un bon alignement vertical. La vitesse du tapis roulant va de 0 à 2,4 km/h et les composantes de la marche sont contrôlées pour permettre un patron de marche normal et s'ajuster en fonction de la vitesse. Une sécurité est assurée par des senseurs qui évaluent le patient pendant la marche et arrêtent automatiquement le tapis roulant en cas de défaillance du patient. L'alignement vertical est établi par la mesure du sol aux genoux puis les bras mécaniques sont ajustés pour permettre d'aligner l'axe vertical du genou mécanique avec l'axe du genou du sujet. La distance entre l'articulation du genou et de la hanche du bras mécanique ne s'ajuste pas, ce qui peut affecter l'axe de rotation à la hanche pendant la marche. Les manchons peuvent, au choix du thérapeute, limiter ou non le mouvement médio-latéral des membres inférieurs et les attaches obliques au tronc peuvent être retirées pour permettre un mouvement libre du bassin et du tronc. Le système permet trois longueurs de pas. Le support de poids ne permet pas le mouvement vertical du corps pendant la marche, ce qui affecte l'oscillation normale du centre de masse. La quantité de support de poids est ajustée via des senseurs pendant la marche et elle peut être modifiée facilement pendant l'entraînement. Le poids maximal permis est 136 kg. Le contrôle informatique permet l'ajustement de la vitesse du tapis roulant et du support de poids, mais l'assistance robotisée est fixe. Il permet également d'enregistrer le temps de traitement, le nombre de pas, la distance de marche, les forces actives du sujet et peut donner une rétroaction de l'effort du patient en temps réel pendant l'entraînement.

Le LOPES (39) (lower extremity powered exoskeleton) est un système d'exosquelette robotisé qui comporte trois articulations par membre inférieur, deux à la hanche et une au genou. Ces articulations sont complètement ajustables en fonction du

sujet. Le système est connecté à un support se situant à la hauteur du bassin qui permet un support de poids et l'application de forces correctrices à la marche. Il comporte plusieurs modes afin que les thérapeutes s'ajustent au besoin du sujet. Il permet une marche libre lors du mode en charge par le patient et il permet de renforcer un patron de marche normal, en produisant des forces qui guident le patient, lors du mode en charge par le robot. L'utilisation la plus courante se ferait entre les deux modes, appelé mode en charge par le thérapeute, lequel permet une sélection de moments de torsion correctifs et de support appliqués aux articulations des membres inférieurs et du bassin des patients qui marchent selon leur propre effort. L'ensemble comprend des barres parallèles latérales et est combiné à un tapis roulant.

### ***3.2.5 Rétroaction sonore et/ou visuelle***

La rétroaction sonore et visuelle a été développée dans le but de faciliter l'apprentissage ou l'entraînement d'un patron de marche fonctionnel, principalement pour les clientèles hémiparétique et parkinsonnienne. Son utilisation fournit une ou plusieurs stimulation(s) sensorielle(s) supplémentaire(s) afin de guider la marche des patients. Un métronome est l'instrument de prédilection pour l'aide sonore. La cadence de celui-ci peut être ajustée par le thérapeute. La technologie actuelle permet pour l'aide visuelle qu'un ordinateur projette en temps réel devant le patient où et quand il fait ses pas et où et quand il devrait faire les pas.

### ***3.2.6 Stimulation musculaire électrique neurosensorielle***

Un des traitements combinés au tapis roulant est l'électrothérapie dont le but est de stimuler un bon patron de marche. La stimulation consiste en l'utilisation d'un courant, lequel peut être appliqué sur les différents groupes musculaires contrôlant les membres inférieurs. La stimulation peut également être implantée. Le courant aide le patient à produire le mouvement désiré en augmentant le niveau de contraction des muscles des membres inférieurs et peut donner des afférences au patient afin de stimuler le mouvement actif pendant l'entraînement à la marche sur tapis roulant (40).

### ***3.2.7 Tapis roulant immergé***

Une autre façon de modifier la réadaptation à la marche est d'immerger le tapis roulant dans une piscine afin de le combiner aux bienfaits de l'hydrothérapie. Ceci permet de réduire l'hypertonie par la température de l'eau et de fournir un support

postural pour l'équilibre avec moins de risque et de peur de chute par la viscosité et la force de glissement de l'eau, lesquels peuvent aussi diminuer la spasticité, dépendante de la vitesse. La force de flottaison apporte aussi un support pour le poids du patient. Un système de jets autour des patients est aussi disponible et ajustable pendant le traitement (41) dans le but de modifier au besoin les forces agissant sur le patient.

### ***3.2.8 Tapis roulant en décubitus dorsal avec chambre à pression négative sur le bas du corps***

Une approche innovatrice en réadaptation consiste à utiliser un système hermétique au niveau de la taille de chambre à pression négative sur le bas du corps pendant un entraînement à la marche sur tapis roulant. De plus, le tapis roulant est positionné à 90° par rapport au sol, ce qui fait que les sujets sont en décubitus dorsal. Cette approche permet la réadaptation chez la clientèle alitée et offre des possibilités pour les astronautes qui subissent la micro-gravité. En effet, la pression négative simule l'effet de la gravité entre les membres inférieurs et le tapis roulant, rendant l'entraînement possible en décubitus dorsal. De plus, cette disposition élimine le besoin de support de poids, puisque le patient n'est pas verticalisé et elle apporte une solution pour permettre les ajustements posturaux naturels, puisqu'aucune attache ne limite le mouvement du patient (42).

### ***3.2.9 Tapis roulant avec chambre à pression positive sur le bas du corps***

Une autre approche innovatrice est l'utilisation d'un système hermétique au niveau de la taille de chambre à pression positive sur le bas du corps pendant un entraînement à la marche sur tapis roulant debout. La pression positive a comme propriété de décharger les articulations pendant la marche et une pression de 50 mmHg est bien tolérée par les sujets (43).

### ***3.2.10 Tapis roulant à courroies séparées***

Le tapis roulant à bandes séparées est une approche innovatrice qui a été développée afin d'individualiser les paramètres d'entraînement sur chaque membre inférieur. Ainsi, la vitesse des courroies droite et gauche peuvent différer. Le but théorique de cet outil est de rendre l'intervention plus spécifique au besoin du patient pour rendre sa marche plus fonctionnelle en produisant une adaptation motrice rapide et durable (44).

### **3.2.11 Réalité virtuelle**

La dernière approche innovatrice à être utilisée pour accompagner un entraînement à la marche sur tapis roulant est la réalité virtuelle. Cette technologie présente artificiellement des informations sensorielles générées (visuel ou proprioceptif) et perçues comme si elles étaient de vrais objets ou événements. Dans la réalité virtuelle, les objets et les événements simulés ne sont pas que perçus, les patients peuvent les anticiper et réagir à eux comme s'ils étaient réels. Elle permet aussi un environnement de jeux motivant pour aider les patients à adhérer aux traitements et ainsi augmenter leur prise en charge de leur réadaptation et diminuer leur perception de l'effort. Ces avantages favorisent théoriquement une récupération optimale et plus rapide (45-47).

## **3.3 Effets immédiats sur la marche**

Plusieurs études préliminaires transversales ont été effectuées sur l'utilisation d'un tapis roulant à la marche et avec l'utilisation des différents outils et paramètres décrits précédemment. Ceci nous permet d'évaluer les effets immédiats de ces différentes options. Tous les articles analysés ont une validité interne faible ou modérée, puisque pour la majorité il n'y a pas de randomisation, l'échantillon est petit et le groupe contrôle et le groupe expérimental sont composés des mêmes sujets. La situation contrôle est soit la marche au sol, soit la marche sur tapis roulant seul. Seulement deux études de cas de faible validité interne sont incluses dans les résultats

### **3.3.1 Paramètres spatio-temporels**

Au niveau du patron de marche et de la qualité de marche en général, évalués par une analyse linéaire et angulaire de la cinématique, par le Rivermead Gait Analysis Scale et par l'échelle visuelle analogue, ils ne sont pas affectés par une augmentation de l'intensité de l'entraînement sur tapis roulant, que ce soit en augmentant la vitesse de la courroie ou en ajoutant une pente (48, 49). Le patron de marche est aussi maintenu lors de la marche sur un tapis roulant avec pression positive appliquée au bas du corps (43). L'efficacité à la marche, jugée dans deux revues à partir de plusieurs aspects dont l'habileté à marcher, l'équilibre, le retour moteur et la vitesse de marche, est améliorée par l'utilisation d'un support partiel de poids avec harnais et les patients post AVC



marchent avec moins de spasticité (50, 51). Pour ce qui est des orthèses robotisées, il n'y a que de légères différences au niveau de la cinématique (39).

Au niveau de l'articulation de la hanche dans le plan sagittal, l'utilisation d'un support partiel de poids avec harnais à 20% de support diminue l'angle de flexion-extension, alors que 20% de support synchronisé pour être seulement pendant le premier 30% de MEC de chaque jambe n'a pas d'effet (52). La stimulation électrique fonctionnelle augmente de façon significative la flexion de la hanche en évoquant le réflexe de triple flexion (53). Elle augmente aussi la constance des mouvements des hanches (40). Par ailleurs, l'ajout d'une pente augmente également l'amplitude de mouvement à la hanche (54).

Au niveau de l'articulation du genou, l'utilisation d'un support partiel de poids avec harnais n'a aucun effet (52). La stimulation électrique fonctionnelle augmente de façon significative la flexion du genou en évoquant le réflexe de triple flexion (53). Elle augmente aussi la constance des mouvements des genoux (40). L'amplitude articulaire au genou est diminuée à 80% de décharge du poids du corps par l'utilisation de la pression positive appliquée au bas du corps (43).

Au niveau de l'articulation de la cheville, l'utilisation d'un support partiel de poids augmente significativement la dorsiflexion à 20% de support synchronisé pour être seulement pendant le premier 30% de mise en charge (MEC) de chaque jambe et augmente significativement la flexion plantaire à 20% non synchronisé (52). Aussi, la stimulation électrique fonctionnelle augmente de façon significative la flexion dorsale en évoquant le réflexe de triple flexion (53). De plus, l'attaque avec le talon est modifiée par l'ajout d'une pente et devient soit avec toute la plante du pied, soit avec l'avant du pied (49).

Le déplacement du bassin dans le plan frontal et sagittal ainsi que le déplacement du centre de masse dans le plan vertical et antéro-postérieur augmentent de façon directement proportionnelle avec la pente alors qu'il n'y a pas d'effet sur le déplacement médio-latéral du centre de masse (55).

Au niveau de la longueur des pas, elle est augmentée avec une plus haute intensité de marche et avec l'utilisation d'une rampe d'appui, sans différence entre la rampe latérale et antérieure. Il y a aussi une variabilité plus constante de la longueur des pas et une diminution de la largeur des pas avec la rampe d'appui (48, 49, 56, 57). De plus, une amélioration significative au niveau de la constance de la fréquence des pas et une diminution de la largeur des pas est notée avec l'utilisation de la rétroaction sonore

(58, 59). Par contre, il n'y a aucune différence significative pour la longueur et la cadence des pas avec l'utilisation d'un support partiel de poids avec harnais (52).

Au niveau de la coordination des membres inférieurs, mesurée par des analyses spécifiques de coordination dynamique et par des analyses vidéo, il y a une amélioration significative avec l'utilisation de la rétroaction sonore. De façon subjective, les patients préfèrent coordonner leur membre inférieur hémiparétique avec le rythme sonore. Par contre, l'adaptation de la coordination des membres inférieurs suite à un changement de rythme au métronome est plus spontanée avec le membre sain. Aussi, elle est plus stable avec un double métronome, c'est-à-dire sur chaque pas (58-60).

La symétrie à la marche est améliorée par l'ajout d'une pente, qui fait que les patients marchent de façon moins précipitée selon une analyse vidéo de leur marche (49). Elle est aussi améliorée par le support partiel de poids avec harnais (50, 51, 61), et par la rétroaction sonore (58). Elle peut aussi être améliorée lors de l'utilisation d'un tapis roulant immergé dans l'eau par la diminution significative de l'effet indésirable de flottaison à l'aide d'un poids au genou ou à la cheville (41).

Au niveau des forces à la cheville nécessaire à la propulsion lors du pas, il y a une diminution significative à la fin de la MEC avec 20% de support de poids et aucune différence significative à 20% synchronisé de support (52). Une étude de cas de faible validité sur l'utilisation du support partiel de poids avec harnais pour un patient hémiparétique ajoute qu'un système actif, qui module le niveau de support pendant la marche afin qu'il reste similaire, permet une plus grande génération de force à la cheville hémiparétique (61). Une autre étude de cas de faible validité montre que comparé à la marche au sol, le décollement du talon et des orteils se fait avec une plus grande accélération avec le système Lokomat (62).

Pour le temps de MEC sur chaque membre inférieur à la marche, une étude de cas de faible validité sur l'utilisation du support partiel de poids avec harnais pour un patient hémiparétique montre que tous les supports de poids ont une tendance à augmenter le temps de support sur le membre atteint, mais que seul le système actif, qui module le niveau de support pendant la marche afin qu'il reste similaire, augmente aussi le temps de pas du membre sain (61).

Au niveau des forces verticales de réactions du sol, il y a une diminution significative avec l'utilisation d'un tapis roulant avec pression positive appliquée au bas du corps, ce qui est corrélé avec une diminution de la charge sur les os et les articulations (43, 63). Une étude de cas de faible validité sur l'utilisation du tapis roulant

avec un support partiel de poids avec harnais pour un patient hémiparétique ajoute que seul le système actif, qui module le niveau de support pendant la marche afin qu'il reste similaire, produit des forces de réactions du sol normales (61).

Finalement, au niveau de la vitesse de marche, il y a une diminution significative avec la diminution de la pente du tapis roulant sous 0% (55). Aussi, une augmentation significative au niveau de la vitesse et de la cadence de marche est notée avec une rétroaction sonore à une cadence de 125% de la normale. Les auteurs n'ont pas testé plus haut que 125%. Par contre, aucun effet significatif n'est montré avec l'utilisation de la rétroaction visuelle. De plus, il y a une légère diminution de la vitesse de marche avec la combinaison des stimuli audio et visuels, dû à une trop grande demande de l'attention des patients (64).

Bref, les évidences démontrent la pertinence d'une utilisation de ces différentes modalités en clinique. Par contre, il faut faire attention à la combinaison de la rétroaction sonore et visuelle et à l'utilisation de la pression positive appliquée au bas du corps avec un haut pourcentage de support de poids lors de la marche sur tapis roulant.

### **3.3.2 Effets métaboliques et cardiorespiratoires**

Au niveau de la fonction cardiaque, la fréquence cardiaque augmente de manière corrélée avec l'augmentation de la pente, de 0% à 8% et à vitesse confortable, sans atteindre les critères d'arrêt de l'exercice, la moyenne étant de 99 bpm (49). Elle est atténuée de façon significative avec l'utilisation de la rampe d'appui (65). Elle diminue aussi avec la marche sur tapis roulant avec pression positive appliquée au bas du corps, mais il est possible de maintenir une demande métabolique normale en augmentant la vitesse de marche, ce qui permet plusieurs options de traitement selon la condition des sujets (43, 63).

La consommation d'oxygène est atténuée de façon significative avec l'utilisation de la rampe d'appui. Ainsi, il y a une différence entre les valeurs prédictives (calculées théoriquement avant la séance) et réelles (obtenues lors de la séance) de la consommation d'oxygène, laquelle atteint environ 2 METS à 95% du seuil ventilatoire. Ceci peut diminuer l'effet en endurance attendu en calculant l'intensité cible avec les METS et surestimer les améliorations des patients. Par contre, la rampe d'appui procure une sécurité au patient, peut constituer une option pour des patients ayant une condition respiratoire limitant l'exercice et la différence entre les valeurs attendues et observées peut être contrée en ajustant les calculs de METS (65).

Au niveau du système nerveux autonome, la suspension avec le système Lokomat amène un stress orthostatique comparé à la position assise, mis en évidence par une tachycardie significative, mais sans réponse autonome significative. Il y a une diminution de la modulation sympathique et une augmentation de la modulation parasympathique pendant un exercice sous-maximal à 50% de support de poids. Les réponses cardiovasculaires faibles suggèrent donc qu'il s'agirait d'un traitement approprié pour la clientèle à risque d'intolérance orthostatique ou d'épisodes de syncope (66).

Pour ce qui est des effets cardiorespiratoires et métaboliques, les évidences indiquent une applicabilité clinique de ces outils pour la réadaptation à la marche, tout en permettant plusieurs options selon la condition des patients.

### **3.3.3 Équilibre**

La stabilité dynamique est meilleure à la marche sur tapis roulant avec rampe d'appui si on se base sur des marqueurs indirects de l'équilibre comme la diminution de la variabilité des pas. La rampe d'appui procure également une assistance supplémentaire via la force et la position des membres supérieurs pour maintenir la stabilité lors de la marche sur tapis roulant (67). De plus, la stimulation électrique fonctionnelle du nerf péronéal superficiel amène un réflexe de flexion lors de la phase d'oscillation de la marche, c'est-à-dire flexion de la hanche, du genou et dorsiflexion du pied, ce qui permet au patient d'effectuer cette phase de marche efficacement. Ceci amène le patient à pouvoir maintenir sa stabilité dynamique lors de la marche sur tapis roulant sans appui avec les membres supérieurs puisqu'il utilise une bonne cinématique de marche (53, 68). Aussi, un des désavantages notés avec l'utilisation d'un tapis roulant immergé dans l'eau est l'effet de flottaison agissant sur les membres inférieurs lors de la marche, lequel déséquilibre les patients. Cet effet peut être contré avec un poids au genou ou à la cheville des patients, procurant une meilleure stabilité pendant l'entraînement (41). Les évidences sont par contre de faible validité en ce qui à trait à l'équilibre, ce qui limite la possibilité de conclure sur la praticabilité clinique de ces options pour la réadaptation à la marche.

### **3.3.4 Sensibilité profonde**

Les afférences proprioceptives sont diminuées à des hauts niveaux de support de poids partiel avec harnais et par l'utilisation d'un système de harnais limitant les

mouvements verticaux du centre de masse. En effet, cela diminue l'influence des forces verticales de réaction du sol et l'expérience de la MEC par les patients(67). Aussi, des afférences proprioceptives non typiques de la marche sur tapis roulant ou au sol sont augmentées à des vitesses de moins de 2 km/h lors de l'utilisation d'orthèses robotisées, dues à des variations du ratio de temps d'appui unipodal sur le temps d'appui bipodal et à des accélérations du pied différentes lors de l'initiation de la phase d'oscillation (62). Ces deux situations doivent donc être évitées puisqu'une bonne stimulation sensorielle est essentielle pour une réadaptation optimale de la marche, l'information sensorielle étant importante pour un bon apprentissage moteur.

### **3.3.5 Effets neurophysiologiques**

Au niveau du patron de recrutement musculaire des membres inférieurs, évalué par une analyse électromyographique, il n'y a aucune différence lors de l'ajout d'une pente ou de l'utilisation d'un tapis roulant avec pression positive appliquée au bas du corps, mais l'activité du vaste médial est diminuée à 80% de support du poids du corps (43, 49). Une étude montre aussi un meilleur recrutement du grand fessier par l'ajout d'une pente (54). Il y a également une meilleure activation du tibial antérieur par rapport aux gastrocnémiens avec l'utilisation d'un support de poids partiel avec harnais (50).

Au niveau de la perception de la douleur par les patients en post-opératoire, elle est diminuée de façon significative pour la reconstruction du ligament croisé antérieur, mais non de façon significative chez la méniscectomie, avec l'utilisation d'un tapis roulant avec pression positive appliquée au bas du corps (43).

Ainsi, pour ces modalités et au niveau des effets neurophysiologiques, les évidences appuient leur utilisation en clinique. Il faut tout de même faire attention à l'utilisation de la pression positive appliquée au bas du corps avec un haut pourcentage de support de poids lors de la marche sur tapis roulant.

### **3.4 Effets d'entraînement sur la marche**

La littérature contient de nombreuses études portant sur la marche suite à un entraînement sur tapis roulant combinant également un ou plusieurs outils ou paramètres particuliers. Ceci nous permet d'analyser les effets à court ou moyen terme d'entraînement, c'est-à-dire de l'utilisation répétée de ces différentes options sur les diverses clientèles rencontrées en réadaptation. À noter que les validités sont souvent

faibles ou modérées puisqu'il s'agit de techniques récentes et/ou en cours de développement. Les faiblesses généralement retrouvées sont des échantillons trop petits, l'absence d'aveuglement des sujets et/ou des évaluateurs et l'absence de groupe contrôle.

#### **3.4.1 Post- accident vasculaire cérébral en phase chronique**

Au niveau de la fonction générale à la marche, il y a une amélioration suite à un entraînement combiné de support partiel de poids et de stimulation électrique neuromusculaire fonctionnelle. De plus, les patients préfèrent la combinaison au traitement sur tapis roulant seul (69). Aussi, il n'y a aucune différence entre un entraînement utilisant les orthèses robotisées sur elliptique (Gait Trainer 1) et l'utilisation de la stimulation neuromusculaire fonctionnelle, les deux traitements étant supérieurs à la marche au sol (50).

Au niveau de la cinématique, un entraînement de haute vitesse sur tapis roulant n'affecte pas le maintien de la symétrie à la marche (67). La phase d'oscillation est améliorée et les gains sont maintenus au suivi de 6 mois suite à un entraînement combinant le support partiel de poids et la stimulation électrique neuromusculaire fonctionnelle (70). Aussi, la flexion du genou hémiparétique augmente suite à un entraînement avec l'utilisation de la rétroaction visuelle (71). Par ailleurs, la longueur des pas et la cadence à la marche augmentent suite à un entraînement avec une haute vitesse de marche (67). De plus, il y a une diminution du déplacement vertical du centre de masse, provenant de façon significative du membre inférieur sain et non significative du membre inférieur hémiparétique suite à un entraînement avec l'utilisation de la rétroaction visuelle (71). L'effet de la rampe d'appui sur la cinématique à la marche n'a toutefois pas été examiné de façon spécifique, la majorité des auteurs permettant aux patients de l'utiliser au besoin (67).

Au niveau de la vitesse de marche au sol, elle augmente suite à un entraînement avec une haute vitesse de marche sur tapis roulant à 20% plus rapide que la vitesse maximale initiale des patients et avec l'utilisation de la réalité virtuelle (45, 47, 72).

Au niveau des réponses cardiorespiratoires et métaboliques, l'endurance augmente suite à un entraînement avec l'utilisation d'une pente en combinaison au support de poids et avec l'utilisation de la réalité virtuelle (47, 50). La fréquence cardiaque pendant l'entraînement est plus élevée lors d'un entraînement à haute vitesse (67). Aussi, le coût et l'efficacité métabolique lors de la marche, déterminés par la

consommation d'oxygène et de dioxyde de carbone, diminuent suite à un entraînement avec une haute vitesse à 25 % plus rapide que la vitesse naturelle et par l'utilisation de la rétroaction visuelle du déplacement vertical du centre de masse, avec un maintien noté au suivi de 6 mois (67, 71).

Au niveau musculaire, l'activité des muscles des membres inférieurs augmente suite à un entraînement de haute vitesse à 25 % plus rapide que la vitesse naturelle (67) et il y a une diminution de la co-contraction des muscles de la cuisse par l'utilisation de la rétroaction visuelle (71).

Suite à un entraînement avec l'utilisation de la réalité virtuelle, on note également une amélioration de l'équilibre mesuré avec l'échelle de Berg et dans des études préliminaires à cet entraînement, une amélioration de la proprioception, ces deux aspects étant intimement reliés (47).

Au niveau neurophysiologique, il y a une possibilité d'adaptation motrice lors d'un entraînement sur tapis roulant à courroies séparées avec l'utilisation de vitesses différentes à chaque membre inférieur, c'est-à-dire que les patients modifient leur marche, laquelle devient plus symétrique. L'effet persiste peu longtemps si le traitement est de courte durée (15 min.). Les adaptations transfèrent partiellement lors de la marche au sol ce qui suggère que des circuits neuronaux partagés qui contrôlent la locomotion dans différents contextes environnementaux se sont adaptés. Le manque de transfert complet suggère en contrepartie que plusieurs aspects de la marche au sol ne sont pas influencés par les adaptations sur le tapis roulant. Ce traitement est donc efficace, s'il est effectué sur une longue durée et répété plusieurs fois, pour la réadaptation du patron de marche asymétrique (44).

Au niveau cognitif, il y a une amélioration, pendant et après l'entraînement, de l'apprentissage, du plaisir et une diminution de la perception de l'effort par les patients suite à un entraînement sur tapis roulant avec l'utilisation de la réalité virtuelle (47).

Pour terminer, au niveau des évidences sur cette clientèle, toutes les études soutiennent l'utilisation de ces différentes modalités en clinique. Les études ont une validité interne et externe faible à modérée, mais leurs résultats sont similaires à ceux des trois revues systématiques incluses dans cette analyse.

### **3.4.2 Lésion médullaire incomplète**

Pour cette clientèle, la combinaison utilisée lors d'un entraînement à la marche est le tapis roulant combinant le support partiel de poids et la stimulation électrique

neuromusculaire fonctionnelle. Au niveau de la fonction à la marche, la coordination des membres inférieurs à la marche et la vitesse de marche sur le tapis roulant et au sol sont améliorées (73, 74). Ces résultats ont une validité interne et externe faibles et en contrepartie, une revue systématique arrive à la conclusion qu'il n'y a pas d'augmentation de la vitesse de marche et qu'il n'y a pas assez d'évidences pour conclure qu'un traitement est plus efficace qu'un autre sur le tapis roulant et à la marche au sol (75). Ceci limite l'utilisation de cette modalité en clinique.

Au niveau des réponses cardiorespiratoires et métaboliques, l'endurance à la marche et la capacité fonctionnelle sont améliorées et les gains sont maintenus au suivi. De plus, il y aurait des effets positifs sur la composition du système osseux. Aussi, un certain degré d'activité sympathique contribuerait aux meilleures réponses cardiovasculaires qui mènent aux adaptations cardiorespiratoires suite à l'entraînement (73, 76). Par ailleurs, dans une étude chez les patients quadriplégiques complets, on note une augmentation des réponses cardiovasculaires et métaboliques et une augmentation du retour veineux et du volume sanguin. Ceci s'observe malgré la déficience autonome et la paralysie des muscles extenseurs de la marche normalement impliqués dans la pompe musculaire du réseau veineux (77). La validité interne et externe de ces résultats varie de faible à modérée.

Au niveau de la force musculaire des membres inférieurs et d'un de ses marqueurs, i.e. la mesure de la surface de coupe transversale du quadriceps, il y a une augmentation notée et les gains sont maintenus au suivi (73, 78, 79). La validité interne est externe de ces résultats varie de faible à modérée.

Ainsi, l'utilisation de cette modalité en clinique est limitée pour l'obtention de gain au niveau cinématique par rapport à la marche au sol, mais la littérature soutient son utilisation au niveau cardiorespiratoire, métabolique et musculaire.

### **3.4.3 Maladie de Parkinson**

Au niveau de la cinématique de la marche, il y a une amélioration des longueurs de pas et des amplitudes articulaires des hanches et chevilles, évalués par une analyse biomécanique de la marche, suite à un entraînement à haute vitesse pour atteindre une intensité de plus de 3 METS sur tapis roulant et par l'utilisation de rétroaction sonore et visuelle (80, 81). De plus, il y a une diminution du « freezing » et une augmentation de la distance de marche avec un entraînement incluant la rétroaction, évalués par le « Freezing of Gait Questionnaire » et le test de marche de 6 minutes (81). Aussi, la



symétrie et la performance à la marche augmentent suite à un entraînement à haute vitesse, évaluées par le « Unified Parkinson's Disease Rating Scale » (80). Finalement, une amélioration de la vitesse de marche au sol est notée suite à un entraînement à haute vitesse sur le tapis roulant et par l'utilisation des repères sonores et visuels (80, 81). La validité interne et externe de ces deux essais randomisés varie de faible à modérée, mais les résultats vont dans le même sens, soit que ces modalités sont cliniquement applicables et bénéfiques.

#### **3.4.4 Maladie coronarienne**

Pour cette clientèle, un essai randomisé de validité interne modérée obtient des résultats sur la relaxation diastolique du myocarde et la consommation maximale d'oxygène. Elles sont meilleures suite à un entraînement de haute vitesse sur tapis roulant, ajustée pour atteindre 80% à 90% de la consommation d'oxygène de pointe (82). La validité externe est modérée et les résultats ne permettent pas de conclure à la supériorité de cette modalité par rapport à d'autres traitement de marche.

#### **3.4.5 Arthrite rhumatoïde**

Pour cette clientèle, une étude comparative de validité interne et externe faible étudie le coût métabolique pendant un entraînement avec l'utilisation d'un tapis roulant immergé dans l'eau. Ce coût augmente, mais les réponses physiologiques sont similaires à un entraînement traditionnel sur tapis roulant, c'est-à-dire que la consommation d'oxygène, la fréquence cardiaque et la perception de l'effort augmentent (83). Les résultats ne démontrent pas la supériorité d'une telle modalité par rapport à d'autres traitements de marche, ce qui limite sa pertinence en clinique.

#### **3.4.6 Obésité**

Un essai clinique randomisé de validité interne moyenne s'est penché sur la clientèle obèse. Il y a des gains à la marche sans différence significative suite à un entraînement sur le tapis roulant immergé dans l'eau comparé au tapis roulant conventionnel. Le tapis roulant immergé dans l'eau est donc une bonne alternative car l'immersion diminue les contraintes articulaires et myotendineuses dues au surplus de poids. La validité externe est modérée et la pertinence en clinique est limitée puisque les bienfaits proviennent seulement de l'hydrothérapie (84).

### **3.4.7 Personnes âgées à risque de chutes**

Pour cette clientèle, une amélioration de l'équilibre est notée suite à un entraînement avec l'utilisation d'un tapis roulant à courroies séparées, utilisé pour induire des perturbations en décélération d'un membre inférieur lors de la marche. Il a été mesuré par la moyenne du temps d'appui unipodal droit et gauche et par le « Functional Reach Test ». Il n'y a aucune différence significative au niveau du taux de chute au suivi 6 mois post-traitement, mais en moyenne la première chute arrive plus tardivement (85). La validité interne et externe de ces résultats est modérée.

### **3.4.8 Paralysie cérébrale**

Pour cette clientèle, un traitement intensif sur tapis roulant est utilisé dans différentes études. Pour les 3 études, cela revient à un total équivalent, soit 24 sessions de 30 minutes ou 12 sessions de 1 heure. Les enfants ne reçoivent aucune autre intervention pendant cette période. La validité interne et externe de ces études préliminaires est faible, mais les résultats sont positifs et comparables, ce qui tend à démontrer la pertinence en clinique de cette modalité.

Les habiletés motrices debout et à la marche et la vitesse de marche augmentent, les gains étant maintenus au suivi à 1 mois. L'endurance et l'équilibre augmentent également. Aussi, une augmentation au niveau de la sphère psychosociale de la perception de la qualité de vie par les enfants et au niveau de la sphère physique de la perception de la qualité de vie par les parents chez leurs enfants. Finalement, il y a une diminution de la perception de la fatigue par les enfants, mais une augmentation de la perception de la fatigue pour les parents. Les mesures incluaient le « Gross Motor Function Measure », le test de marche de 10 mètres et de 6 minutes, le test d'équilibre unipodal et d'autres évaluations standardisées pour cette clientèle (86-88).

### **3.4.9 Syndrome de Down**

Pour cette clientèle, les effets d'un entraînement intensif sur tapis roulant ont été étudiés par deux essais cliniques randomisés. L'intensité était progressée par la vitesse du tapis roulant de 0,15 m/s à 0,30 m/s, par les durées des séances de 8 à 12 minutes par jour et par l'ajout de poids aux chevilles. Les résultats sont contradictoires sur l'atteinte à un plus jeune âge de la marche et sur les améliorations au niveau de la qualité de la marche (89, 90). Les deux études sont de validité interne et externe

modérée et ne nous permettent pas de ressortir une conclusion claire à savoir si l'intervention est mieux qu'une autre pour cette clientèle en clinique.

#### **3.4.10 *Désordres neurologiques variés chez l'enfant***

Chez les enfants ayant des désordres neurologiques variés, un essai clinique randomisé décrit que suite à un entraînement à la marche sur tapis roulant avec l'utilisation de la réalité virtuelle, il y a une amélioration de la mobilité, des habiletés cognitives et du plaisir en général, mais les évidences analysées sont faibles et les données sont majoritairement subjectives. Ainsi, on ne peut conclure sur l'applicabilité clinique de cette modalité émergente (46).

#### **3.4.11 *Alitement et microgravité***

Dans différentes études, les effets d'un déconditionnement suite à un séjour dans l'espace ou suite à un alitement ont été trouvés semblables. Plusieurs auteurs ont donc étudié les effets d'un entraînement sur tapis roulant en décubitus dorsal avec l'utilisation d'un système à pression négative sur le bas du corps chez des patients alités entre 28 et 60 jours (91-93). Les réponses cardiovasculaires et musculosquelettiques sont semblables à un exercice debout avec gravité et cet entraînement permet de prévenir plusieurs effets du déconditionnement associés avec l'alitement au niveau de la tolérance orthostatique, du volume plasmatique, de la capacité à l'exercice debout, de la longueur spinale et de la force musculaire des membres inférieurs (92). Il permet aussi une amélioration de la densité osseuse (93). Cet entraînement procure également une amélioration au niveau vertébral en procurant une charge axiale. En effet, en comparaison avec les effets néfastes de la microgravité ou de l'alitement, l'augmentation de la longueur vertébrale est significativement moindre, seulement les 3 premiers disques lombaires ont augmenté en hauteur et une diminution non significative de la lordose lombaire est notée (91). Par contre, de futures études doivent analyser tous ces effets de façon plus spécifique, puisque les validités internes et externes de ces résultats sont faibles à modérées, ce qui limite la possibilité de conclure sur l'application en clinique.

#### **3.4.12 *Sujets sains***

Au niveau de l'équilibre, une étude de faible validité interne chez les sujets sains aborde une limite à l'utilisation du support de poids, concernant la diminution du besoin

du contrôle de l'équilibre par les ajustements posturaux lors de la marche normale. L'utilisation du tapis roulant en décubitus dorsal dans un environnement tourné à 90 degré est une solution qui permet les ajustements posturaux naturels et des améliorations subjectives et objectives au contrôle postural après l'entraînement ainsi qu'une amélioration significative de l'équilibre médiolatéral. Un autre avantage est qu'il permet un entraînement de l'équilibre sans risque de chute tout en augmentant la confiance des patients à la marche et en diminuant leur peur de chuter, ce qui améliore leur qualité de vie (42). Par contre, un tel système implique que les patients soient en appui au niveau du dos, ce qui limite la mobilité normale à la marche. Alors, les améliorations au niveau de l'équilibre pourraient être secondaires à l'entraînement musculaire davantage qu'à l'utilisation d'un tel accessoire. Cette ambiguïté limite donc l'utilisation en clinique de cet outil.

En somme, l'ensemble des résultats indique que le tapis roulant combiné avec plusieurs paramètres particuliers et outils dans le but de bonifier la réadaptation à la marche s'avère plus ou moins applicable, compte tenu du contexte clinique. De façon générale, les données semblent indiquer des avantages à leur utilisation. Par contre, il importe de penser à l'espace disponible et au budget des milieux cliniques, au personnel requis pour appliquer les différentes modalités et aux besoins spécifiques des patients.

#### **4. La marche sur tapis roulant en réadaptation: revue des évidences concernant l'entraînement sur la modalité seule et en combinaison avec un support de poids ou des orthèses robotisées chez différentes populations**

*~Myriam Thibault~*

Les traitements utilisant le tapis roulant, de par leur popularité grandissante, ont fait l'objet de plusieurs études récentes chez différentes populations. Malgré la variabilité importante des protocoles employés lors de ces recherches, il demeure pertinent de prendre une vue d'ensemble des résultats pour chacune des populations étudiées afin de déterminer l'efficacité générale de la marche sur tapis roulant dans le traitement de différentes atteintes. Cette information permettrait ainsi de guider les milieux cliniques dans le choix des modalités de traitement pour leurs patients et pour la mise en place

d'interventions utilisant le tapis roulant. Dans le but de rapporter les applications possibles de l'utilisation du tapis roulant, seul et en combinaison avec un support de poids ou des orthèses robotisées, et leur éventuelle efficacité, une revue de la littérature a été effectuée. En premier lieu, la stratégie de recherche sera présentée. En second lieu, les résultats pour chacune des clientèles ressorties lors de la recherche d'articles seront présentés ainsi qu'une courte analyse de l'applicabilité clinique de ces derniers.

#### 4.1 Stratégie de recherche

Une recherche a été effectuée afin de faire ressortir le plus grand nombre d'articles possible portant sur la réadaptation de la marche sur tapis roulant. La recherche a été effectuée entre le 25 et le 31 octobre 2010. Les mots clés employés étaient : « treadmill », « physiotherapy », « rehabilitation » et « physical therapy modalities ». Les limites appliquées étaient des articles en français ou en anglais, sur une population humaine et datant de l'an 2000 ou plus récents. Les moteurs de recherche employés sont MEDLINE, Embase, CINAHL, PEDro et Cochrane Database of Systematic Reviews. Un total de 171 articles ont été sélectionnés à la suite de la lecture des résumés. Afin d'alléger la tâche de lecture d'articles, ceux qui étaient déjà analysés dans une revue systématique de littérature n'ont pas été lus et inclus dans la présente revue. Les articles portant sur les effets immédiats de la marche sur tapis roulant feront l'objet d'une autre section de même que les articles abordant des accessoires autres que le support de poids ou les orthèses robotisées. Seuls les articles portant sur les effets de l'entraînement (participation structurée à plusieurs séances dans un but de maintenir ou d'améliorer les performances de marche) sur tapis roulant seul, ou en combinaison avec un support de poids ou une orthèse robotisée font l'objet de cette section. Les articles sélectionnés devaient inclure des résultats sur la qualité de la marche ou encore sur des paramètres reliés à cette activité, sans toutefois avoir obligatoirement un but visant l'amélioration de la marche. Parmi les 171 articles trouvés, 77 se sont avérés pertinents et ont été retenus pour cette revue de littérature. Un total de 22 revues de littératures, incluant 10 revues Cochrane et neuf méta-analyses, font partie de ces articles. Les articles rejetés ne relataient pas les résultats d'une expérience déjà réalisée ou ne répondaient pas aux critères précédemment énoncés, par exemple, étaient inclus dans une revue de littérature sélectionnée ou abordaient des effets instantanés de la marche sur tapis roulant.

## 4.2 Résultats selon l'atteinte ou le type de population étudiée

### **4.2.1 Accident vasculaire cérébral**

Un total de 21 articles (50, 72, 94-111) ont été retenus pour la population ayant subi un accident vasculaire cérébral (AVC), incluant six revues de littératures, dont trois revues Cochrane et trois revues avec des méta-analyses. On compte aussi six essais cliniques randomisés (ECR). Les autres articles, présentant des devis différents, étaient d'un niveau de preuve inférieur. Parmi ces articles, plusieurs constatent une tendance à l'augmentation de la vitesse de marche suite à l'entraînement sur tapis roulant, avec support de poids (50, 94, 103, 105, 106, 108) ou sans support de poids, mais avec appui permis sur une rampe (72, 99, 100). L'étendue de cette amélioration va d'environ 0,09 m/s à 0,2 m/s de plus qu'un groupe contrôle s'entraînant dans la plupart des cas à la marche au sol assistée. Cette tendance est observable malgré la grande hétérogénéité des protocoles employés pour l'entraînement. Ces derniers duraient entre 10 et 80 minutes par séance, de 2 à 6 fois par semaine pendant 3 semaines à 6 mois. La vitesse initiale variait aussi beaucoup et était souvent ajustée en fonction des capacités du patient, avec une progression au fil des séances. Le support de poids initial quant à lui ne dépassait pas 40 % de la masse corporelle, avec une tendance à le diminuer au cours des entraînements.

De plus, l'entraînement sur tapis roulant avec support partiel de poids occasionnerait une plus faible dépense énergétique que la marche au sol, permettant un début précoce de l'entraînement en aigu (50). Aussi, le tapis roulant avec support de poids permettrait une plus grande distance de marche maximale suite à l'entraînement que la marche au sol (94, 109). Des résultats semblent indiquer que le tapis roulant utilisé sans support de poids mais avec un appui permis sur une rampe serait aussi efficace pour augmenter la distance de marche (99, 100).

Par ailleurs, l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids permettrait d'augmenter l'indépendance à la marche, et son apparition plus hâtive par rapport à un groupe ne s'étant pas entraîné sur tapis roulant (94, 95), ainsi qu'une meilleure capacité à la marche (109), ce qui permet de réfuter les résultats mentionnant que l'entraînement sur tapis roulant diminue la catégorie fonctionnelle des patients (107). Une tendance à l'amélioration de l'équilibre mesurée au test de Berg (104, 108) et une tendance à la diminution des chutes (94) serait aussi un des avantages à utiliser le tapis roulant avec support de poids.

Au niveau des changements physiologiques, l'entraînement sur tapis roulant permettrait d'obtenir un seuil moteur plus bas des principaux muscles impliqués dans la marche, une plus grande représentation motrice cérébrale (111) et une tendance à l'épaississement cortical des os du membre inférieur parétique (105).

Malgré tous ces résultats qui semblent favoriser l'utilisation du tapis roulant, les résultats d'une revue systématique de la littérature indiquent qu'il n'existe pas de différence entre l'entraînement sur tapis roulant avec ou sans support de poids seul ou en combinaison avec d'autres modalités (103). D'autres études appuient ces résultats (96, 110).

La clientèle post-AVC est probablement la plus étudiée en ce qui a trait à l'utilisation du tapis roulant pour la réadaptation à la marche. Une bonne quantité d'articles, dont certains d'assez bonne qualité méthodologique, permettent d'avoir un échantillon de patients assez grand. Malgré tout, peu de résultats démontrent qu'il s'agit d'une modalité supérieure aux autres. La modalité n'apparaît pas néfaste, ni dangereuse, et la tendance des résultats est à l'amélioration des paramètres de la marche tels que la vitesse et l'endurance. D'autres avantages semblent aussi présents au niveau de l'indépendance et du retour précoce à la marche, sans compter l'avantage de ne pas avoir à marcher dans les corridors des institutions ou à l'extérieur, donc dans un environnement plus standardisé et certainement plus sécuritaire. C'est pourquoi le tapis roulant devrait être appliqué chez la clientèle post-AVC en clinique lorsque les installations le permettent. De plus, les paramètres de l'entraînement devront faire l'objet d'études afin d'être standardisés pour les différents degrés d'atteinte et les différents niveaux de récupération post-AVC, puisque les paramètres employés dans les différentes études varient grandement.

Par ailleurs, cinq articles ont étudié l'utilisation du tapis roulant avec support de poids en combinaison avec une orthèse robotisée (50, 94, 97, 101, 102) chez la clientèle post-AVC, dont deux revues de littérature et un ECR. Des résultats indiquent que ce traitement serait plus efficace que la physiothérapie conventionnelle dans la réadaptation de la marche et qu'il augmenterait les chances d'acquiescer la marche indépendante (101, 102). De plus, il permettrait d'augmenter la vitesse de marche (94), la capacité à la marche, la distance de marche (94, 97) et l'équilibre mesuré au test de Berg (97)

Par contre, l'activation musculaire au cours des phases de la marche serait réduite pour les fléchisseurs et extenseurs de la cheville, et déphasé pour les fléchisseurs et extenseurs du genou (50), ce qui laisse présager de certains effets néfastes de l'entraînement avec une orthèse robotisée en combinaison avec le tapis roulant avec support de poids partiel sur le patron de marche.

Les études portant sur les orthèses robotisées sont encore peu nombreuses, et de faible qualité méthodologique. De plus, l'échantillon total de patients étudiés demeure trop petit pour permettre une bonne généralisation. Toutefois, il demeure pertinent d'étudier davantage cette modalité, puisque certains résultats semblent prometteurs. Les milieux cliniques devraient attendre plus d'évidences avant d'entreprendre systématiquement une réadaptation à la marche avec une orthèse robotisée sur tapis roulant avec support de poids, d'autant plus que le coût d'une telle orthèse est très élevé.

Finalement, des résultats ont permis d'observer une amélioration de la performance physique chez le cas particulier du « locked-in syndrom » ou syndrome de verrouillage post-AVC suite à un entraînement sur tapis roulant avec support de poids (98). Seulement neuf patients ont été étudiés, rendant les résultats peu généralisables. Toutefois, le traitement sur tapis roulant avec support de poids peut être inclus de façon sécuritaire dans la réadaptation des patients ayant un syndrome de verrouillage. D'autres études sont nécessaires pour valider l'utilité clinique chez cette clientèle particulière.

#### **4.2.2 Lésion médullaire**

Pour la population blessée médullaire (BM), un total de 19 articles pertinents (97, 112-129) ont été analysés dont une revue de littérature Cochrane et une revue de littérature autre. Les 17 autres études ont un devis autre avec un niveau de preuve moins élevé. Une grande variabilité des résultats obtenus par les différentes études est observée, ce qui s'explique peut-être en partie par les paramètres d'entraînement très hétérogènes. Ces derniers duraient entre 30 et 60 minutes, de deux à sept fois par semaine pour deux à 15 mois. La vitesse initiale et la quantité de support de poids varient grandement d'une étude à l'autre, et sont souvent basées sur les capacités individuelles de chaque patient.



Suite à un entraînement sur tapis roulant avec support de poids partiel, une augmentation de la vitesse de marche (113, 118, 124, 126) de l'ordre d'environ 0,07 m/s à 0,38 m/s au total ainsi qu'une amélioration de la cinématique de marche (114, 125) sont observées. Une amélioration fonctionnelle est aussi notée (mesurée avec la Wernig Walking Scale et le Walking Index for Spinal Cord Injury) (117, 124) de même qu'une augmentation de la régularité des mouvements à la hanche et aux genoux (114).

Chez les lésions complètes et incomplètes, on note l'apparition d'une hypertrophie musculaire, une augmentation de la taille des fibres musculaires (112, 115) et une augmentation de la proportion de fibres de type I par rapport aux fibres de type II suite à l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids (112). L'entraînement semble aussi se répercuter au niveau de la condition physique des patients en diminuant leur demande ventilatoire à l'effort (122), en augmentant la masse maigre (115), en diminuant la fréquence cardiaque au repos (123) et en diminuant le taux de cholestérol sanguin (124). D'autres études démontrent des changements au niveau du système nerveux central, notamment une réorganisation neurale sus et sous-lésionnelle (116) et une augmentation de l'activation corticale et cérébelleuse (119).

D'autre part une revue systématique de littérature Cochrane, contredit ces résultats en soutenant que l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids n'apporterait pas d'améliorations statistiquement significatives de la marche (120). Une autre étude mentionne que la pratique de tâches spécifiques telles que marcher sur des terrains inégaux et franchir des obstacles serait aussi efficace, voir plus que la marche sur tapis roulant (121).

Ces résultats disparates découlent, en plus de la variabilité des protocoles utilisés dans les différentes études, de la très grande différence fonctionnelle et pronostique entre les différentes classes de lésions médullaires. La plupart des résultats proviennent d'études de faible qualité méthodologique, avec un petit échantillon et une absence de groupe contrôle. La validité interne et externe des résultats est donc limitée. De plus, les contradictions dans les résultats témoignent de l'importance d'effectuer de nouvelles études de bonne qualité afin de clarifier l'utilité du tapis roulant dans le traitement de la population BM. Des protocoles standardisés devront aussi être établis pour guider les cliniciens dans l'application de cette modalité. Pour le moment, les évidences ne montrent pas d'effet néfaste à l'utilisation du tapis roulant et démontrent en général qu'il serait au moins aussi efficace que la physiothérapie conventionnelle. Dans

cette optique, les milieux cliniques qui disposent des installations peuvent utiliser le tapis roulant avec support de poids chez la clientèle BM.

Par ailleurs, un total de cinq articles ont étudié l'utilisation d'une orthèse de marche robotisée en combinaison avec le tapis roulant avec support de poids (97, 122, 127-129). Tout comme pour la clientèle AVC, la modalité permettrait d'augmenter la capacité à la marche, la distance de marche et l'équilibre mesuré au test de Berg (97). La vitesse et l'endurance à la marche seraient aussi augmentées suite à un entraînement. Le risque de chute interprété des résultats au *Timed Up and Go* serait quant à lui diminué (129). D'autres améliorations au niveau de la stabilité posturale et de la fonction sembleraient possibles en combinant l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids avec une orthèse robotisée et avec assistance manuelle (127). Une dernière étude mentionne simplement que la modalité serait applicable chez un patient ayant une lésion de la moelle épinière entraînant un syndrome de Brown-Sequard (128).

L'utilisation de l'orthèse robotisée chez la clientèle BM a fait l'objet de peu d'études à ce jour. Ces dernières sont de faible qualité méthodologique, et donc les résultats sont peu généralisables. Toutefois, les résultats impliquant l'orthèse robotisée semblent tous positifs, ce qui laisse croire que de meilleures études obtiendraient des résultats similaires. En attendant de nouvelles évidences, les orthèses de marche robotisées peuvent être utilisées en clinique chez la clientèle BM, mais ne devraient pas remplacer d'autres modalités faisant partie d'une bonne pratique chez cette clientèle.

#### **4.2.3 Paralysie cérébrale**

Pour la population atteinte de paralysie cérébrale, neuf articles (86, 130-137) se sont avérés pertinents. Parmi ces articles, on compte trois revues de littérature et un ECR. Les cinq autres articles ont des devis différents et sont donc d'un niveau de preuve moindre. Les conclusions des articles sont que l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids tend à augmenter la vitesse de marche (132-136). L'entraînement sur tapis roulant avec support de poids permet également d'améliorer la capacité motrice grossière des patients atteints de paralysie cérébrale (132, 136). Malgré que des études indiquent une amélioration de l'endurance à la marche sur le tapis roulant (133, 137), principalement suite à un entraînement de haute intensité (134), les acquis ne semblent pas se transférer à la marche au sol (137). On mentionne même une détérioration de la marche au sol dans le groupe s'étant entraîné sur le tapis roulant

(137). Par ailleurs, d'autres résultats témoignent d'améliorations de la qualité de vie et de la participation (86).

En règle générale, la qualité des articles analysés est moyenne et plusieurs erreurs méthodologiques sont présentes dans les protocoles choisis, telles que des groupes comparés qui étaient statistiquement différents au départ (137) et une population étudiée formée en partie de cas autres que la paralysie cérébrale (132). De plus, les résultats semblent se contredire dans quelques cas, probablement encore une fois, à cause de la très grande variabilité des protocoles employés. La grande différence dans l'âge des patients pourrait aussi être en cause, l'étendue allant de 1 an au début de l'âge adulte dans certaines études. Bref, les résultats sont encore très disparates et de nouvelles études de bonne qualité méthodologique devront être faites avant de tirer des conclusions sur l'utilité du tapis roulant dans le traitement des patients atteints de paralysie cérébrale. Les études actuelles permettent au moins de démontrer la faisabilité d'une telle technique chez cette clientèle.

En ce qui a trait à l'utilisation des orthèses de marche robotisées en combinaison avec le tapis roulant avec support de poids, des résultats indiquent qu'il s'agit d'une modalité sécuritaire chez la clientèle pédiatrique atteinte de troubles de marche, notamment la clientèle atteinte de paralysie cérébrale (130). D'autres résultats indiquent que suite à l'entraînement à l'aide de l'orthèse robotisée, il a eu amélioration de la vitesse de marche, de la capacité motrice grossière et de l'endurance à la marche (131) chez des patients entre autres atteints de paralysie cérébrale.

Il y a peu d'études ayant étudié l'utilisation des orthèses de marche robotisées chez la clientèle atteinte de paralysie cérébrale. De ce fait, il est impossible de généraliser les résultats, d'autant plus que les groupes étudiés ne comportaient pas seulement des sujets atteints de cette pathologie et que leur qualité méthodologique était assez faible. D'autres études sont donc nécessaires avant d'utiliser d'emblée cette modalité en clinique.

#### **4.2.4 Traumatisme crânio-cérébral**

Pour la population ayant subi un traumatisme crânio-cérébral (TCC), un total de cinq articles (97, 138-141) ont été retenus, incluant un seul ECR et quatre articles ayant des devis apportant un niveau d'évidence moins important. Des résultats mentionnent que l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids serait équivalent à

l'entraînement en marche libre avec aides techniques en ce qui a trait à la vitesse de marche, les deux méthodes n'ayant pas augmenté de façon significative ce paramètre (141). D'autre part, l'asymétrie de la marche aurait augmenté dans le groupe utilisant le tapis roulant avec support de poids, contrairement au groupe de marche au sol où une diminution de l'asymétrie aurait été notée (141). En contrepartie, des effets positifs ont été observés suite à l'entraînement sur tapis roulant. Notamment, ces améliorations étaient perçues au niveau de la force musculaire des membres inférieurs (138). Au niveau de la capacité aérobique, on note une augmentation de la charge de travail maximale atteinte, de la consommation maximale d'oxygène, de la saturation maximale de l'hémoglobine en oxygène, de la fréquence ventilatoire au repos et de la fréquence cardiaque au repos (139). De plus, une amélioration de la performance fonctionnelle à la marche, de la distance de marche maximale et de la distance de marche avec assistance minimale ont aussi été notées (140).

Il est intéressant de mentionner que certains paramètres semblent améliorés par l'entraînement sur tapis roulant alors que d'autres sont détériorés. Toutefois, les résultats de ces études sont difficilement généralisables, de par leur qualité méthodologique faible à moyenne et la petite taille de l'échantillon évalué. Avant de conclure sur l'efficacité du tapis roulant dans la réadaptation des cas de TCC, d'autres études de qualité devront être faites afin de démontrer clairement les avantages et inconvénients de l'utilisation d'une telle modalité. Pour l'instant, les cliniciens devraient employer d'autres méthodes ou inclure avec précaution cette modalité à leurs traitements.

L'utilisation d'une orthèse robotisée a fait l'objet d'une étude de faisabilité qui mentionne qu'il s'agit d'une modalité réalisable chez une clientèle sévèrement atteinte et qu'elle permettrait d'augmenter la fonction et l'équilibre mesuré par l'échelle de Berg (97). D'autres résultats devront être obtenus avant de pouvoir conclure sur l'efficacité de cette modalité. Toutefois, il s'agit d'une avenue intéressante pour de futures études.

#### **4.2.5 Maladie de Parkinson**

Pour la population atteinte de la maladie de Parkinson, quatre articles (142-145) ont été retenus, incluant une revue de littérature Cochrane avec une méta-analyse et une revue de littérature autre. Les deux autres articles avaient un devis différents apportant un niveau d'évidence inférieur. Les résultats des articles démontrent que

l'entraînement sur tapis roulant augmenterait la vitesse de marche chez les patients atteints de la maladie de Parkinson (142-144). De plus, la longueur des pas (142, 143) et la distance de marche (143, 145) seraient aussi augmentées. L'entraînement sur tapis roulant n'augmenterait pas les risques de chuter (143), et diminuerait même la peur de tomber chez les patients (142). Aussi, on note une amélioration de la qualité de vie des patients (142, 144). Il y aurait préservation des acquis à quatre mois post intervention (142). Des effets cardiorespiratoires positifs sont par ailleurs reportés (144).

Les études analysées sont en général de qualité méthodologique modérée et comportent de petits échantillons, rendant la validité des résultats obtenus limitée. Plusieurs études démontrent toutefois les mêmes résultats, sans contradiction, ce qui laisse présager de la tendance que prendraient de futures ECR de bonne qualité. En attendant ces études, le tapis roulant peut être utilisé de façon sécuritaire en clinique. D'ailleurs, des résultats indiquent que cette modalité n'augmente pas le risque de chute (143) et qu'elle est sécuritaire du point de vue cardiovasculaire (142).

#### ***4.2.6 Maladie artérielle périphérique et claudication intermittente***

Pour la population atteinte de maladie artérielle périphérique (MAP), un total de trois articles (146-148) ont été analysés, incluant deux revues de littérature Cochrane avec des méta-analyses et un ECR. D'après ces articles, l'entraînement physique, qui incluait de la marche sur tapis roulant entre autres, serait plus efficace pour augmenter la distance maximale de marche et la distance de marche sans douleur qu'un placebo ou qu'un traitement différent (marche libre non supervisée ou physiothérapie conventionnelle) (147, 148). Ces améliorations se maintiendraient dans le temps après la fin du traitement (148). De plus, l'entraînement physique serait plus efficace pour augmenter la distance de marche que l'entraînement en résistance et que l'absence d'entraînement. Aussi, l'entraînement sur tapis roulant d'une intensité près des symptômes douloureux maximaux ou équivalent au niveau 12 à 14 sur l'échelle de perception de l'effort de Borg en l'absence de douleur amènerait une amélioration de la dilatation débit-dépendante de l'artère brachiale et une amélioration de la qualité de vie par rapport à l'absence d'entraînement. Une amélioration vasculaire systémique réduisant les risques cardiovasculaires est aussi notée suite à l'entraînement (146).

Les résultats proviennent d'articles d'assez bonne qualité méthodologique générale, toutefois, la validité externe demeure assez basse compte tenu des protocoles

qui incluait des groupes d'activité physique générale, et non seulement d'entraînement sur tapis roulant. Dans le cas d'une des revues systématiques de littérature (148), on mentionne que l'entraînement sur tapis roulant était l'intervention la plus commune pour le groupe « exercice supervisé », mais on ne peut tout de même pas conclure avec certitude que le tapis roulant est supérieur aux autres modalités. Ainsi, des études de bonne qualité avec des protocoles différenciant le tapis roulant des autres modalités seraient nécessaires pour confirmer l'utilité et l'efficacité clinique du tapis roulant chez la clientèle atteinte de MAP. En attendant, l'activité physique que procure un entraînement sur tapis roulant est un traitement de choix pour la MAP, donc il est pertinent de l'utiliser en clinique, en combinaison avec d'autres traitements.

#### **4.2.7 Fracture et arthroplastie de la hanche**

Pour la population ayant subi une fracture de la hanche, trois articles (149-151) se sont avérés pertinents, dont une revue de littérature Cochrane. Les deux autres articles ont des devis différents s'avérant être d'un niveau de preuve inférieur. Les résultats indiquent que la réadaptation à la marche sur tapis roulant avec support de poids serait réalisable pour la clientèle post-fracture de la hanche (150), incluant pour les personnes souffrant de démence (149). De plus, une meilleure mobilité était observée post entraînement, mais de façon non significative. Un plus petit nombre de participants au tapis roulant ont échoué à regagner leur niveau de mobilité pré-fracture (151).

Les études analysées sont de moyenne à bonne qualité méthodologique. D'autres études confirmant l'efficacité de la modalité seraient nécessaires avant de l'inclure systématiquement aux programmes cliniques post-fracture de la hanche, bien qu'elle semble sécuritaire à appliquer en clinique

Par ailleurs, une revue de littérature aborde la clientèle ayant subi une arthroplastie de la hanche (152). Les résultats indiquent que l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids a permis de diminuer la douleur et d'augmenter la distance de marche maximale au *Hip Harris Score* et que cette amélioration s'est maintenue 12 mois post-intervention. Le déficit d'extension à la hanche, la symétrie à la marche, la force des abducteurs de la hanche et l'activité du moyen fessier étaient tous meilleurs dans un groupe entraîné sur tapis roulant. L'article suggère aussi que la

stabilité de la prothèse pourrait être augmentée par l'entraînement précoce sur tapis roulant avec support de poids.

La validité de ces résultats est par contre assez limitée, étant donné les erreurs méthodologiques présentes dans l'étude, telles qu'un groupe contrôle qui ne recevait aucun entraînement à la marche. Ainsi, les résultats obtenus sont probablement dus au fait de marcher, et non particulièrement à l'utilisation du tapis roulant. De plus, la validité et l'applicabilité clinique sont faibles vu la petite taille de l'échantillon total de patients étudiés par ce seul article. En contrepartie, l'article démontre que l'entraînement sur tapis roulant est réalisable pour la clientèle venant de subir une arthroplastie de la hanche. La sécurité demeure à évaluer puisque l'étude mentionne un décès qui pourrait être attribuable au port du harnais lors de l'entraînement.

#### **4.2.8 Sclérose en plaques**

Pour la population atteinte de sclérose en plaques, deux articles se sont avérés pertinents (153, 154), le plus haut niveau d'évidence provenant d'un essai croisé randomisé. Les conclusions ressortant de ces études sont que l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids serait équivalent à l'entraînement sur tapis roulant combiné à l'utilisation d'une orthèse robotisée Lokomat pour améliorer la vitesse et la distance de marche. De plus, les améliorations se maintiendraient dans le temps, malgré une courte période d'entraînement (3 semaines) (154). L'équilibre, la spasticité, la force musculaire et l'endurance générale sembleraient aussi être améliorés suite à l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids (153).

Ces résultats sont issus d'études de qualité méthodologique moyenne, réduisant leur validité et donc leur applicabilité en clinique. L'absence de groupe contrôle ne nous permet pas de conclure à l'effet du traitement par rapport au cours naturel de la maladie. D'autres études de bonne qualité devront être effectuées pour augmenter la validité externe de ces résultats et pour démontrer leur applicabilité clinique. Les cliniciens, s'ils décident d'utiliser le tapis roulant avec support de poids, avec ou sans orthèse robotisée, devront le faire avec précaution et en combinaison avec d'autres modalités efficaces tant que de nouveaux résultats ne viendront pas confirmer son efficacité.

#### **4.2.9 Maladie pulmonaire obstructive chronique**

Pour la population atteinte de maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC), deux articles (155, 156) se sont avérés pertinents, le plus haut niveau d'évidence

provenant d'un ECR. Dans un des articles, on mentionne que les deux groupes, l'un s'étant entraîné sur tapis roulant en endurance, l'autre s'étant entraîné en résistance, présentent une augmentation du temps de marche maximal et de la distance maximale parcourue. L'entraînement sur tapis roulant permettrait de soutenir et d'améliorer les effets de la réadaptation respiratoire effectuée chez les patients hospitalisés (155). D'autre part, dans le second article, les conclusions sont que l'entraînement sur tapis roulant apporte une diminution de la demande ventilatoire, une diminution de la dyspnée et une augmentation de la distance de marche par rapport aux autres traitements étudiés, soit un entraînement avec les membres supérieurs et de l'hygiène broncho-pulmonaire(156).

D'après ces résultats, il est avantageux d'utiliser le tapis roulant comme outil de réadaptation pour la clientèle atteinte de MPOC. Toutefois, peu d'études tirent ces conclusions, avec un échantillon de petite taille et donc une validité réduite des données recueillies. De plus, les articles sont de qualité méthodologique moyenne, ce qui laisse place à d'autres études de meilleure qualité avant de pouvoir conclure définitivement qu'il s'agit d'une modalité de choix applicable en clinique.

#### **4.2.10 Sténose spinale lombaire**

Pour la population atteinte de sténose spinale au niveau lombaire, deux ECR se sont avérés pertinents (157, 158). Un article indique qu'il n'y a pas de différence significative entre un entraînement sur tapis roulant et un entraînement sur ergocycle (157). Le second article compare une intervention combinant des exercices en flexion du tronc et de l'entraînement sur tapis roulant à une intervention combinant de la thérapie manuelle et de l'entraînement sur tapis roulant avec support de poids partiel. Les deux interventions ont entraîné une perception d'amélioration chez les patients, une diminution des incapacités au questionnaire Oswestry et une augmentation de la satisfaction. On conclut donc qu'un traitement non invasif de la sténose spinale lombaire peut être efficace pour améliorer ces paramètres (158).

En attendant plus d'études de qualité, les résultats actuels nous permettent de conclure que le tapis roulant est une modalité faisable et sécuritaire, mais les données actuelles sont insuffisantes pour démontrer l'utilité du tapis roulant dans le traitement de la sténose spinale lombaire en clinique.



#### **4.2.11 Paralysie supranucléaire progressive**

Pour la population atteinte de paralysie supranucléaire progressive, deux études de cas se sont avérées pertinentes (159, 160). Les patients ont subi, parmi d'autres interventions, un entraînement sur tapis roulant, et ont vécu des améliorations de l'équilibre et de la mobilité et le nombre de chutes a diminué (160). De plus, l'entraînement semble avoir ralenti la perte de capacité à la marche (159).

D'autres interventions étaient reçues simultanément à l'entraînement sur tapis roulant et il y avait absence de groupe contrôle, ce qui ne permet pas d'affirmer avec certitude que les améliorations étaient dues à l'utilisation de cette modalité seulement. Toutefois, on peut conclure que l'utilisation du tapis roulant intégré dans un programme d'exercices variés semble efficace. Il s'agit de deux études de cas, donc d'assez faible qualité méthodologique avec seulement deux patients au total. La conclusion actuelle est que l'utilisation du tapis roulant dans la réadaptation à la marche chez une clientèle qui souffre de paralysie supranucléaire progressive est faisable et sécuritaire.

#### **4.2.12 Obésité**

Pour la population souffrant d'obésité, un essai clinique à randomisation par bloc a été retenu (161). Dans cet article, le protocole compare deux interventions différentes sur tapis roulant soit la marche à vitesse constante (70% de la vitesse moyenne au test de marche de six minutes (TDM6)) ou à vitesse intermittente (périodes de trois minutes 12 secondes à 80% de la vitesse moyenne au TDM6, alternée avec des périodes égales en temps, à 60% de la vitesse moyenne au TDM6) pendant 32 minutes. Les patients recevaient aussi des conseils diététiques. Les résultats indiquent une augmentation de la distance de marche maximale, et une contribution de l'exercice à la stabilisation des paramètres anthropométriques.

Les résultats obtenus ne permettent pas de conclure que le tapis roulant est supérieur à une autre modalité, surtout au niveau des paramètres anthropométriques, étant donné que les patientes recevaient aussi des conseils nutritionnels. La validité des résultats obtenus est faible, comme ils proviennent d'un petit échantillon et que la qualité de l'article est moyenne. Ainsi, plus de résultats devront être obtenus afin de conclure si le tapis roulant est utile en clinique pour le traitement de la clientèle aux prises avec de l'obésité. En outre, si on tient compte que l'activité physique est recommandée dans un programme de perte de poids, il est plausible de croire qu'elle soit aussi bénéfique si elle est réalisée sur un tapis roulant.

#### **4.2.13 Personnes âgées à risque de chute**

Pour la population âgée fragile, un ECR a été sélectionné (162). Les conclusions sont que l'entraînement sur tapis roulant était moins apprécié et moins efficace que l'entraînement en marche libre et que le test de marche de 400 m était moins bien réussi par les patients du groupe s'entraînant sur tapis roulant.

Il s'agit d'une étude de qualité méthodologique moyenne, avec un petit nombre de patients étudiés ce qui limite la validité et la généralisation des résultats obtenus. D'autre part, les conditions expérimentales des deux groupes n'étaient pas identiques, favorisant l'intérêt du groupe contrôle pour l'entraînement, ce qui a pu biaiser les résultats. De ce fait, d'autres études de qualité devront être effectuées avant de déterminer l'utilité du traitement sur tapis roulant chez une clientèle âgée fragile. Il serait prématuré de conclure qu'il s'agit d'une modalité non efficace.

#### **4.2.14 Maladie coronarienne**

Pour la population atteinte d'une maladie coronarienne, une revue de littérature Cochrane avec une méta-analyse a été retenue (163). Les résultats obtenus indiquent que l'entraînement sur tapis roulant ou sur ergocycle en centre médical est presque équivalent à l'entraînement à la marche libre à la maison. Seuls les paramètres de tension artérielle et de taux de cholestérol HDL ont davantage diminué dans le groupe s'entraînant en centre médical. L'amélioration n'est toutefois pas assez grande pour être cliniquement significative.

L'article sélectionné est de bonne qualité méthodologique, puisqu'il s'agit d'une revue de littérature Cochrane. Les protocoles inclus n'étaient toutefois pas idéaux pour démontrer l'efficacité du tapis roulant. Les futures études devront donc s'assurer d'avoir un groupe expérimental ne comportant que pour seule modalité évaluée le tapis roulant. De plus, des groupes contrôles seraient nécessaires pour écarter un effet dû à l'évolution naturelle de la maladie. En attendant de futures études, le tapis roulant doit être utilisé avec précaution en clinique.

#### **4.2.15 Cancer**

Une revue de littérature a été sélectionnée pour la population atteinte de cancer (164). Les conclusions sont que l'exercice aérobique, entre autres sur tapis roulant, combiné avec des exercices en résistance, sont bénéfiques pour améliorer la fonction cardiovasculaire et musculaire d'une population atteinte de cancer. De plus, il n'existe

pas d'effet indésirable sur les systèmes immunitaire, endocrine ou hématologique de même que sur le lymphœdème lors de la pratique de tels exercices.

On ne peut conclure sur la supériorité de l'utilisation du tapis roulant, car les résultats proviennent d'interventions combinant l'utilisation d'autres appareils comme l'ergocycle et des exercices résistés. Toutefois, il est intéressant de noter l'applicabilité de l'entraînement sur tapis roulant et la sécurité de ce dernier par l'absence d'effets indésirables chez une clientèle atteinte de cancer. Cette modalité peut donc être intégrée en clinique dans un programme de mise en forme chez une clientèle oncologique.

#### **4.2.16 Syndrome de Down**

Un seul article a été sélectionné pour la population atteinte du syndrome de Down (132). Il s'agit d'une revue de littérature qui relate des résultats de six études réalisées à partir de deux expérimentations qui s'intéressent à de jeunes enfants atteints du syndrome de Down qui n'ont pas encore acquis la marche. Dans les deux protocoles, les enfants sont entraînés à la maison sur tapis roulant, avec leur poids supporté par un parent qui a suivi une formation. Les résultats sont que les enfants qui se sont entraînés sur tapis roulant ont acquis la marche quelques semaines à quelques mois avant les enfants du groupe contrôle et qu'un entraînement plus intense semble devancer davantage cette acquisition et favoriser un maintien des acquis à plus long terme.

Les études analysées par la revue de littérature sont de bonne qualité soit de niveau 2 et une seule de niveau 4. Les résultats des deux expérimentations en viennent à une même conclusion, c'est-à-dire que l'entraînement sur tapis roulant est applicable à la maison et bénéfique pour l'acquisition de la marche chez la clientèle atteinte du syndrome de Down et de plus, qu'il est sécuritaire.

#### **4.2.17 Ostéoporose**

Une revue de littérature Cochrane avec une méta-analyse a été retenue pour la clientèle souffrant d'ostéoporose (165). On n'y fait par contre pas la différence entre un entraînement sur tapis roulant et un entraînement à la marche au sol. Les deux sont considérés comme plus efficaces que l'absence d'exercice pour augmenter la densité minérale osseuse au niveau de la région lombaire et les hanches.

On ne peut conclure sur la supériorité d'un traitement ou de l'autre pour diminuer l'ostéoporose. On peut du moins conclure que l'entraînement sur tapis roulant est

applicable et sécuritaire pour la clientèle ostéoporotique dans le but d'augmenter la densité minérale osseuse de la région lombaire et des hanches.

#### **4.2.18 Ataxie cérébelleuse sévère chez l'enfant**

Un seul article traite d'un cas spécifique d'enfant atteint d'une ataxie cérébelleuse sévère (166). Il s'agit d'une histoire de cas où la patiente a suivi un programme de réadaptation à la marche sur tapis roulant avec support de poids en combinaison avec de la physiothérapie conventionnelle pendant cinq mois. Les résultats montrent que la capacité et l'indépendance à la marche de la jeune fille se sont améliorées.

Toutefois, on ne peut conclure directement à l'effet du tapis roulant puisqu'il était combiné à un traitement conventionnel et qu'il n'y avait pas de groupe contrôle pour comparer. De plus, la validité des résultats obtenus sur un seul patient laisse à désirer. Il est tout au plus possible de conclure en l'applicabilité d'un traitement de la marche sur tapis roulant pour la clientèle atteinte d'ataxie cérébelleuse sévère.

En somme, le tapis roulant utilisé seul et en combinaison avec un support de poids ou des orthèses robotisées a de multiples applications chez une variété de clientèles. Les résultats, bien que prometteurs, sont encore insuffisants pour définir clairement les paramètres optimaux d'entraînement en fonction de l'atteinte et selon les accessoires utilisés. Pour le moment, le tapis roulant s'avère une modalité recommandable pour la réadaptation de la marche, mais le jugement du clinicien est primordial pour adapter son utilisation en fonction des patients.

## **5. Discussion**

### **5.1. Sources d'erreurs**

La présente revue de littérature comporte des sources d'erreurs. D'abord, les critères de recherche incluent des articles datant de l'an 2000 à plus récents, à l'exception de la section sur la biomécanique. Ensuite, seuls les articles rédigés en français ou en anglais ont été retenus. Ceci entraîne donc un biais car des résultats publiés dans des langues autres et avant 2000 n'ont pas été inclus dans l'analyse. De

plus, les articles faisant déjà partie d'une revue de littérature n'ont pas été lus individuellement. Ainsi, des résultats secondaires qui ne faisaient pas l'objet de la revue ont pu être omis dans notre analyse.

## 5.2. Généralités

L'objectif de notre travail était de déterminer la pertinence de la marche sur tapis roulant en réadaptation. Les différentes sections de notre travail nous permettent de faire des liens entre l'influence biomécanique du tapis roulant sur la marche, l'efficacité du tapis roulant seul et l'influence et l'efficacité des différentes modalités utilisées conjointement au tapis roulant, le tout dans un contexte de réadaptation à la marche chez différentes clientèles.

En se basant sur les évidences analysées, plusieurs améliorations de la marche ont été perçues suite à l'utilisation du tapis roulant par rapport à la marche au sol chez différentes clientèles. Étant donné ces améliorations, on suppose que la marche adoptée par ces sujets n'est pas affectée défavorablement par le tapis roulant, ce qui correspond aux résultats de l'analyse biomécanique chez le jeune adulte sain entre les deux modes de locomotions. D'autre part, suite à l'analyse des effets immédiats de la marche sur tapis roulant, il semble que l'utilisation de modalités en complément telles la haute vitesse (48, 67), l'ajout d'une pente (49) et l'application de pression positive sur le bas du corps (43) ne causent pas d'effets délétères sur le patron de marche des patients. En ce qui concerne l'utilisation de la rampe d'appui, les études ne nous permettent pas de conclure sur l'effet spécifique qu'elle apporte lors d'un entraînement (67). Par contre, lorsque son utilisation est spécifiquement mentionnée, les effets instantanés observés comprennent une augmentation de la longueur et une diminution de la largeur des pas (49, 56, 57) et une diminution de la demande cardiaque et respiratoire (65). Ceci nous laisse croire qu'une rampe pourrait agir de façon similaire au support de poids pour pallier à un manque d'équilibre et diminuer la mise en charge sur les membres inférieurs. Mais contrairement au support de poids, nous croyons que les patients pourraient tendre à marcher en fixant leur ceinture scapulaire et leur tronc lors de l'utilisation d'une rampe, entraînant ainsi un patron de marche différent en comparaison à la marche libre fonctionnelle. Ensuite, des effets indésirables sur la proprioception sont observés lors de l'utilisation d'un support de poids de plus de 40% de la masse du patient et lors de l'utilisation d'une vitesse inférieure à deux kilomètres

par heure avec les orthèses robotisées (62, 67). Ceci met en évidence des précautions à prendre quant aux paramètres d'entraînements utilisés en clinique et ce, chez toutes les clientèles.

### 5.3. Clientèles neurologiques

La clientèle neurologique représente la population la plus étudiée actuellement en ce qui concerne la réadaptation à la marche sur tapis roulant. Le niveau d'évidences est par ailleurs le plus élevé, soit la méta-analyse. Des évidences ont été recensées pour diverses atteintes telles que l'accident vasculaire cérébral (AVC), la blessure médullaire (BM), le traumatisme crânio-cérébral (TCC), la maladie de Parkinson, la paralysie supranucléaire progressive (PSP) et la sclérose en plaques (SEP). Dans le but de formuler des conclusions généralisables aux diverses clientèles, nous allons rassembler ces pathologies variées en fonction des déficits caractéristiques en présence.

En analysant les atteintes caractérisées par un syndrome pyramidal, soient l'AVC, la BM, le TCC et la SEP, on retrouve une quantité considérable d'évidences dans la littérature appuyant l'utilisation du tapis roulant. La plupart des mesures des résultats se penchent particulièrement sur les troubles moteurs caractérisant cette atteinte. Ainsi, le traitement des déficits de marche retrouvés en présence de parésies, de troubles de coordinations, de spasticité et de manque de précision dans le contrôle moteur sont favorisés par l'utilisation du tapis roulant seul ou avec l'apport d'outils (40, 44, 45, 47, 50, 51, 53, 54, 58-62, 67, 70-74, 97, 109, 114, 125, 153, 167). L'utilisation du support de poids est la modalité la plus soutenue par les données probantes, son efficacité étant supérieure à la pratique simple de la marche pour la clientèle AVC, BM et TCC selon la sévérité de l'atteinte du patient. En fait, tout l'intérêt du support de poids repose sur la possibilité de débiter précocement la marche et ainsi augmenter le volume d'entraînement à la marche (95, 168). Certains phénomènes de plasticité qui sont potentialisés tôt suite à un AVC peuvent induire des effets délétères qui pourraient être minimisés par le début précoce d'activités (169). Les orthèses robotisées pourraient agir vraisemblablement de la même façon et seraient tout aussi pertinentes que le support de poids pour permettre la verticalisation, ce qui bénéficie entre autre à la fonction cardio-respiratoire, et la mobilisation adéquate des membres inférieurs (66). D'autres

paramètres peuvent être utilisés conjointement, telle que la stimulation électrique fonctionnelle, qui est efficace pour faciliter l'activation optimale des muscles par les voies cortico-spinales et amener une amélioration de la fonction musculaire, sans toutefois avoir un effet clair sur les gains à long terme (73-76, 78).

D'autres évidences seront toutefois nécessaires pour clarifier les changements physiologiques à plus long terme, puisque l'atteinte d'un stade chronique suite à des lésions neurologiques correspond à un potentiel de plasticité diminué (170). Chez cette clientèle, plus d'évidences tendent à démontrer les bénéfices de l'augmentation de l'intensité (48, 49, 54, 55, 67, 72) dans les traitements actifs selon le principe qu'une plus haute vitesse est préférable (171). Nous croyons donc qu'à un stade chronique les outils permettant de moduler l'intensité tels que la haute vitesse ou l'augmentation de la pente sont préférables aux supports de poids et orthèses mécaniques, qui eux réduisent l'effort en soutenant le patient. En conclusion, l'entraînement par la pratique de la marche sur le tapis roulant répond aux objectifs de traitement en réadaptation concernant les troubles moteurs, et avantage principalement les patients non-marcheurs.

Les patients atteints d'un syndrome pyramidal souffrent souvent de troubles sensoriels périphériques et profonds, notamment une diminution de la proprioception, ce qui contribue en partie au risque de chute rencontré chez cette clientèle. Pour laquelle des interventions visant à améliorer l'équilibre sont utilisées. L'équilibre est un concept qui peut être divisé entre deux modèles, proactif et rétroactif, en interactions afin d'assurer que le corps ne chute pas (172). L'amélioration de l'équilibre par une modalité de support de poids suite à une lésion neurologique tient entre autre de l'amélioration de la proprioception par l'augmentation de l'activité EMG des fibres gamma des fuseaux neuromusculaires (173). D'ailleurs, ce mécanisme pourrait être compromis advenant qu'un délai trop important ait passé avant le début des interventions en réadaptation (174), d'où la pertinence d'utiliser des appareils permettant de débiter précocement la marche (94, 97, 104, 108, 153). Dans le même ordre d'idée, ceci permettrait une adaptation des stratégies posturales, probablement via une adaptation centrale du contrôle anticipatoire et rétroactif du mouvement, qui favoriserait l'équilibre des patients selon nous. Un autre principe, développé à travers l'approche neuro-développementale, soutient que si la musculature axiale est stabilisée les muscles distaux seront plus forts ce qui serait mis à contribution étant donné que le tronc est soutenu (175). Ainsi, lors d'un entraînement avec support de poids ou orthèses, le tronc soutenu faciliterait le

renforcement des membres inférieurs. En combinant ces deux effets, le patient bénéficie d'une meilleure perception de son corps et un renforcement des membres inférieurs, deux composantes primordiales de l'équilibre. Aussi, des résultats préliminaires indiquent que l'utilisation de la réalité virtuelle en combinaison avec le support de poids sur le tapis roulant aurait également des effets bénéfiques sur ce paramètre (47). De nouvelles évidences pourront déterminer si la marche sur tapis roulant en combinaison avec ces modalités est supérieure au support de poids seul ou si ce dernier ne devrait être utilisé qu'à titre de précaution, et non pour ses propriétés mentionnées ci-haut, lors de la marche en réalité virtuelle.

Les patients présentent également une altération de leur fonction cardiorespiratoire. En ajoutant une pente, on observe une augmentation directement proportionnelle de la fréquence cardiaque et de la vitesse de marche. Aussi, pour des pentes de zéro à huit pourcents, à vitesse confortable, les valeurs maximales moyennes de fréquence cardiaque étaient de 99 battements par minute (49). Selon nous, cela procure un entraînement plus intensif, sécuritaire et sans avoir besoin d'augmenter la vitesse de la courroie, ce qui peut constituer une alternative pour cette clientèle lorsque leur vitesse de marche constitue une limite à leur entraînement.

D'autre part, des déficits cognitifs viennent influencer la marche chez les patients post-AVC. Notamment, leurs troubles d'attention peuvent être compensés par les modalités de rétroaction visuelle et de réalité virtuelle combinées au tapis roulant, puisqu'elles procurent des indices externes. De plus, la réalité virtuelle permet un entraînement fonctionnel stimulant (45-47) dans un environnement que nous croyons sécuritaire par rapport à la marche à l'extérieur.

En analysant les atteintes caractérisées par un syndrome extra pyramidal, plus particulièrement la clientèle atteinte de la maladie de Parkinson, on constate un bon nombre d'évidences en faveur de l'utilisation du tapis roulant. Parmi les problèmes cardinaux du Parkinson, l'akinésie ou la bradykinésie, la rigidité et l'instabilité posturale (176) perturbent beaucoup la marche et contribuent certainement au risque de chute élevé rencontré chez cette clientèle.

L'utilisation du tapis roulant seul chez les patients atteints de la maladie de Parkinson afin d'augmenter la longueur des pas (142, 143) et la vitesse de marche au sol (142-144) semble bien acceptée dans la littérature. Cependant, l'utilisation d'outils en complément au tapis roulant pourrait démontrer plus d'efficacité, mais elles ne sont pas



soutenues par un niveau d'évidence aussi élevé. Ainsi, l'augmentation de l'intensité grâce à une vitesse plus élevée de la courroie du tapis roulant permettrait d'obtenir de meilleurs gains sur ces paramètres en plus d'améliorer la symétrie à la marche (80). L'utilisation du tapis roulant en combinaison avec des rétroactions sonores ou visuelles semble également supérieure à l'utilisation du tapis roulant seul et procure des effets similaires à l'augmentation de l'intensité (81). La rétroaction pourrait être préférable à la haute intensité, puisque cette dernière nécessite des mesures de sécurité accrues, en l'occurrence un support de poids (57). D'autres effets motivent l'emploi de rétroaction tel l'amélioration de la constance de la marche, s'exprimant par un coefficient de variabilité des pas diminué, un coefficient élevé étant relié à une augmentation du risque de chute (13). Dans le même ordre d'idée cette modalité est efficace pour diminuer la peur de tomber (59). Les bénéfices de la rétroaction en complément du tapis roulant se retrouvent aussi chez la clientèle AVC permettant une augmentation de la symétrie à la marche, une diminution de la largeur des pas, une meilleure coordination des membres inférieurs (58, 59). Bien que l'on constate plusieurs avantages à utiliser la rétroaction en complément, l'effet à long terme de cet outil demeure incertain (58). Plus d'études devront se pencher sur les effets à long terme de cette modalité en combinaison avec le tapis roulant. En somme, tout ceci contribue à une meilleure fonction à la marche pour cette clientèle en agissant sur les signes cardinaux de la maladie de Parkinson et sur le risque de chute. Cependant, l'utilisation combinée des deux types d'indices externes entraîne une diminution de la vitesse de marche (64), ce qui est à éviter. L'hypothèse avancée pour expliquer ces résultats implique la capacité d'attention (177) qui est diminuée chez les patients atteints de la maladie de Parkinson.

Pour la paralysie supranucléaire progressive, il y a peu d'études et elles se penchent uniquement sur l'utilisation du tapis roulant seul. Puisque cette pathologie s'exprime aussi par un syndrome extra-pyramidal et qu'elle présente des manifestations très similaires à la maladie de Parkinson, nous croyons que l'entraînement sur tapis roulant aurait des effets semblables pour ces deux types de clientèle.

#### 5.4. Clientèles orthopédiques

Peu d'études ont abordé la clientèle orthopédique, ainsi les résultats de revues systématiques de littérature portent uniquement sur les cas post-opératoires de la hanche ou du genou. Les limitations principales subséquentes à ces atteintes sont la

douleur, la diminution de force et la diminution de fonction en général. Par ailleurs, il existe fréquemment des précautions de limitation de la mise en charge, selon le protocole opératoire de l'orthopédiste. Dans la littérature, le tapis roulant a été employé en combinaison avec un support de poids appliqué par un harnais ou une pression positive sur le bas du corps, dans le but de décharger le membre opéré. Cela a permis de diminuer la douleur post-opératoire au genou (43) et de faciliter la pratique de la marche en respectant les précautions relatives à la mise en charge. D'autre part, des plus grandes amplitudes à la hanche ont été réalisées (152). Selon nous, ces gains seraient réalisés puisque la douleur secondaire à une problématique orthopédique est diminuée lorsque le poids appliqué sur les articulations portantes est partiellement supporté. De plus, nous croyons que le volume d'entraînement a pu être augmenté, et donc la force musculaire du membre inférieur s'est améliorée (152). Aussi, une marche plus symétrique a été observée (152), ce qui selon nous contraste avec une marche sans support de poids, laquelle pourrait être accompagnée de compensations secondaires à la douleur. En conclusion, l'utilisation du tapis roulant avec support de poids apporte plusieurs bénéfices aux clientèles post-opératoires orthopédiques. Toutefois, un support de poids atteignant 80% de la masse du patient peut diminuer le recrutement du vaste interne, un muscle impliqué dans la stabilisation dynamique du genou (43, 178), donc important pour un patron de marche adéquat.

##### 5.5. Clientèles cardio-respiratoires

Les clientèles atteintes de maladies cardio-respiratoires ont comme plus grand déficit un déconditionnement limitant la pratique de l'activité physique (179). L'intérêt d'employer le tapis roulant chez ces clientèles réside dans la pratique de l'activité physique, plus que dans la normalisation du patron de marche, étant donné l'absence de déficits neurologiques ou orthopédiques affectant le patron de marche. Chez les clientèles atteintes de maladie coronarienne, de maladie artérielle périphérique et de maladie pulmonaire obstructive chronique, l'utilisation du tapis roulant seul s'est donc avéré une option équivalente à la marche au sol en ce qui a trait aux paramètres évalués par les études, qui atteignent par ailleurs le plus haut niveau d'évidence, soit la méta-analyse. D'autre part, l'utilisation du tapis roulant aurait des avantages non négligeables par rapport à la marche au sol puisqu'il permet de pratiquer la marche sur de grandes distances dans un espace restreint. De plus, on peut ajuster les paramètres,

par exemple en augmentant la vitesse de la bande, ce qui permet d'augmenter le niveau d'effort. Des résultats préliminaires suggèrent qu'un entraînement à une intensité de 80-90% du  $VO_2$  max procure de meilleurs gains au niveau cardio-respiratoire (82). La sécurité est aussi améliorée par la pratique dans des conditions contrôlées. En somme, pour cette clientèle nous recommandons l'utilisation du tapis roulant en clinique pour son côté pratique puisqu'il facilite l'entraînement et le reconditionnement.

#### 5.6. Clientèles pédiatriques

Les clientèles pédiatriques ayant fait l'objet d'études sont les enfants présentant un syndrome de Down, une paralysie cérébrale, ou d'autres désordres neurologiques. Ces enfants présentent un ralentissement, voir une incapacité à acquérir certaines habiletés motrices, notamment l'équilibre et la marche. Dans la littérature, la clientèle pédiatrique est subdivisée en deux groupes, soit les enfants atteints de troubles à prédominance neurologique, incluant la paralysie cérébrale, et ceux ayant une maladie génétique, soit le syndrome de Down.

Chez les patients présentant des atteintes neurologiques, les résultats provenant d'études, dont le plus haut niveau d'évidence est une revue systématique, appuient l'utilisation du tapis roulant en combinaison avec des orthèses robotisées, une réalité virtuelle ou avec un support de poids, et plus particulièrement lors d'un entraînement de haute intensité. L'utilisation d'un support de poids permet un meilleur recrutement du tibial antérieur (50), une réduction de la spasticité (51) ainsi qu'un temps de mise en charge prolongé sur le membre inférieur atteint (61), permettant ainsi une marche plus efficace et symétrique. Ensuite, lors de l'utilisation d'un support de poids ou des orthèses robotisées, le poids du corps est supporté, ce qui nous laisse croire qu'ils permettent de faciliter la tâche et par conséquent d'augmenter le volume d'entraînement. De même, la réalité virtuelle permet un entraînement par le jeu, ce qui augmente l'adhérence au traitement des enfants et diminue leur perception de l'effort (45-47), permettant d'avoir plus de gains dans un laps de temps donné. Dans un même ordre d'idées, un entraînement intensif augmente le niveau d'effort, ce qui est encore une façon d'obtenir des gains plus rapidement. Selon la théorie de la pratique de la tâche (5, 6), nous croyons que l'augmentation du volume d'entraînement aurait un impact favorable sur les autres paramètres de la marche qui ont aussi été améliorés comme la vitesse (132-136) et l'endurance (133, 137). Finalement, plus de résultats supportent l'utilisation du tapis

roulant, mais certains étaient contradictoires. On mentionne que les acquis ne se transfèreraient pas à la marche au sol, et même que le patron de marche serait dégradé (137) suite à un entraînement avec un support de poids. On suppose que le support de poids constitue un entraînement plus facile au niveau musculaire, ce qui a pu altérer l'endurance de certains enfants. Il faut donc considérer qu'un patient avec une atteinte légère ne l'empêchant pas de marcher de façon autonome ne bénéficierait pas de cette modalité, qui semble plus adaptée aux enfants non marcheurs.

Chez les patients présentant le syndrome de Down, le plus haut niveau d'évidence est la revue systématique. Les résultats indiquent que l'utilisation du tapis roulant en combinaison avec un support de poids effectué par un parent permettrait l'acquisition de la marche plus rapide de quelques semaines à quelques mois par rapport à un groupe contrôle, et plus particulièrement lors de l'utilisation d'une haute intensité (132). D'une part, ces effets pourraient être secondaires à l'intérêt que l'enfant porte envers la tâche, lequel est stimulé par la proximité du parent. Cela facilite donc l'apprentissage moteur. D'autre part, la pratique de la marche chez un enfant ne l'ayant pas encore acquis de façon autonome permettra un renforcement musculaire et une meilleure stabilisation dynamique, ce qui peut contrer certaines manifestations de ce syndrome telles que l'hypotonie et la laxité ligamentaire. De plus, un entraînement cardio-respiratoire aura des effets bénéfiques sur leur endurance à la marche, qui peut être limitée par des anomalies cardiaques.

Enfin, les clientèles pédiatriques bénéficient de l'utilisation du tapis roulant, particulièrement pour l'aspect relié au contrôle de l'environnement d'entraînement que procurent ces modalités.

### 5.7. Clientèles âgées

Peu d'études ont abordé l'entraînement des personnes âgées à risque de chute sur le tapis roulant. Le plus haut niveau d'évidence retrouvé est l'essai clinique randomisé. Les résultats indiquent une amélioration de l'équilibre suite à l'utilisation d'un tapis roulant à courroies séparées, lorsque des perturbations en décélération sont induites pendant de la marche (85). Cette modalité permettant une adaptation motrice rapide et durable (44), nous pensons que ce phénomène peut expliquer les bénéfices observés. Par contre, l'utilisation d'un tapis roulant seul pour un entraînement aurait induit une diminution de la vitesse de marche ainsi que de l'appréciation de la thérapie

par les personnes âgées (162). Ceci peut provenir du fait que cette clientèle peut ne pas se familiariser à cet outil, tel que vu lors de l'analyse biomécanique de la marche sur tapis roulant (7, 20). En somme, les personnes âgées ne bénéficient pas nécessairement de l'utilisation de cette modalité et l'aspect de l'adaptation est important à considérer lorsqu'un clinicien décide de démarrer un programme d'entraînement à la marche sur tapis roulant avec cette clientèle.

### 5.8. Clientèles variées

Plusieurs autres populations ont été étudiées lors de l'entraînement à la marche avec l'utilisation d'un tapis roulant seul. Celles-ci comprennent les clientèles souffrant d'obésité, d'ostéoporose, de cancer ou de sténose spinale. Les plus hauts niveaux d'évidence pour chacune sont assez élevés, soit la méta-analyse, la revue systématique ou l'essai clinique randomisé. Les paramètres améliorés sont assez variés. En effet, on retrouve des améliorations de la distance de marche (161), du système osseux (165), de la perception de l'amélioration par les patients (180), du système cardiovasculaire et du système musculaire (164). Pourtant, tous les résultats arrivent à une conclusion semblable, disant que l'utilisation du tapis roulant n'est pas supérieure à d'autres interventions pour améliorer ces différents aspects. Nous croyons que puisque ces clientèles ne présentent pas de déficits à la marche caractérisant leurs atteintes, les bénéfices proviennent simplement du conditionnement physique, quelle que soit la thérapie utilisée. Ainsi, l'important pour un clinicien est de stimuler ces patients à faire de l'exercice et le tapis roulant est un des multiples outils qui peut l'aider à réaliser ce but, selon les préférences des patients.

## 6. Conclusion

En somme, le tapis roulant représente une modalité qui peut avantageusement remplacer la marche au sol pour de nombreuses indications. Ceci concerne particulièrement la clientèle neurologique, pour laquelle le nombre d'études est actuellement le plus important. Aussi, de multiples paramètres et outils sont disponibles afin d'améliorer certains aspects particuliers de la marche lors des traitements. La pertinence de l'utilisation du tapis roulant doit être évaluée constamment par le clinicien,

en considérant l'atteinte du patient et les ressources du milieu, puisqu'il s'agit d'un outil dispendieux à l'achat. D'avantages d'études de meilleures qualités seront nécessaires pour appuyer l'utilité de l'ensemble des modalités par un meilleur niveau d'évidence et motiver leur utilisation en clinique chez toutes les clientèles.

## Liste des références

1. Pilon M. *Physiothérapie et géro-geriatrie*. Montréal: Université de Montréal; 2010.
2. Rose J, Gamble JG, Inman VT. *Human walking*. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2006.
3. Nymark JR, Balmer SJ, Melis EH, Lemaire ED, Millar S. Electromyographic and kinematic nondisabled gait differences at extremely slow overground and treadmill walking speeds. *J Rehabil Res Dev*. 2005 Jul-Aug;42(4):523-34.
4. Sudarsky L. Gait disorders: prevalence, morbidity, and etiology. *Adv Neurol*. 2001;87:111-7.
5. Hubbard IJ, Parsons MW, Neilson C, Carey LM. Task-specific training: evidence for and translation to clinical practice. *Occupational Therapy International*. 2009;16(3-4):175-89.
6. Rensink M, Schuurmans M, Lindeman E, Hafsteinsdóttir T. Task-oriented training in rehabilitation after stroke: systematic review. *Journal of Advanced Nursing*. 2009;65(4):737-54.
7. Wass E, Taylor NF, Matsas A. Familiarisation to treadmill walking in unimpaired older people. *Gait & Posture*. 2005 Jan;21(1):72-9.
8. Lee SJ, Hidler J. Biomechanics of overground vs. treadmill walking in healthy individuals. *Journal of Applied Physiology*. [Comparative Study]. 2008 Mar;104(3):747-55.
9. Riley PO, Paolini G, Della Croce U, Paylo KW, Kerrigan DC. A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. *Gait & Posture*. 2007 Jun;26(1):17-24.
10. Paolini G, Della Croce U, Riley PO, Newton FK, Casey Kerrigan D. Testing of a tri-instrumented-treadmill unit for kinetic analysis of locomotion tasks in static and dynamic loading conditions. *Med Eng Phys*. 2007 Apr;29(3):404-11.
11. Tulchin K, Orendurff M, Karol L. A comparison of multi-segment foot kinematics during level overground and treadmill walking. *Gait & Posture*. 2010 Jan;31(1):104-8.
12. Savelberg HHCM, Vorstenbosch MATM, Kamman EH, Van De Weijer JGW, Schambardt HC. Intra-stride belt-speed variation affects treadmill locomotion. *Gait and Posture*. 1998 Jan;7 (1):26-34.
13. Chang M, Shaikh S, Chau T. Effect of treadmill walking on the stride interval dynamics of human gait. *Gait & Posture*. 2009;30(4):431-5.
14. Stoquart G, Detrembleur C, Lejeune T. Effect of speed on kinematic, kinetic, electromyographic and energetic reference values during treadmill walking. *Neurophysiologie Clinique*. 2008 Apr;38(2):105-16.
15. Dal U, Erdogan T, Resitoglu B, Beydagi H. Determination of preferred walking speed on treadmill may lead to high oxygen cost on treadmill walking. *Gait & Posture*. 2010 Mar;31(3):366-9.
16. Dickstein R, Laufer Y. Light touch and center of mass stability during treadmill locomotion. *Gait Posture*. 2004 Aug;20(1):41-7.
17. van Ingen Schenau GJ. Some fundamental aspects of the biomechanics of overground versus treadmill locomotion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 1980;12(4):257-61.
18. Durgin FH, Reed C, Tigue C. Step frequency and perceived self-motion. *ACM Transaction on Applied Perception*. 2007;4(1):23.
19. Alton F, Baldey L, Caplan S, Morrissey MC. A kinematic comparison of overground and treadmill walking. *Clinical Biomechanics*. 1998;13(6):434-40.

20. Watt JR, Franz JR, Jackson K, Dicharry J, Riley PO, Kerrigan DC. A three-dimensional kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy elderly subjects. *Clinical Biomechanics*. [Comparative Study Research Support, N.I.H., Extramural]. 2010 Jun;25(5):444-9.
21. Alton F, Baldey L, Caplan S, Morrissey MC. A kinematic comparison of overground and treadmill walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1998 Sep;13(6):434-40.
22. Van de Putte M, Hagemester N, St-Onge N, Parent G, de Guise JA. Habituation to treadmill walking. *Biomed Mater Eng*. 2006;16(1):43-52.
23. Goldberg EJ, Kautz SA, Neptune RR. Can treadmill walking be used to assess propulsion generation? *Journal of Biomechanics*. 2008;41 (8):1805-8.
24. Tesio L, Rota V. Gait analysis on split-belt force treadmills: validation of an instrument. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2008;87(7):515-26.
25. Wall JC, Charteris J. A kinematic study of long-term habituation to treadmill walking. *Ergonomics*. 1981;24(7):531-42.
26. Matsas A, Taylor N, McBurney H. Knee joint kinematics from familiarised treadmill walking can be generalised to overground walking in young unimpaired subjects. *Gait & Posture*. 2000 Feb;11(1):46-53.
27. Zeni JA, Jr., Higginson JS. Gait parameters and stride-to-stride variability during familiarization to walking on a split-belt treadmill. *Clinical Biomechanics*. 2010;25(4):383-6.
28. Nymark JR, Balmer SJ, Melis EH, Lemaire ED, Millar S. Electromyographic and kinematic nondisabled gait differences at extremely slow overground and treadmill walking speeds. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. [Evaluation Studies Research Support, Non-U.S. Gov't]. 2005 Jul-Aug;42(4):523-34.
29. Warabi T, Kato M, Kiriyama K, Yoshida T, Kobayashi N. Treadmill walking and overground walking of human subjects compared by recording sole-floor reaction force. *Neuroscience Research*. 2005 Nov;53(3):343-8.
30. Parvataneni K, Ploeg L, Olney SJ, Brouwer B. Kinematic, kinetic and metabolic parameters of treadmill versus overground walking in healthy older adults. *Clinical Biomechanics*. [Comparative Study Research Support, Non-U.S. Gov't]. 2009 Jan;24(1):95-100.
31. Rosenblatt NJ, Grabiner MD. Measures of frontal plane stability during treadmill and overground walking. *Gait & Posture*. 2010 Mar;31(3):380-4.
32. Carpinella I, Crenna P, Rabuffetti M, Ferrarin M. Coordination between upper- and lower-limb movements is different during overground and treadmill walking. *European Journal of Applied Physiology*. 2010 Jan;108(1):71-82.
33. Vogt L, Pfeifer K, Banzer W. Comparison of angular lumbar spine and pelvis kinematics during treadmill and overground locomotion. *Clinical Biomechanics*. 2002 Feb;17(2):162-5.
34. Hanakawa T, Katsumi Y, Fukuyama H, Honda M, Hayashi T, Kimura J, et al. Mechanisms underlying gait disturbance in Parkinson's disease: a single photon emission computed tomography study. *Brain*. 1999 Jul;122 ( Pt 7):1271-82.
35. Zanetti C, Schieppati M. Quiet stance control is affected by prior treadmill but not overground locomotion. *European Journal of Applied Physiology*. 2007 Jun;100 (3):331-9.
36. Reisman D, Bastian A, Morton S. Neurophysiologic and rehabilitation insights from the split-belt and other locomotor adaptation paradigms. *Physical Therapy*. 2010;90(2):187-95.
37. Crompton S, Khemlani M, Batty J, Ada L, Dean C, Katrak P. Practical issues in retraining walking in severely disabled patients using treadmill and harness support systems. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2001;47(3):211-3.



38. Winchester P, Querry R. Robotic orthoses for body weight-supported treadmill training. *Physical Medicine & Rehabilitation Clinics of North America*. 2006 Feb;17(1):159-72.
39. Veneman JF, Kruidhof R, Hekman EEG, Ekkelenkamp R, Van Asseldonk EHF, Van Der Kooij H. Design and evaluation of the LOPES exoskeleton robot for interactive gait rehabilitation. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2007 Sep;15 (3):379-86.
40. Querry RG, Pacheco F, Annaswamy T, Goetz L, Winchester PK, Tansey KE. Synchronous stimulation and monitoring of soleus H reflex during robotic body weight-supported ambulation in subjects with spinal cord injury. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2008;45(1):175-86.
41. Jung T, Lee D, Charalambous C, Vrongistinos K. The influence of applying additional weight to the affected leg on gait patterns during aquatic treadmill walking in people poststroke. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2010;91(1):129-36.
42. Oddsson LIE, Karlsson R, Konrad J, Ince S, Williams SR, Zemkova E. A rehabilitation tool for functional balance using altered gravity and virtual reality. *Journal of Neuroengineering & Rehabilitation*. 2007;4:25.
43. Eastlack RK, Hargens AR, Groppo ER, Steinbach GC, White KK, Pedowitz RA. Lower body positive-pressure exercise after knee surgery. *Clinical Orthopaedics & Related Research*. 2005 Feb(431):213-9.
44. Reisman DS, Bastian AJ, Morton SM. Neurophysiologic and rehabilitation insights from the split-belt and other locomotor adaptation paradigms. *Physical Therapy*. 2010 Feb;90(2):187-95.
45. Fung J, Richards CL, Malouin F, McFadyen BJ, Lamontagne A. A Treadmill and Motion Coupled Virtual Reality System for Gait Training Post-Stroke. *CyberPsychology & Behavior*. 2006;9(2):157-62.
46. Brusch K, Schuler T, Koenig A, Zimmerli L, Koeneke SM, Lunenburger L, et al. Influence of virtual reality soccer game on walking performance in robotic assisted gait training for children. *Journal of Neuroengineering & Rehabilitation*. 2010;7:15.
47. Walker ML, Ringleb SI, Maihafer GC, Walker R, Crouch JR, Van Lunen B, et al. Virtual reality-enhanced partial body weight-supported treadmill training poststroke: feasibility and effectiveness in 6 subjects. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2010 Jan;91(1):115-22.
48. Kuys SS, Brauer SG, Ada L, Russell TG. Increasing intensity during treadmill walking does not adversely affect walking pattern or quality in newly-ambulating stroke patients: an experimental study. *Australian Journal of Physiotherapy*. 2008;54(1):49-54.
49. Werner C, Lindquist AR, Bardeleben A, Hesse S. The influence of treadmill inclination on the gait of ambulatory hemiparetic subjects. *Neurorehabilitation & Neural Repair*. 2007 Jan-Feb;21(1):76-80.
50. Hesse S. Treadmill training with partial body weight support after stroke: a review. *NeuroRehabilitation*. [Review]. 2008;23(1):55-65.
51. Hesse S, Werner C, Bardeleben A, Barbeau H. Body weight-supported treadmill training after stroke. *Current Atherosclerosis Reports*. 2001 Jul;3(4):287-94.
52. Franz JR, Glauser M, Riley PO, Della Croce U, Newton F, Allaire PE, et al. Physiological modulation of gait variables by an active partial body weight support system. *Journal of Biomechanics*. 2007;40 (14):3244-50.
53. Cikajlo I, Matjacic Z, Bajd T, Futami R. Sensory supported FES control in gait training of incomplete spinal cord injury persons. *Artificial Organs*. 2005 Jun;29(6):459-61.

54. Himmelreich H, Vogt L, Banzer W. Gluteal muscle recruitment during level, incline and stair ambulation in healthy subjects and chronic low back pain patients. *Journal of Back & Musculoskeletal Rehabilitation*. 2008;21(3):193-9.
55. Al-Yahya E, Dawes H, Collett J, Howells K, Izadi H, Wade DT, et al. Gait adaptations to simultaneous cognitive and mechanical constraints. *Experimental Brain Research*. 2009 October;199 (1):39-48.
56. Fairley JA, Sejdic E, Chau T. An investigation of stride interval stationarity in a paediatric population. *Human Movement Science*. 2010 Feb;29(1):125-36.
57. Owings TM, Grabiner MD. Variability of step kinematics in young and older adults. *Gait and Posture*. 2004 Aug;20 (1):26-9.
58. Roerdink M, Lamoth CJC, Kwakkel G, van Wieringen PCW, Beek PJ. Gait coordination after stroke: benefits of acoustically paced treadmill walking. *Physical Therapy*. 2007 Aug;87(8):1009-22.
59. Roerdink M, Lamoth CJC, van Kordelaar J, Elich P, Konijnenbelt M, Kwakkel G, et al. Rhythm perturbations in acoustically paced treadmill walking after stroke. *Neurorehabilitation & Neural Repair*. 2009;23(7):668-78.
60. Pelton TA, Johannsen L, Chen H, Wing AM. Hemiparetic stepping to the beat: asymmetric response to metronome phase shift during treadmill gait. *Neurorehabilitation & Neural Repair*. 2010;24(5):428-34.
61. Bennett BC, Riley PO, Franz JR, Dicharry J, Allaire PE, Miller S, et al. Controlled partial body-weight support for treadmill training-a case study. *Pm & R*. 2009 May;1(5):496-9.
62. Regnaud J-P, Saremi K, Marehbian J, Bussel B, Dobkin BH. An accelerometry-based comparison of 2 robotic assistive devices for treadmill training of gait. *Neurorehabilitation & Neural Repair*. 2008 Jul-Aug;22(4):348-54.
63. Grabowski AM. Metabolic and biomechanical effects of velocity and weight support using a lower-body positive pressure device during walking. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2010;91(6):951-7.
64. Powell W, Stevens B, Hand S, Simmonds M. Sounding better: Fast audio cues increase walk speed in treadmill-mediated virtual rehabilitation environments. *Annual Review of CyberTherapy and Telemedicine*. 2010;8 (1):161-4.
65. Berling J, Foster C, Gibson M, Doberstein S, Porcari J. The effect of handrail support on oxygen uptake during steady-state treadmill exercise. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*. 2006 Nov-Dec;26(6):391-4.
66. Magagnin V, Porta A, Fusini L, Licari V, Bo I, Turiel M, et al. Evaluation of the autonomic response in healthy subjects during treadmill training with assistance of a robot-driven gait orthosis. *Gait & Posture*. 2009 Apr;29(3):504-8.
67. Chen G, Patten C. Treadmill training with harness support: selection of parameters for individuals with poststroke hemiparesis. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2006 Jul-Aug;43(4):485-98.
68. Chang MD, Shaikh S, Chau T. Effect of treadmill walking on the stride interval dynamics of human gait. *Gait and Posture*. 2009 November;30 (4):431-5.
69. Lindquist ARR, Prado CL, Barros RML, Mattioli R, da Costa PHL, Salvini TF. Gait training combining partial body-weight support, a treadmill, and functional electrical stimulation: effects on poststroke gait. *Physical Therapy*. 2007;87(9):1144-54.
70. Daly JJ, Roenigk KL, Butler KM, Gansen JL, Fredrickson E, Marsolais EB, et al. Response of sagittal plane gait kinematics to weight-supported treadmill training and functional neuromuscular stimulation following stroke. *Journal of Rehabilitation Research & Development*. 2004 Nov-Dec;41(6A):807-20.

71. Massaad F, Lejeune TM, Detrembleur C. Reducing the energy cost of hemiparetic gait using center of mass feedback: a pilot study. *Neurorehabilitation & Neural Repair*. 2010 May;24(4):338-47.
72. Wada Y, Kondo I, Sonoda S, Miyasaka H, Teranishi T, Nagai S, et al. Preliminary trial to increase gait velocity with high speed treadmill training for patients with hemiplegia. *American journal of physical medicine & rehabilitation*. 2010;89(8):683-7.
73. Field-Fote EC. Combined use of body weight support, functional electric stimulation, and treadmill training to improve walking ability in individuals with chronic incomplete spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2001 Jun;82(6):818-24.
74. Field-Fote EC, Tepavac D. Improved intralimb coordination in people with incomplete spinal cord injury following training with body weight support and electrical stimulation. *Physical Therapy*. 2002 Jul;82(7):707-15.
75. Mehrholz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury. *Spine*. [Review]. 2008 Oct 1;33(21):E768-77.
76. Carvalho DCL, de Cassia Zanchetta M, Sereni JM, Cliquet A. Metabolic and cardiorespiratory responses of tetraplegic subjects during treadmill walking using neuromuscular electrical stimulation and partial body weight support. *Spinal Cord*. 2005 Jul;43(7):400-5.
77. de Carvalho DC. Improvement of metabolic and cardiorespiratory responses though treadmill gait training with neuromuscular electrical stimulation in quadriplegic subjects. *Artif Organs*. 2006;30(1):56-63.
78. Carvalho de Abreu DC, Junior AC, Rondina JM, Cendes F. Muscle hypertrophy in quadriplegics with combined electrical stimulation and body weight support training. *International Journal of Rehabilitation Research*. 2008 Jun;31(2):171-5.
79. de Abreu DCC, Cliquet A, Jr., Rondina JM, Cendes F. Electrical stimulation during gait promotes increase of muscle cross-sectional area in quadriplegics: a preliminary study. *Clinical Orthopaedics & Related Research*. 2009 Feb;467(2):553-7.
80. Fisher BE, Wu AD, Salem GJ, Song J, Lin C-HJ, Yip J, et al. The effect of exercise training in improving motor performance and corticomotor excitability in people with early Parkinson's disease. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2008 Jul;89(7):1221-9.
81. Frazzitta G, Maestri R, Uccellini D, Bertotti G, Abelli P. Rehabilitation treatment of gait in patients with Parkinson's disease with freezing: a comparison between two physical therapy protocols using visual and auditory cues with or without treadmill training. *Movement Disorders*. 2009 Jun 15;24(8):1139-43.
82. Amundsen BH, Rognmo O, Hatlen-Rebhan G, Slordahl SA. High-intensity aerobic exercise improves diastolic function in coronary artery disease. *Scandinavian Cardiovascular Journal*. 2008 Apr;42(2):110-7.
83. Hall J, Grant J, Blake D, Taylor G, Garbutt G. Cardiorespiratory responses to aquatic treadmill walking in patients with rheumatoid arthritis. *Physiotherapy Research International*. 2004;9(2):59-73.
84. Greene NP, Lambert BS, Greene ES, Carbuhn AF, Green JS, Crouse SF. Comparative efficacy of water and land treadmill training for overweight or obese adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2009 Sep;41(9):1808-15.
85. Shimada H, Obuchi S, Furuna T, Suzuki T. New intervention program for preventing falls among frail elderly people: the effects of perturbed walking exercise using a bilateral separated treadmill. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2004 Jul;83(7):493-9.
86. Dieruf K, Burtner PA, Provost B, Phillips J, Bernitsky-Beddingfield A, Sullivan KJ. A Pilot Study of Quality of Life in Children with Cerebral Palsy After Intensive Body

Weight-Supported Treadmill Training. *Pediatric physical therapy*. 2009;21(1):45-52  
10.1097/PEP.0b013e31818ec835.

87. Mattern-Baxter K, Bellamy S, Mansoor JK. Effects of intensive locomotor treadmill training on young children with cerebral palsy. *Pediatric Physical Therapy*. 2009;21(4):308-18.

88. Provost B, Dieruf K, Burtner PA, Phillips JP, Bernitsky-Beddingfield A, Sullivan KJ, et al. Endurance and gait in children with cerebral palsy after intensive body weight-supported treadmill training. *Pediatric Physical Therapy*. 2007;19(1):2-10.

89. Ulrich DA, Lloyd MC, Tiernan CW, Looper JE, Angulo-Barroso RM. Effects of intensity of treadmill training on developmental outcomes and stepping in infants with Down syndrome: a randomized trial. *Physical Therapy*. 2008 Jan;88(1):114-22.

90. Wu J, Looper J, Ulrich BD, Ulrich DA, Angulo-Barroso RM. Exploring effects of different treadmill interventions on walking onset and gait patterns in infants with Down syndrome. *Developmental Medicine & Child Neurology*. 2007 Nov;49(11):839-45.

91. Cao P, Kimura S, Macias BR, Ueno T, Watenpaugh DE, Hargens AR. Exercise within lower body negative pressure partially counteracts lumbar spine deconditioning associated with 28-day bed rest. *Journal of Applied Physiology*. 2005 Jul;99(1):39-44.

92. Macias BR, Groppo ER, Eastlack RK, Watenpaugh DE, Lee SMC, Schneider SM, et al. Space exercise and Earth benefits. *Current Pharmaceutical Biotechnology*. 2005 Aug;6(4):305-17.

93. Smith SM, Zwart SR, Heer M, Lee SMC, Baecker N, Meuche S, et al. WISE-2005: supine treadmill exercise within lower body negative pressure and flywheel resistive exercise as a countermeasure to bed rest-induced bone loss in women during 60-day simulated microgravity. *Bone*. 2008 Mar;42(3):572-81.

94. Ada L, Bampton J, Morris M, Katrak P, Potts S. Treadmill walking with body weight support in subacute non-ambulatory stroke improves walking capacity more than overground walking: a randomised trial. *Journal of Physiotherapy*. 2010;56(2):97-103.

95. Ada L, Dean C, Morris M, Simpson J, Katrak P. Randomized trial of treadmill walking with body weight support to establish walking in subacute stroke: the MOBILISE trial. *Stroke*. 2010;41(6):1237-42.

96. Franceschini M, Carda S, Agosti M, Antenucci R, Malgrati D, Cisari C, et al. Walking After Stroke: What Does Treadmill Training With Body Weight Support Add to Overground Gait Training in Patients Early After Stroke?: A Single-Blind, Randomized, Controlled Trial. *Stroke*. 2009 September 1, 2009;40(9):3079-85.

97. Freivogel S, Mehrholz J, Husak-Sotomayor T, Schmalohr D. Gait training with the newly developed 'LokoHelp'-system is feasible for non-ambulatory patients after stroke, spinal cord and brain injury. A feasibility study. *Brain Injury*. 2008;22(7-8):625-32.

98. Høyer E, Normann B, Sørsdal R, Strand LI. Rehabilitation including treadmill therapy for patients with incomplete locked-in syndrome after stroke; a case series study of motor recovery. *Brain Injury*. 2010;24(1):34-45.

99. Ivey FM, Hafer-Macko CE, Macko RF. Task-oriented treadmill exercise training in chronic hemiparetic stroke. *J Rehabil Res Dev*. 2008;45(2):249-59.

100. Langhammer B, Stanghelle JK. Exercise on a treadmill or walking outdoors? A randomized controlled trial comparing effectiveness of two walking exercise programmes late after stroke. *Clinical rehabilitation*. 2010 January 1, 2010;24(1):46-54.

101. Mayr A, Kofler M, Quirbach E, Matzak H, Frhlich K, Saltuari L. Prospective, blinded, randomized crossover study of gait rehabilitation in stroke patients using the Lokomat gait orthosis. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2007;21(4):307-14.

102. Mehrholz J, Werner C, Kugler J, Pohl M. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane database of systematic reviews*. 2010(4).

103. Moseley AM, Stark A, Cameron ID, Pollock A. Treadmill training and body weight support for walking after stroke. *Cochrane database of systematic reviews*. 2005(4):CD002840-CD.
104. Mudge S, Rochester L, Recordon A. The effect of treadmill training on gait, balance and trunk control in a hemiplegic subject: a single system design. *Disability and rehabilitation*. 2003;25(17):1000-7.
105. Pang MYC, Lau RWK. The effects of treadmill exercise training on hip bone density and tibial bone geometry in stroke survivors: a pilot study. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2010;24(4):368.
106. Plummer P, Behrman A, Duncan P, Spigel P, Saracino D, Martin J, et al. Effects of stroke severity and training duration on locomotor recovery after stroke: a pilot study. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2007;21(2):137-51.
107. Saunders. Physical fitness training for stroke patients. *Cochrane database of systematic reviews*. 2009(4).
108. Takami A, Wakayama S. Effects of partial body weight support while training acute stroke patients to walk backwards on a treadmill -- a controlled clinical trial using randomized allocation. *Journal of physical therapy science*. 2010;22(2):177-87.
109. Van Peppen RPS, Kwakkel G, Wood-Dauphinee S, Hendriks HJM, Van der Wees P, Dekker J. The impact of physical therapy on functional outcomes after stroke: what's the evidence? *Clinical rehabilitation*. 2004;18(8):833-62.
110. Vidoni E, Tull A, Kluding P. Use of three gait-training strategies in an individual with multiple, chronic strokes. *Journal of neurologic physical therapy*. 2008;32(2):88-96.
111. Yang Y-R, Chen IH, Liao K-K, Huang C-C, Wang R-Y. Cortical Reorganization Induced by Body Weight-Supported Treadmill Training in Patients With Hemiparesis of Different Stroke Durations. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2010;91(4):513-8.
112. Adams M, Ditor D, Tarnopolsky M, Phillips S, McCartney N, Hicks A. The effect of body weight-supported treadmill training on muscle morphology in an individual with chronic, motor-complete spinal cord injury: A case study. *The journal of spinal cord medicine*. 2006;29(2):167-71.
113. Field-Fote E, Tepavac D. Improved intralimb coordination in people with incomplete spinal cord injury following training with body weight support and electrical stimulation. *Physical Therapy*. 2002;82(7):707-15.
114. Forrest G, Sisto S, Barbeau H, Kirshblum S, Wilen J, Bond Q, et al. Neuromotor and musculoskeletal responses to locomotor training for an individual with chronic motor complete AIS-B spinal cord injury. *The journal of spinal cord medicine*. 2008;31(5):509-21.
115. Giangregorio LM, Webber C, Phillips S, Hicks A, Craven BC, Bugaresti J. Can body weight supported treadmill training increase bone mass and reverse muscle atrophy in individuals with chronic incomplete spinal cord injury? *Applied physiology, nutrition, and metabolism*. 2006;31(3):283-91.
116. Grasso R, Ivanenko Y, Zago M, Molinari M, Scivoletto G, Castellano V, et al. Distributed plasticity of locomotor pattern generators in spinal cord injured patients. *Brain*. 2004;127(5):1019-34.
117. Lam T, Eng J, Wolfe D, Hsieh J, Whittaker M. A Systematic Review of the Efficacy of Gait Rehabilitation Strategies for Spinal Cord Injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*. 2007;13(1):32-57.
118. Leahy TE. Impact of a limited trial of walking training using body weight support and a treadmill on the gait characteristics of an individual with chronic, incomplete spinal cord injury. *Physiotherapy theory and practice*. 2010;26(7):483-9.

119. Lim PA, Tow A. Recovery and regeneration after spinal cord injury: a review and summary of recent literature. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*. 2007;36(1):49-57.
120. Mehrholz J, Kugler J, Pohl M. Locomotor training for walking after spinal cord injury. *Cochrane database of systematic reviews*. 2008(2):CD006676-CD.
121. Musselman K, Fouad K, Misiaszek J, Yang J. Training of walking skills overground and on the treadmill: case series on individuals with incomplete spinal cord injury. *Physical Therapy*. 2009;89(6):601-11.
122. Sherman MFB, Lam T, Sheel AW. Locomotor-respiratory synchronization after body weight supported treadmill training in incomplete tetraplegia: a case report. *Spinal cord*. 2009;47(12):896-8.
123. Soyupek F, Savas S, Öztürk Ö, Ilgün E, Bircan A, Akkaya A. Effects of body weight supported treadmill training on cardiac and pulmonary functions in the patients with incomplete spinal cord injury. *Journal of Back & Musculoskeletal Rehabilitation*. 2009;22(4):213-8.
124. Stewart BG, Tarnopolsky MA, Hicks AL, McCartney N, Mahoney DJ, Staron RS, et al. Treadmill training-induced adaptations in muscle phenotype in persons with incomplete spinal cord injury. *Muscle & Nerve*. 2004;30(1):61-8.
125. Young DL, Wallmann H, Poole I, Threlkeld AJ. Body weight supported treadmill training at very low treatment frequency for a young adult with incomplete cervical spinal cord injury. *NeuroRehabilitation*. 2009;25(4):261-70.
126. Effing TW, van Meeteren NLU, van Asbeck FWA, Prevo AJH. Body weight-supported treadmill training in chronic incomplete spinal cord injury: a pilot study evaluating functional health status and quality of life. *Spinal cord*. 2006;44(5):287-96.
127. Hornby TG, Zemon DH, Campbell D. Robotic-Assisted, Body-Weight-Supported Treadmill Training in Individuals Following Motor Incomplete Spinal Cord Injury. *Physical Therapy*. 2005 January 2005;85(1):52-66.
128. Moreh E, Meiner Z, Neeb M, Hiller N, Schwartz I. Spinal decompression sickness presenting as partial Brown-Sequard syndrome and treated with robotic-assisted body-weight support treadmill training. *Journal of rehabilitation medicine*. 2009;41(1):88-9.
129. Wirz. Effectiveness of automated locomotor training in patients with chronic incomplete spinal cord injury: A multicenter trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2005;86(4):672-80.
130. Borggraefe I, Klaiber M, Schuler T, Warken B, Schroeder SA, Heinen F, et al. Safety of robotic-assisted treadmill therapy in children and adolescents with gait impairment: A bi-centre survey. *Developmental Neurorehabilitation*. 2010;13(2):114-9.
131. Borggraefe I, Schaefer JS, Kiwull L, Koerte I, Blaschek A, Meyer-Heim A. Sustainability of motor performance after robotic-assisted treadmill therapy in children: an open, non-randomized baseline-treatment study. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2010;46(2):125-31.
132. Damiano D, DeJong S. A systematic review of the effectiveness of treadmill training and body weight support in pediatric rehabilitation. *Journal of neurologic physical therapy*. 2009;33(1):27.
133. Mattern-Baxter K, Bellamy S, Mansoor J. Effects of intensive locomotor treadmill training on young children with cerebral palsy. *Pediatric physical therapy*. 2009;21(4):308-18.
134. Mattern-Baxter Katrin. Effects of partial body weight supported treadmill training on children with cerebral palsy. *Pediatric physical therapy*. 2009;21(1):12-22.
135. Mutlu A, Krosschell K, Spira D. Treadmill training with partial body-weight support in children with cerebral palsy: a systematic review. *Developmental medicine and child neurology*. 2009;51(4):268-75.

136. Willoughby KL, Dodd KJ, Shields N. A systematic review of the effectiveness of treadmill training for children with cerebral palsy. *Disability & Rehabilitation*. 2009;31(24):1971-9.
137. Willoughby KL, Dodd KJ, Shields N, Foley S. Efficacy of Partial Body Weight-Supported Treadmill Training Compared With Overground Walking Practice for Children With Cerebral Palsy: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2010;91(3):333-9.
138. Moriello G, Frear M, Seaburg K. The recovery of running ability in an adolescent male after traumatic brain injury: a case study. *Journal of neurologic physical therapy*. 2009;33(2):111-20.
139. Mossberg KA, Orlander EE, Norcross JL. Cardiorespiratory Capacity After Weight-Supported Treadmill Training in Patients With Traumatic Brain Injury. *Physical Therapy*. 2008 January 2008;88(1):77-87.
140. Scherer M. Gait rehabilitation with body weight-supported treadmill training for a blast injury survivor with traumatic brain injury. *Brain Injury*. 2007;21(1):93-100.
141. Brown TH, Mount J, Rouland BL, Kautz KA, Barnes RM, Kim J. Body weight-supported treadmill training versus conventional gait training for people with chronic traumatic brain injury. *Journal of Head Trauma Rehabilitation*. 2005;20(5):402-15.
142. Herman T, Giladi N, Hausdorff JM. Treadmill training for the treatment of gait disturbances in people with Parkinson's disease: a mini-review. *Journal of Neural Transmission*. 2009;116(3):307-18.
143. Mehrholz J, Friis R, Kugler J, Twork S, Storch A, Pohl M. Treadmill training for patients with Parkinson's disease. *Cochrane database of systematic reviews*. 2010(1).
144. Pelosin E, Faelli E, Lofrano F, Avanzino L, Marinelli L, Bove M, et al. Effects of treadmill training on walking economy in Parkinson's disease: a pilot study. *Neurological Sciences*. 2009;30(6):499-504.
145. Skidmore F, Patterson S, Shulman L, Sorkin J, Macko R. Pilot safety and feasibility study of treadmill aerobic exercise in Parkinson disease with gait impairment. *J Rehabil Res Dev*. 2008;45(1):117-24.
146. McDermott MM, Ades P, Guralnik JM, Dyer A, Ferrucci L, Liu K, et al. Treadmill Exercise and Resistance Training in Patients With Peripheral Arterial Disease With and Without Intermittent Claudication: A Randomized Controlled Trial. *JAMA*. 2009 January 14, 2009;301(2):165-74.
147. Watson L, Ellis B, Leng GC. Exercise for intermittent claudication. *Cochrane database of systematic reviews*. 2008(4).
148. Bendermacher BL, Willigendael EM, Joep A, Prins MH. Supervised exercise therapy versus non-supervised exercise therapy for intermittent claudication. *Cochrane database of systematic reviews*. 2006(2).
149. Bellelli G, Guerini F, Trabucchi M. Body weight-supported treadmill in the physical rehabilitation of severely demented subjects after hip fracture: a case report. *Journal of the American Geriatrics Society*. 2006;54(4):717-8.
150. Giangregorio LM, Thabane L, deBeer J, Farrauto L, McCartney N, Adachi JD, et al. Body Weight-Supported Treadmill Training for Patients With Hip Fracture: A Feasibility Study. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2009;90(12):2125-30.
151. Handoll HHG, Sherrington C. Mobilisation strategies after hip fracture surgery in adults. *Cochrane database of systematic reviews*. 2007(1):CD001704-CD.
152. Di Monaco M, Vallero F, Tappero R, Cavanna A. Rehabilitation after total hip arthroplasty: a systematic review of controlled trials on physical exercise programs. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2009;45(3):303-17.

153. Giesser B, Beres-Jones J, Budovitch A, Herlihy E, Harkema S. Locomotor training using body weight support on a treadmill improves mobility in persons with multiple sclerosis: a pilot study. *Multiple Sclerosis*. 2007 March 1, 2007;13(2):224-31.
154. Lo AC, Triche EW. Improving Gait in Multiple Sclerosis Using Robot-Assisted, Body Weight Supported Treadmill Training. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2008 November/December 2008;22(6):661-71.
155. Skumlien S, Skogedal EA, Rygb MS, Bjørtuft Ø. Endurance or resistance training in primary care after in-patient rehabilitation for COPD? *Respiratory medicine*. 2008;102(3):422-9.
156. Marrara K, Marino D, de Held P, de Oliveira Junior AD, Jamami M, Di Lorenzo VAP. Different physical therapy interventions on daily physical activities in chronic obstructive pulmonary disease. *Respiratory medicine*. 2008;102(4):505-11.
157. Pua Y-H, Cai C-C, Lim K-C. Treadmill walking with body weight support is no more effective than cycling when added to an exercise program for lumbar spinal stenosis: a randomised controlled trial. *Australian journal of physiotherapy*. 2007;53(2):83-9.
158. Whitman J, Flynn T, Childs J, Wainner R, Gill H, Ryder M, et al. A comparison between two physical therapy treatment programs for patients with lumbar spinal stenosis: a randomized clinical trial. *Spine (Philadelphia, Pa 1976)*. 2006;31(22):2541-9.
159. Steffen T, Boeve B, Mollinger-Riemann L, Petersen C. Long-term locomotor training for gait and balance in a patient with mixed progressive supranuclear palsy and corticobasal degeneration. *Physical Therapy*. 2007;87(8):1078-87.
160. Suteerawattananon M, MacNeill B, Protas E. Supported treadmill training for gait and balance in a patient with progressive supranuclear palsy. *Physical Therapy*. 2002;82(5):485-95.
161. Coquart JBJ, Lemaire C, Douillard C, Garcin M. Effets d'un programme de marche intermittente sur la masse et la composition corporelles de femmes obèses. *Annales d'Endocrinologie*. 2008;69(3):227-30.
162. Marsh AP, Katula JA, Pacchia CF, C. JL, Koury KL, Rejesky WJ. Effect of Treadmill and Overground Walking on Function and Attitudes in Older Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2006;38(6):1157-64
163. Taylor RS, Dalal H, Jolly K, Moxham T, Zawada A. Home-based versus centre-based cardiac rehabilitation. *Cochrane database of systematic reviews*. 2010(1).
164. De Backer IC, Schep G, Backx J, Vreugdenhil J, Kuipers H. Resistance training in cancer survivors: A systematic review. *International journal of sports medicine*. 2009;30(10):703-12.
165. Bonaiuti D, Shea B, Iovine R, Negrini S, Welch V, Kemper HH, et al. Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2002(2).
166. Cernak K, Stevens V, Price R, Shumway-Cook A. Locomotor Training Using Body-Weight Support on a Treadmill in Conjunction With Ongoing Physical Therapy in a Child With Severe Cerebellar Ataxia. *Physical Therapy*. 2008 January 2008;88(1):88-97.
167. Ada L, Dean C, Vargas J, Ennis S. Mechanically assisted walking with body weight support results in more independent walking than assisted overground walking in non-ambulatory patients early after stroke: a systematic review. *Journal of Physiotherapy*. 2010;56(3):153-61.
168. Cameron MH, Monroe LG. *Physical rehabilitation : evidence-based examination, evaluation, and intervention*. St. Louis, Mo.: Saunders/Elsevier; 2007.
169. Dancause N. Vicarious Function of Remote Cortex following Stroke: Recent Evidence from Human and Animal Studies. *The Neuroscientist*. 2006 December 1, 2006;12(6):489-99.



170. Umphred DA. Neurological rehabilitation. 5th ed. St. Louis, Mo.: Mosby Elsevier; 2007.
171. Lamontagne A, Fung J. Faster Is Better: Implications for Speed-Intensive Gait Training After Stroke. *Stroke*. 2004 November 1, 2004;35(11):2543-8.
172. Massion J. Cerveau et motricité . Presses Universitaires de France; 1997; Chapitre 2.
173. Wirz M, Colombo G, Dietz V. Long term effects of locomotor training in spinal humans. *Journal of neurology, neurosurgery and psychiatry*. 2001;71(1):93-6.
174. Dietz. Degradation of neuronal function following a spinal cord injury: mechanisms and countermeasures. *Brain*. 2004;127(10):2221-31.
175. Thielman G, Kaminski T, Gentile AM. Rehabilitation of reaching after stroke: comparing 2 training protocols utilizing trunk restraint. *Neurorehabilitation and neural repair*. 2008;22(6):697-705.
176. Jacobs JV, Lou JS, Kraakevik JA, Horak FB. The supplementary motor area contributes to the timing of the anticipatory postural adjustment during step initiation in participants with and without Parkinson's disease. *Neuroscience*. 2009;164(2):877-85.
177. Obeso J, Marin C, Rodriguez-Oroz C, Blesa J, Benitez-Temio B, Mena-Segovia J, et al. The basal ganglia in Parkinson's disease: current concepts and unexplained observations. *Annals of neurology*. 2008;64 Suppl 2:S30-S46.
178. Comerford MJ, Mottram SL. Movement and stability dysfunction--contemporary developments. *Manual therapy*. 2001;6(1):15-26.
179. Frownfelter DL, Dean E. Cardiovascular and pulmonary physical therapy : evidence and practice. 4th ed. St. Louis, MO: Mosby/Elsevier; 2006.
180. Whitman J, Flynn T, Childs J, Wainner R, Gill H, Ryder M, et al. A comparison between two physical therapy treatment programs for patients with lumbar spinal stenosis: a randomized clinical trial. *Spine* 2006;31(22):2541-9.