

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

L'ENTRAÎNEMENT EN TRICYCLE CHEZ L'ENFANT AVEC UNE
PARALYSIE CÉRÉBRALE : ÉTUDE DE FAISABILITÉ EN MILIEU SCOLAIRE

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
CLOÉ DUSSAULT-PICARD

OCTOBRE 2019

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.04-2020). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier en premier lieu mon directeur de recherche, le Professeur Laurent Ballaz, de croire en mes compétences universitaires, de me faire confiance et de m'avoir donné la chance d'entreprendre un aussi beau projet dans son laboratoire de recherche.

Je continuerai en remerciant de tout cœur ma famille et mes amis, pour l'amour et l'encouragement que je n'ai jamais manqué, mais surtout pour d'ores et déjà faire preuve de certitude par rapport à la réussite et l'excellence de mes réalisations. Votre confiance et votre soutien me motivent tous les jours.

Je voudrais également remercier tous les physiothérapeutes et les préposés de l'école Victor-Doré pour l'aide et le temps attribués au projet. Également, un énorme merci à l'entreprise Trivel pour le prêt d'équipements indispensables à l'entraînement.

Je remercie toute l'équipe d'étudiants et de professeurs du Centre de recherche Marie-Enfant pour l'aide constante à la réussite de ce projet. Je voudrais personnellement remercier Benjamin Sinclair de m'avoir assisté lors de toutes les démarches de ce projet, je ne saurai jamais comment te remercier pour ton implication complète et sans relâche ainsi que pour la qualité de ton travail. Un gros merci à Annie Laforte-Pouliot et Audrey Parent d'avoir été et d'être encore mes mentores depuis plus de 3 ans. J'ai appris de votre aide, de vos conseils et de l'excellence de vos réalisations.

Merci à l'Université du Québec à Montréal et plus particulièrement aux membres du département des sciences de l'activité physique de me permettre une formation aussi stimulante et complète.

Finalement, je remercie les 18 petits héros qui ont participé au projet ainsi que leurs parents pour leur implication et leur patience.



Merci à chacun de vous d'avoir contribué à ce beau projet et à mon expérience en tant que jeune chercheuse. Rien de tout cela n'aurait été possible sans vous.

DÉDICACE

*À Papa, Maman, Marie
et tous les autres*

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	ix
RÉSUMÉ	x
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I REVUE DE LA LITTÉRATURE	4
1.1 Définition de la paralysie cérébrale.....	4
1.2 Types de paralysie cérébrale.....	4
1.2.1 Paralysie cérébrale spastique	4
1.2.2 Paralysie cérébrale dyskinétique.....	6
1.2.3 Paralysie cérébrale ataxique.....	6
1.3 La classification du niveau fonctionnel.....	7
1.4 Pathophysiologie de la paralysie cérébrale.....	8
1.4.1 Troubles primaires.....	9
1.4.2 Troubles secondaires	11
1.4.3 Déconditionnement cardiorespiratoire	12
1.5 L'entraînement du système cardiorespiratoire.....	14
CHAPITRE II OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES.....	19
CHAPITRE III MÉTHODOLOGIE.....	20
3.1 Participants.....	20
3.1.1 Critères de sélection	20
3.1.2 Caractéristiques des participants	21

3.1.3	Éthique et informations.....	22
3.2	L'expérimentation.....	22
3.2.1	Les évaluations.....	23
3.2.2	L'entraînement.....	26
3.3	Analyses statistiques.....	32
CHAPITRE IV RÉSULTATS.....		33
4.1	Mise en place et déroulement.....	33
4.2	Évaluation des participants.....	37
4.3	Performances de pédalage.....	38
CHAPITRE V DISCUSSION.....		41
5.1	Faisabilité en milieu scolaire.....	41
5.2	Performances à l'entraînement.....	43
CHAPITRE VI CONCLUSION.....		47
ANNEXE I – LETTRE D'INFORMATION.....		49
ANNEXE II – FORMULAIRE DE CONSENTEMENT.....		51
ANNEXE III –ÉVALUATION DE LA FORCE MUSCULAIRE ISOMÉTRIQUE		57
ANNEXE IV –CAHIER DE PROTOCOLE D'ENTRAÎNEMENT VIERGE.....		58
ANNEXE V – PREMIÈRE PAGE DU CAHIER D'ENTRAÎNEMENT.....		61
RÉFÉRENCES.....		62

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Classification du niveau fonctionnel de GMFCS I à V	8
Figure 1.2 Reflexe d'étirement modifié de « La plasticité de la fonction motrice »	11
Figure 3.1 Cardiofréquencemètre et montre POLAR RS400	24
Figure 3.2 Dynamomètre portable (Lafayette Manual Muscle Testing (MMT) System)	25
Figure 3.3 Tricycles installés dans le gymnase des physiothérapeutes.....	27
Figure 3.4 Roue mobile du tricycle fixée sur rouleau	27
Figure 3.5 Tricycle rose T250	27
Figure 3.6 Tricycle bleu T250	27
Figure 4.1 Organigramme d'inclusion des participants.....	33

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1 Caractéristiques des participants.....	21
Tableau 3.2 Horaire hebdomadaire de l'entraînement sur tricycle	28
Tableau 4.1 Résumé de l'entraînement.....	34
Tableau 4.2 Motifs des séances non réalisées	35
Tableau 4.3 Motifs du refus de l'enfant et autres raisons.....	35
Tableau 4.4 Problèmes et commentaires rapportés par le responsable lors de séances ayant été réalisées dans sa totalité.....	36
Tableau 4.5 Évaluation des participants.....	37
Tableau 4.6 Performance de pédalage.....	39
Tableau 4.7 Corrélations entre l'IFG et les performances de pédalage	40
Tableau 4.8 Corrélations entre les performances de pédalage.....	40

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AP	Activité physique
CHU	Centre hospitalier universitaire
CRME	Centre de réadaptation Marie-Enfant
FC	Fréquence cardiaque
FC _{max}	Fréquence cardiaque maximale
FC _{moy}	Fréquence cardiaque moyenne
FCR	Fréquence cardiaque de réserve
%FCR	Pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve
FC _{repos}	Fréquence cardiaque de repos
GMFCS	Gross Motor Function Classification System
IFG	Indice de force globale
LAM	Laboratoire d'analyse de la marche
PC	Paralysie cérébrale
UM	Unité motrice
VD	Victor-Doré

RÉSUMÉ

Dans le cadre de cette recherche, il sera question d'évaluer si un entraînement de pédalage réalisé sur tricycle stationnaire peut répondre aux recommandations de pratique d'activité physique (intensité et de durée d'activité) ainsi que d'identifier les limitations physiques qui peuvent restreindre l'atteinte de ces recommandations chez des enfants avec une paralysie cérébrale. Cette étude de faisabilité est orientée vers les enfants avec un faible niveau fonctionnel, puisque ceux-ci ont une marche peu efficace et ainsi un manque d'activité physique qui les expose à une boucle de déconditionnement. Pour se faire, 13 enfants ayant une paralysie cérébrale, âgés de 6 à 13 ans ont réalisés un entraînement par intervalles sur tricycle stationnaire en milieu scolaire pendant 10 semaines, 2 séances par semaine. Les hypothèses soutiennent que la faiblesse de certaines capacités physiques limitera l'atteinte des recommandations mais qu'il sera tout de même faisable de réaliser un entraînement en tricycle en milieu scolaire pour des enfants de faibles niveau fonctionnel. Les résultats de cette recherche confirment la faisabilité de cette modalité d'entraînement et attestent l'atteinte des recommandations d'intensité et de durée d'activité physique afin de permettre un conditionnement cardiorespiratoire. Lors de recherches ultérieures, il sera intéressant d'évaluer l'effet d'un entraînement en tricycle mobile sur les capacités cardiorespiratoires ou même sur la marche et son efficacité.

Mots clés : Paralysie cérébrale, entraînement, capacité physique, pédiatrie

INTRODUCTION

La paralysie cérébrale (PC) est la déficience physique la plus fréquente chez l'enfant et se caractérise par des troubles permanents du mouvement et de la posture résultant d'une lésion cérébrale non progressive sur un cerveau en développement (Rosenbaum *et al.*, 2007; Shevell *et al.*, 2011). La PC de type spastique est la plus fréquente, représentant environ 80% des cas (Jones, Morgan, et Shelton, 2007). Les capacités motrices fonctionnelles de l'enfant avec une PC sont classiquement décrites suivant le « Gross Motor Function Classification System » (GMFCS) comprenant 5 niveaux, le cinquième représentant le niveau fonctionnel le plus faible (Palisano *et al.*, 1997). La perte de force (Moreau *et al.*, 2009), les troubles musculo-squelettiques (Gage *et al.*, 2009) et la faiblesse cardiorespiratoire (Verschuren et Takken, 2010) contribuent aux limitations fonctionnelles des enfants avec une PC spastique. Ces limitations réduisent la pratique d'activités physiques (AP) (Carlon *et al.*, 2013; Jahnsen *et al.*, 2003), et ce, particulièrement chez les enfants avec un niveau GMFCS II à IV (Johnston *et al.*, 2004). Le manque d'activité expose ces enfants à ce qui est décrit comme une spirale de déconditionnement (Durstine *et al.*, 2000), à savoir une baisse des capacités physiques due à un manque d'exercice; baisse qui limitera encore davantage l'enfant dans ses activités (Alves *et al.*, 2014; Davis *et al.*, 2011; Zwier *et al.*, 2010). Le coût énergétique de la marche de ces enfants est élevé (van den Hecke *et al.*, 2007; Waters et Mulroy, 1999) et peut entraîner une fatigue précoce, notamment chez les enfants les plus faibles (Parent *et al.*, 2016). Ainsi, l'exercice de marche peut difficilement être réalisé sur une durée suffisamment longue pour optimiser les capacités cardiorespiratoires de ces enfants. L'accessibilité à des exercices adaptés représente alors un enjeu majeur. Il est essentiel d'accroître l'accès à des modalités d'entraînement sécuritaires, efficaces et réalisables dans le but de prévenir le déconditionnement physique des enfants ayant la PC.

Une analyse de la littérature réalisée par Verschuren et ses collaborateurs portant sur l'entraînement des enfants avec une PC, a permis d'établir des recommandations spécifiques en termes de pratique d'AP (Verschuren *et al.*, 2016). Celles-ci suggèrent une fréquence minimale de 1 à 3 séances par semaine pour une intensité atteignant 40% à 60% de la fréquence cardiaque de réserve (FCR) et une durée minimale de 20 minutes par séance. La fréquence hebdomadaire des séances varie en fonction de la durée de la période d'entraînement, à savoir 3 séances par semaine pour un entraînement de 8 semaines et 2 séances par semaine pour un entraînement de 16 semaines. Il est également recommandé d'opter pour des exercices impliquant des mouvements rythmiques et continus, mettant en jeu des groupes musculaires importants. Au regard de ces informations, l'exercice de pédalage, lequel implique des sollicitations du système cardiorespiratoire et musculaire, semble correspondre à ces recommandations.

Plusieurs études ont d'ores et déjà évalué l'effet d'un entraînement de pédalage chez l'enfant avec la PC sur certaines capacités fonctionnelles (Anwer *et al.*, 2012; Bryant *et al.*, 2013; Diane L. Damiano *et al.*, 2011; Fowler *et al.*, 2010; Gualdi *et al.*, 2009; Knights *et al.*, 2014; Trevisi *et al.*, 2012; H. Williams et Pountney, 2007), sur la santé osseuse (Chen *et al.*, 2013) et sur le niveau de spasticité (Abe *et al.*, 2017). Ces études suggèrent également qu'il est possible de réaliser un entraînement en pédalage qui répond aux recommandations d'intensité et de durée d'exercice (Verschuren *et al.*, 2016). Cependant, ces recherches ont été réalisées sur des vélos modifiés, parfois combinés à de l'électrostimulation fonctionnelle (Gualdi *et al.*, 2009; Trevisi *et al.*, 2012) ou sur des ergocycles spécifiquement adaptés afin d'être utilisables et sécuritaires pour les enfants avec une PC (Abe *et al.*, 2017; Alves *et al.*, 2014; Anwer *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2013; Diane L. Damiano *et al.*, 2011; Fowler *et al.*, 2010; Knights *et al.*, 2014; H. Williams et Pountney, 2007). Ainsi, l'ensemble de ces études a été réalisé sur des dispositifs très dispendieux, peu accessibles, et ne représentant pas une modalité d'entraînement applicable à la vie quotidienne.

Récemment, une étude pilote a mis en lumière l'accessibilité du tricycle chez les enfants avec la PC pour parcourir de longues distances (Dussault-Picard *et al.*, 2016). Certains enfants utilisent ce mode de locomotion pour se déplacer dans les écoles adaptées. Pour la plupart, il s'agit d'un dispositif qui leur appartient et qu'ils peuvent également utiliser à la maison à des fins de loisir lors de la saison estivale. Ainsi, le tricycle est accessible, abordable, sécuritaire et ne nécessite aucune modification pour qu'il soit utilisable par un enfant avec une PC. À ce jour, aucune étude n'a évalué les effets d'un entraînement sur ce type de tricycle chez l'enfant avec une PC.

La présente recherche a pour objectif (1) d'évaluer si un entraînement en pédalage réalisé sur tricycle, tel que disponible dans le commerce, peut répondre aux recommandations de pratique d'AP en termes d'intensité et de durée d'activité, et (2) d'identifier les limitations physiques qui peuvent restreindre l'atteinte de ces recommandations chez des enfants avec une PC, notamment chez les enfants avec un faible niveau fonctionnel.

CHAPITRE I - REVUE DE LA LITTÉRATURE

1.1 Définition de la paralysie cérébrale

La PC se définit par l'ensemble des troubles permanents du mouvement et de la posture résultant d'une lésion cérébrale anténatale, périnatale ou postnatale non progressive (Jones, Morgan, Shelton, *et al.*, 2007; Rosenbaum *et al.*, 2007). La PC est un des troubles moteurs les plus communs chez les enfants (Boyle *et al.*, 1994). En effet, elle affecte environ 1 sur 500 nouveau-nés dans le monde (Graham *et al.*, 2016). Malgré qu'il n'existe aucun traitement à la PC, plusieurs thérapies, procédures chirurgicales et aide à la mobilité, ont été développées afin de minimiser les répercussions de l'atteinte lors du développement de l'enfant (Colver *et al.*, 2014).

1.2 Types de paralysie cérébrale

Les répercussions sur le développement neurophysiologique de l'enfant varient en fonction du moment de la lésion, de son emplacement et de sa sévérité (Gage *et al.*, 2009). La classification relative à la pathophysiologie de la PC s'effectue suivant trois catégories.

1.2.1 Paralysie cérébrale spastique

La PC spastique est le type le plus commun et représente 80% de la population atteinte (Jones, Morgan, Shelton, *et al.*, 2007). La majorité des études s'intéressent à ce type de PC étant donné sa prédominance. De plus, les effets de la spasticité sur le développement musculo-squelettique de l'enfant sont considérables, d'où l'importance de porter un intérêt particulier à ce type de PC en réadaptation pédiatrique. L'enfant spastique a généralement une marche atypique, qui exige plus d'effort que pour enfant

avec un développement sain (Gage *et al.*, 2009). Des explications plus approfondies sur la neurophysiologie de la spasticité seront présentées à la Section 1.4.

Variation topographique de la paralysie cérébrale spastique

Tel que mentionné plus haut, les conséquences de la PC varient en fonction de l'emplacement et de la sévérité de la lésion. Il existe alors une classification de la PC spastique en fonction de la topographie de l'atteinte.

a. La diplégie

La diplégie est la plus fréquente, représentant environ 30-40% de la population d'enfants spastiques. Il s'agit d'une atteinte bilatérale, affectant principalement les membres inférieurs et parfois légèrement les membres supérieurs (Jones, Morgan, Shelton, *et al.*, 2007). La majorité des enfants avec une diplégie spastique requière une assistance technique pour leur locomotion telle que des cannes quadripodes, une marchette ou un fauteuil roulant (Kerr Graham et Selber, 2003).

b. La quadriplégie

La quadriplégie correspond à une atteinte des quatre membres, du tronc et de la tête. Cette atteinte bilatérale représente environ 10 à 15% des enfants avec une PC spastique (Jones, Morgan, Shelton, *et al.*, 2007). La lésion affecte davantage le contrôle des membres inférieurs que celui des membres supérieurs (Minear, 1956) et est généralement associée à des limitations fonctionnelles importantes, imposant souvent l'utilisation d'un fauteuil roulant pour la locomotion (Kerr Graham et Selber, 2003).

c. L'hémiplégie

L'hémiplégie fait référence à l'atteinte d'un seul côté du corps. Cette atteinte unilatérale représente entre 20 et 30% des enfants avec une PC spastique (Jones, Morgan, Shelton, *et al.*, 2007). L'atteinte motrice est contralatérale à la lésion du cerveau et affecte davantage les membres supérieurs (Minear, 1956). Le côté non atteint permet en partie de compenser les limitations du membre lésé. Ainsi, les enfants avec une hémiplégie maintiennent habituellement un bon niveau fonctionnel et sont capables de marcher de façon indépendante (Kerr Graham et Selber, 2003).

Pour la classification de la PC spastique, il est suggéré de considérer les différentes typologies en termes d'atteinte unilatérale et bilatérale, parallèlement à la description du niveau fonctionnel (voir Section 1.3).

1.2.2 Paralysie cérébrale dyskinétique

La forme dyskinétique touche environ 10-15% de la population avec une PC (Jones, Morgan, Shelton, *et al.*, 2007) et résulte généralement d'une lésion localisée aux ganglions de la base. La dyskinésie est associée à des problèmes de posture et de mouvements répétitifs et incontrôlés (Amrita Kumari et S. Yadav, 2012; F. Taylor, 2005).

1.2.3 Paralysie cérébrale ataxique

La forme ataxique est rare et affecte environ 5% des personnes avec une PC (Jones, Morgan, Shelton, *et al.*, 2007). Dans la majorité des cas, l'ataxie est causée par une lésion du cervelet et se caractérise par une difficulté à coordonner les mouvements lors d'une tâche fonctionnelle telle que la marche (Gage *et al.*, 2009).

1.3 La classification du niveau fonctionnel

La PC occasionne une atteinte au niveau des capacités fonctionnelles à degrés variables. La classification de l'état fonctionnel des enfants avec la PC est établie grâce au Gross Motor Functional Classification System (GMFCS). Le GMFCS a été conçu en 1997 afin de standardiser la classification du niveau fonctionnel des enfants avec une PC. Cette méthode a été développée par 48 spécialistes d'expertises variées en réadaptation pédiatrique. Ils ont tout d'abord élaboré un système de classement à 5 niveaux (GMFCS I à V) pour des enfants âgés de 12 ans et moins (Palisano *et al.*, 1997) puis révisé pour les jeunes âgés de 18 ans et moins (Palisano *et al.*, 2008). Depuis, ce système est utilisé internationalement par les chercheurs et les cliniciens et permet une classification du niveau fonctionnel des enfants avec la PC (Morris et Bartlett, 2004). La Figure 1.1 illustre les 5 niveaux établis. Le niveau I est associé à des enfants ayant des dysfonctions motrices minimales, tandis que le niveau V représente des enfants n'ayant aucune indépendance fonctionnelle et nécessitant une assistance complète pour bouger. Les enfants avec un niveau GMFCS II à IV sont considérés comme des faibles marcheurs. Pour ces enfants, la dépense énergétique à la marche est forte et la vitesse de marche réduite, traduisant une marche peu efficiente (Dussault-Picard *et al.*, 2016; van den Hecke *et al.*, 2007; Waters et Mulroy, 1999). Une marche peu efficiente entraîne une fatigue précoce de l'enfant lors de ses déplacements et limite son périmètre de marche (Parent *et al.*, 2016). Ainsi, leurs déplacements quotidiens sont généralement très courts et moins fréquents (Graham *et al.*, 2004). Cette faible mobilité est insuffisante au maintien des capacités cardiorespiratoires (Verschuren *et al.*, 2016) et d'une bonne santé cardiovasculaire (McPhee, 2019). Ces enfants sont donc à risque de déconditionnement et ainsi d'une diminution de leur habileté locomotrice à l'adolescence ou à l'âge adulte.

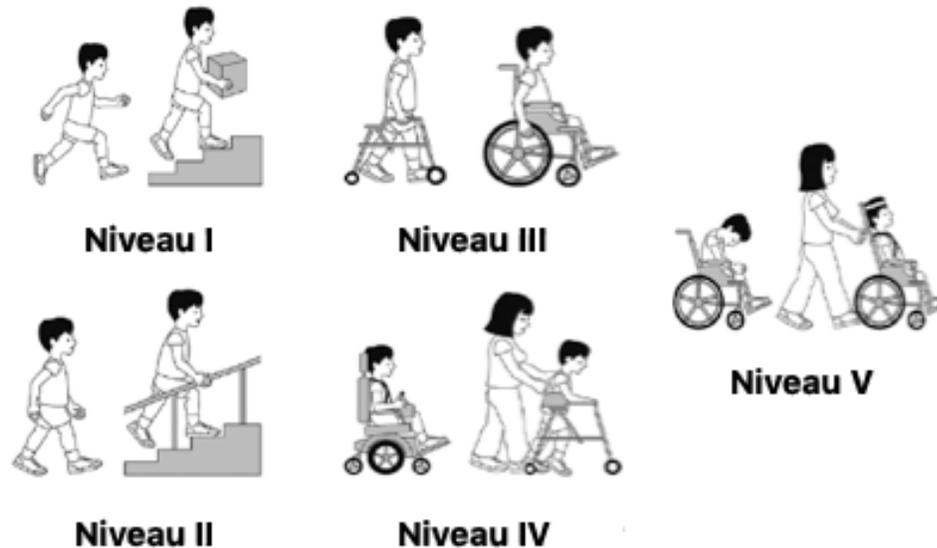


Figure 1.1 Classification du niveau fonctionnel de GMFCS I à V (Illustration modifiée de Mandaleson et al. (2015)).

1.4 Pathophysiologie de la paralysie cérébrale

Plusieurs manifestations pathophysiologiques communes sont observables lors du développement de l'enfant avec une PC (Kriger, 2006). Certaines sont considérées comme des troubles primaires, tels que la parésie et la spasticité, d'autres sont définies comme des troubles secondaires, tels que les difformités osseuses et les rétractions musculaires. Les troubles secondaires sont les conséquences des troubles primaires et de la croissance de l'enfant (Gage *et al.*, 2009; Kerr Graham et Selber, 2003). Malgré les thérapies de réadaptation, les aides techniques ou les chirurgies orthopédiques réalisées chez ces enfants, ces troubles entraînent des adaptations tertiaires se traduisant par des limitations fonctionnelles menant à un déconditionnement physique (Damiano, 2009; Durstine *et al.*, 2000). Les sections suivantes détaillent les troubles primaires et secondaires des enfants avec une PC ainsi que leurs retentissements sur la fonction motrice.

1.4.1 Troubles primaires

1) Parésie

La PC est généralement associée à une faiblesse musculaire. La lésion cérébrale responsable de la PC affecte le motoneurone supérieur du tractus pyramidal. La perturbation de la voie descendante excitatrice occasionne une activation incomplète des motoneurons supérieurs lors de la commande motrice (Gage *et al.*, 2009). Le nombre d'unités motrices (UM) activées lors de la contraction volontaire est donc plus faible (Moreau *et al.*, 2009; Stackhouse *et al.*, 2005). La diminution des propriétés contractiles du muscle joue également un grand rôle dans la production de force. Le faible recrutement des UM engendre une sollicitation insuffisante du muscle menant à une atrophie des fibres et à la perte d'UM (Gage *et al.*, 2009; Stackhouse *et al.*, 2005).

Chez l'enfant avec une PC, la faiblesse musculaire des membres inférieurs nuit à la réalisation de certaines tâches fonctionnelles, dont la marche (Johnston *et al.*, 2004). En effet, il a été rapporté que la force isométrique des muscles mobilisant les hanches, les chevilles (Ballaz *et al.*, 2010; Eek et Beckung, 2008; Wiley et Damiano, 2008) et les genoux (Dallmeijer *et al.*, 2017; Pouliot-Laforte *et al.*, 2014) ont une grande influence sur les habiletés de marche. La faiblesse musculaire est également associée à une fatigue plus précoce lors de la marche en raison de la force relative élevée qu'elle requière (Stackhouse *et al.*, 2005). Il a été démontré que la fatigue musculaire survient même lors de courtes distances de marche représentatives de la vie quotidienne des enfants avec la PC (Graham *et al.*, 2004). Cette fatigue précoce induit des adaptations cinématiques de la marche, notamment une plus grande flexion des genoux et des chevilles (Parent *et al.*, 2016). Ainsi, la parésie limite l'enfant avec une PC dans ses habiletés fonctionnelles, incluant la réalisation d'exercices physiques.

2) Spasticité

La spasticité est le trouble du tonus musculaire le plus fréquent chez l'enfant avec une PC (Gage *et al.*, 2009). La lésion cérébrale occasionne une atteinte du motoneurone supérieur qui cause une réduction des afférences supra-spinales inhibitrices sur le motoneurone α . Lance a décrit la spasticité comme étant une hyperexcitabilité vitesse-dépendante du réflexe d'étirement (voir Figure 1.2) provoquant des contractions involontaires du muscle lorsque celui-ci s'allonge (Lance, 1980). Lors d'une contraction volontaire, la co-contraction involontaire du muscle antagoniste spastique diminue la capacité d'un muscle agoniste à produire de la force (Damiano *et al.*, 2001; Engsberg *et al.*, 1998; Stackhouse *et al.*, 2005; Wiley et Damiano, 2008). L'augmentation des co-contractions musculaires entraîne également une augmentation du coût énergétique relié au mouvement (Gage *et al.*, 2009; Unnithan *et al.*, 1996). La spasticité est une des principales causes des difformités musculo-squelettiques des enfants avec une PC (voir Section 1.4.2) (Gage *et al.*, 2009; van den Hecke *et al.*, 2007).

Plusieurs approches ont été élaborées au fil des années afin de réduire la spasticité. La méthode la plus fréquente est l'injection de toxines botuliques, qui induit localement un relâchement du muscle (Grigoriu *et al.*, 2015).

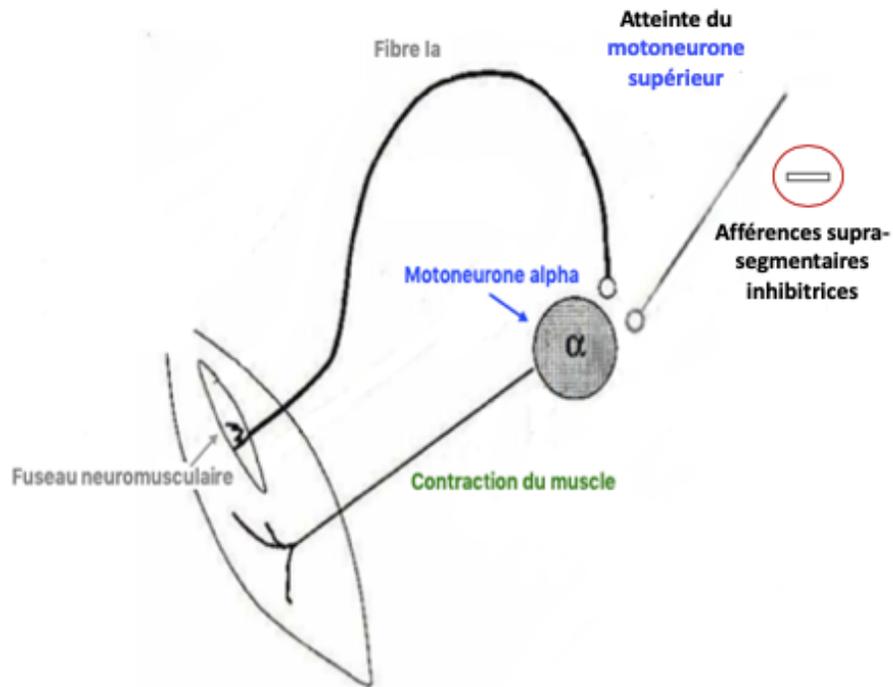


Figure 1.2 Reflexe d'étirement modifié de « La plasticité de la fonction motrice » (Didier, 2004).

1.4.2 Troubles secondaires

1) Rétractions musculaires

Pour éviter l'étirement musculaire, la longueur de repos d'un muscle spastique est plus courte que celle d'un muscle non spastique et est peu sollicitée pour des allongements de grandes amplitudes (P. E. Williams et Goldspink, 1984). Au cours du développement, le manque de sollicitation du muscle à des longueurs suffisantes provoque une rétraction musculaire, c'est à dire une réduction de la longueur des fibres musculaires et plus particulièrement du sarcolemme (Williams et Goldspink, 1973, 1978). Ces adaptations biomécaniques du muscle expliquent en partie les limitations musculo-articulaires se développant au niveau des membres spastiques (de Bruin *et al.*, 2013; Gage *et al.*, 2009; Patrick et Ada, 2006; Smaïl *et al.*, 2003).

La rétraction musculaire sévère peut en partie être corrigée grâce à des chirurgies orthopédiques, qui consistent à allonger le tendon ou le muscle rétracté (Winterton et Baldwin, 2018; Wood et Daluiski, 2018).

2) Difformités osseuses

De manière générale, l'enfant ayant une PC ne naît avec aucune difformité osseuse. Celles-ci surviennent au cours de la croissance, en raison des contraintes mécaniques anormales qu'imposent la spasticité et les rétractions musculaires sur le système squelettique (Gage *et al.*, 2009; Kerr Graham et Selber, 2003). Les difformités telles que la torsion des os au niveau des membres inférieurs mènent généralement à une instabilité articulaire contraignant la fonction motrice et la pratique d'AP (Kerr Graham et Selber, 2003; Stebbins *et al.*, 2010).

1.4.3 Déconditionnement cardiorespiratoire

Au cours du développement, les répercussions neurophysiologiques primaires de l'atteinte cérébrale mènent à des troubles secondaires, tels que décrits à la Section 1.4.2. Ces répercussions donnent lieu à des limitations fonctionnelles, aussi appelées adaptations tertiaires. Celles-ci restreignent l'enfant avec une PC dans la réalisation de ses tâches quotidiennes et dans sa pratique d'AP. Ainsi, ils sont sujets au déconditionnement physique (Durstine *et al.*, 2000) et à une augmentation des risques de maladies cardiovasculaires (Maltais *et al.*, 2014; McPhee, 2019).

La faiblesse cardiorespiratoire des enfants avec la PC est bien connue. En effet, une étude a démontré que la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$) des enfants et adolescents avec la PC de niveau GMFCS I et II est significativement plus petite que celle d'enfant et adolescent avec un développement normal (Verschuren et Takken, 2010). Des tests d'effort maximal progressifs, adaptés aux capacités motrices des enfants avec une PC (GMFCS I-IV), ont été développés afin d'évaluer leur santé

cardiorespiratoire (Verschuren *et al.*, 2006; Verschuren, Bosma, *et al.*, 2011; Verschuren *et al.*, 2013). Verschuren, Maltais, et Takken (2011) ont d'ailleurs justifié que l'équation généralisée (220-âge) permettant de calculer la fréquence cardiaque maximale (FC_{max}) d'un individu ne s'applique pas pour les enfants avec la PC, et ce en raison de leur faiblesse cardiorespiratoire. D'après les 362 enfants avec la PC ayant réalisés le test maximal, la FC_{max} moyenne du groupe fût de 194 ± 9.9 battements par minutes (bpm) et aucune association n'a été démontré avec l'équation 220-âge. Les auteurs suggèrent donc d'utiliser la moyenne de 194 bpm à titre de FC_{max} pour un enfant ayant la PC lorsqu'il n'est pas possible de faire un test à effort maximal.

Chez les enfants avec la PC, cette faiblesse cardiorespiratoire est également associée à un coût en oxygène relatif à la marche très élevé (van den Hecke *et al.*, 2007; Waters et Mulroy, 1999). Ainsi, pour une même distance et vitesse de marche, un enfant avec la PC aura une plus grande consommation d'oxygène ($\%VO_2max$) qu'un enfant sain, se traduisant par une efficacité locomotrice réduite (Campbell et Ball, 1978). L'efficacité locomotrice se définit par le rapport entre la dépense énergétique et la distance parcourue (Rose *et al.*, 1991). Chez l'enfant ayant la PC, il a d'ailleurs été rapporté que le niveau d'AP est associé au coût d'oxygène relatif à la marche (Maltais *et al.*, 2005).

Il a également été démontré que les personnes ayant une PC ont un plus grand risque de développer des maladies cardiovasculaires comparativement à celles ayant un développement typique (McPhee, 2019). Ce risque est associé à l'âge et au niveau fonctionnel (Maltais *et al.*, 2014). L'importance d'orienter l'enfant avec la PC dès l'enfance vers l'AP est donc considérable pour la prévention des symptômes du syndrome métabolique et à la réduction des risques de maladies cardiovasculaires qui y sont associés. De plus, l'expérience positive, l'engagement social et l'amélioration de la santé globale qu'apporte l'adoption d'un mode de vie actif prédisposent l'enfant à conserver ses saines habitudes à l'âge adulte (Cairney *et al.*, 2019).

Ainsi, les limitations fonctionnelles issues des troubles secondaires à la lésion rendent l'accès à un mode de vie actif beaucoup plus difficile pour un enfant avec la PC en réduisant les possibilités de pratique d'AP et d'entraînement physique (Carlon *et al.*, 2013; Jahnsen *et al.*, 2003; Zwier *et al.*, 2010). De plus, le risque de chutes et de blessures en lien avec la pratique d'AP rend également celle-ci moins accessible dans la vie quotidienne puisque l'enfant nécessite une supervision constante (Heath et Fentem, 1997; Maher *et al.*, 2007). Ces contraintes sont associées à une faible fréquence de la pratique d'AP, menant à une boucle de déconditionnement (Durstine *et al.*, 2000) et des répercussions sur la santé métaboliques (McPhee, 2019).

Il est donc important de s'intéresser aux modalités d'entraînement permettant de réduire ou d'éviter le déconditionnement cardiorespiratoire des enfants avec la PC.

1.5 L'entraînement du système cardiorespiratoire

Des revues de la littérature ont mis en lumière la possibilité d'améliorer les capacités cardiorespiratoires des enfants avec une PC (Butler *et al.*, 2010; Verschuren *et al.*, 2008). Une étude menée par Verschuren et ses collègues ont rapporté une augmentation significative des capacités cardiorespiratoires suite à un programme d'entraînement de 8 mois. Celui-ci était réalisé sous forme d'un circuit de 20 à 35 minutes et constitué d'exercices fonctionnels aérobies, anaérobies et de renforcement musculaire. Le groupe suivant l'entraînement a augmenté de manière significative sa performance au test navette adapté comparativement à un groupe contrôle ayant poursuivi ses activités habituelles (Verschuren *et al.*, 2007). Une augmentation significative de la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$) a également été rapportée suite à un programme d'entraînement de 6 semaines, constitué de séances de sauts et de course de 30 minutes, à raison de deux fois par semaine (Lundberg *et al.*, 1967). Une autre étude a révélé une augmentation significative de la consommation

d'oxygène (VO_2) au seuil anaérobie des enfants ayant réalisé un programme d'entraînement de pédalage sur ergomètre avec les membres inférieurs d'une durée de 6 à 20 semaines, deux fois par semaine. Les séances consistaient à 20 minutes de pédalage au seuil anaérobie (Shinohara *et al.*, 2002). Aussi, une étude menée par Van den Berg-Emons et ses collègues a mis en lumière une augmentation significative de la puissance maximale aérobie suite à un programme d'entraînement de 4 séances de 45 minutes par semaine pendant 9 mois, comparativement à un groupe contrôle ayant maintenu son niveau d'AP régulier. L'entraînement était majoritairement composé d'exercices aérobies, permettant d'atteindre des FC moyennes de 135 bpm, dont le pédalage, la marche, la course, la nage et la conduite en chaise roulante (Van den Berg-Emons *et al.*, 1998). De plus, Ballaz, Plamondon, et Lemay (2011) ont mis en évidence des adaptations cardiorespiratoires permettant une amélioration significative de l'efficacité de la marche suite à un entraînement en natation de 10 semaines, d'une intensité supérieure à 40% de la FCR pour une durée moyenne de 24 minutes par séance (Ballaz *et al.*, 2011).

Les études rapportant des améliorations significatives de la santé cardiovasculaire des enfants avec une CP diffèrent grandement en termes de modalité, de fréquence, d'intensité et de durée d'entraînement. Une analyse de la littérature réalisée par Verschuren et ses collaborateurs a permis d'établir des recommandations de pratique d'AP (Verschuren *et al.*, 2016). Pour les exercices sollicitant le système cardiorespiratoire, celle-ci suggère une intensité atteignant 40% à 60% de la fréquence cardiaque de réserve (FCR), d'une durée minimale de 20 minutes par séance, pour au moins 8 semaines. La fréquence hebdomadaire des séances varie en fonction de la durée de la période d'entraînement, à savoir 3 séances par semaine pour un entraînement de 8 semaines et 2 séances par semaine pour un entraînement de 16 semaines. Il est également suggéré d'opter pour des exercices impliquant des groupes musculaires dominants, à l'occasion de mouvements continus, rythmiques et volontaires.

L'exercice de marche

L'exercice de marche, lequel implique les capacités cardiorespiratoires et musculaires par des mouvements alternés (Eek et Beckung, 2008; Suzuki *et al.*, 2001) semblent correspondre aux dernières recommandations de la littérature. Toutefois, tel qu'il a été expliqué précédemment, cette activité requière une grande dépense énergétique pour l'enfant avec la PC (Rose *et al.*, 1990) et ce, plus particulièrement pour les enfants ayant un faible niveau fonctionnel, en raison de leur grande faiblesse musculaire (Dallmeijer *et al.*, 2017). Pour un enfant avec la PC ayant des limitations fonctionnelles importantes, l'exercice de marche est donc une modalité trop fatigante (Parent *et al.*, 2016) afin d'être maintenue des durées suffisantes à l'atteinte des recommandations de la littérature, soit 20 minutes d'activité.

Ainsi, l'activité de pédalage, laquelle implique également les capacités cardiorespiratoires et musculaires (Bryant *et al.*, 2013; Rimmer, 2001; Williams et Pountney, 2007) par des mouvements alternés semblent davantage praticable pour des enfants ayant une faiblesse musculaire et des limitations fonctionnelles importantes puisqu'elle ne nécessite pas le maintien de la position debout et ainsi, le transport du poids corporel.

L'entraînement de pédalage

Tel que mentionné plus haut, plusieurs études ont d'ores et déjà évalué l'effet d'un entraînement de pédalage sur certaines capacités fonctionnelles (Anwer *et al.*, 2012; Bryant *et al.*, 2013; Diane L. Damiano *et al.*, 2011; Fowler *et al.*, 2010; Gualdi *et al.*, 2009; Knights *et al.*, 2014; Trevisi *et al.*, 2012; H. Williams et Pountney, 2007), sur la santé osseuse (Chen *et al.*, 2013), sur le niveau de spasticité (Abe *et al.*, 2017) et même sur l'attention et la mémoire (Alves *et al.*, 2014). Cependant, ces entraînements ont été réalisés sur des installations très dispendieuses et ne représentent pas des modalités accessibles dans la vie quotidienne.

En termes d'intensité d'entraînement sur ergocycles adaptés, des études réalisées avec des enfants de GMFCS I à III (Fowler *et al.*, 2010; Knights *et al.*, 2014) ont été en mesure d'atteindre les recommandations (>40%FCR). Chez des enfants avec un niveau GMFCS IV, ce type d'entraînement réalisé sur des ergocycles adaptés n'a pas pu répondre aux recommandations en termes de temps d'activité (>20min). Cependant, cette étude a démontré des améliorations significatives pour certaines habiletés fonctionnelles, incluant la marche, la course et les sauts (Williams et Pountney, 2007). Ainsi, ces études suggèrent qu'il est possible de réaliser un entraînement de pédalage qui répond aux recommandations d'intensité et de durée d'exercice. Cependant, outre à l'occasion d'un projet de recherche, l'accès à de telles modalités d'entraînement sur une base régulière est très rare, voire inaccessible. Pour permettre un reconditionnement et un maintien des capacités cardiorespiratoires par un entraînement correspondant aux recommandations de la littérature (fréquence, intensité et durée), la modalité choisie doit être sécuritaire, motivante et facilement accessible.

Une étude pilote a mis en lumière la possibilité d'utiliser des tricycles (Trivel, Montréal, Canada) chez les enfants avec la PC pour parcourir des longues distances dans les écoles (Dussault-Picard *et al.*, 2016). L'utilisation de ce dispositif disponible dans le commerce revêt un intérêt particulier, et ce plus spécifiquement pour les enfants avec un niveau GMFCS III. En effet, puisque ces enfants utilisent habituellement une chaise roulante pour les longs déplacements, l'usage d'un tricycle augmente grandement leur niveau d'AP en sollicitant leurs capacités cardiorespiratoires et musculaires. De plus, pour la plupart des usagers le tricycle leur appartient et ils l'utilisent également à la maison à des fins de loisir lors de la saison estivale. Celui-ci est donc accessible, sécuritaire, abordable financièrement et ne nécessite aucune adaptation supplémentaire suite à l'achat afin d'être utilisé par un enfant ayant des limitations fonctionnelles importantes.

Étant donné qu'aucune investigation n'a été réalisée concernant le tricycle, qui est à la disposition de ces jeunes et qui est conceptuellement adapté à la population, la faisabilité d'un entraînement en tricycle doit être étudiée pour les enfants ayant une PC.

Conflit d'intérêts

Bien que l'étude présentée soit en lien avec un produit, il est important de noter qu'il n'y a aucun conflit d'intérêts à déclarer. Les tricycles de la compagnie Trivel ont été utilisés puisqu'il s'agit de la seule entreprise québécoise à permettre l'achat de tricycles adaptés en commerce et que ce sont également les dispositifs achetés et prêtés à l'école Victor-Doré.

CHAPITRE II – OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

Le présent mémoire s'intéresse à la faisabilité d'un entraînement de pédalage sur tricycle adapté, tel que disponible dans le commerce, comme modalité d'entraînement physique pour des enfants ayant une PC. Ce travail évaluera si l'entraînement sur tricycle stationnaire peut répondre aux recommandations de pratique d'AP et identifiera les limitations physiques qui peuvent restreindre l'atteinte de ces recommandations. Pour ce faire, le présent travail s'articule autour d'un objectif principal et deux sous-objectifs :

Objectif principal : Déterminer si un entraînement de pédalage permet d'atteindre des intensités et des durées moyennes d'AP suffisantes, pour une période de 10 semaines.

Hypothèse principale : Nous émettons l'hypothèse qu'un entraînement de pédalage de 10 semaines, à raison de deux séances par semaine, permettra d'atteindre des intensités moyennes supérieures à 40% FCR pour une durée moyenne de 20 minutes par séance.

Sous-objectif 1 : Déterminer si la faiblesse musculaire et les limitations articulaires des membres inférieurs sont des éléments limitant l'atteinte des recommandations.

Hypothèse 1 : Nous émettons l'hypothèse que la faiblesse musculaire et les limitations articulaires des membres inférieurs limiteront l'intensité de pédalage développée ainsi que le temps de pédalage pouvant être réalisé lors d'un entraînement.

Sous objectif 2 : Déterminer si la performance de pédalage diffère selon le niveau fonctionnel global (GMFCS) de l'enfant.

Hypothèse 2 : Nous émettons l'hypothèse que les enfants ayant un niveau GMFCS II auront des intensités et des temps de pédalage plus élevés que les enfants ayant un niveau GMFCS III et IV.

CHAPITRE III – MÉTHODOLOGIE

3.1 Participants

Les participants de l'étude ont été recrutés à l'école primaire Victor-Doré de Montréal, établissement scolaire adapté aux enfants polyhandicapés de 5-13 ans. La sélection était effectuée par l'intermédiaire des physiothérapeutes du service de réadaptation en milieu scolaire du CHU Sainte-Justine de l'école en fonction des disponibilités des enfants et des critères de sélection ici-bas :

3.1.1 Critères de sélection

a. Critères d'inclusion

- Être âgé entre 6 et 13 ans.
- Avoir un diagnostic clinique de PC spastique.
- Avoir un niveau GMFCS II à IV.
- Être capable de réaliser un mouvement continu de pédalage pendant au moins 30 secondes.
- Être capable de marcher avec ou sans aide technique pendant au moins 6 minutes.
- Être en mesure de comprendre et de respecter des consignes verbales.

b. Critères d'exclusion

- Avoir une contre-indication à l'exercice physique.
- Injections de toxines botuliques aux membres inférieurs durant les 6 derniers mois ou prévus lors de l'étude.
- Intervention chirurgicale l'année précédant l'étude ou prévue lors de l'étude.
- Participation à une nouvelle thérapie ou traitement lors des 6 derniers mois ou prévu lors de l'étude.

3.1.2 Caractéristiques des participants

Les caractéristiques des participants ont été obtenues par une analyse rétrospective du dossier médical, approuvée par un comité d'éthique (voir Section 3.1.3).

Tableau 3.1 Caractéristiques des participants

Participant	Niveau GMFCS	Sexe (G/F)	Type de PC	Âge (année)
1	II	F	U	10
2	II	F	B	10
3	II	G	U	11
4	II	F	U	12
5	II	F	B	9
6	II	F	B	11
7	III	G	B	8
8	III	G	B	10
9	III	F	B	9
10	III	F	B	13
11	III	G	B	8
12	III	G	B	13
13	IV	G	B	6
II: n=6 III: n=6 IV: n=1				10 (2)
		G: n=6 F: n=7	U: n=3 B: n=10	

Abréviations : B, atteinte bilatérale ; F, fille ; G, garçon ; GMFCS, Gross Motor Function Classification System ; PC, paralysie cérébrale ; U, atteinte unilatérale.

3.1.3 Éthique et informations

Le comité d'éthique du Centre de recherche du CHU de Sainte-Justine a approuvé ce projet de recherche ainsi que tous les documents transmis aux parents :

- Une lettre d'information a d'abord été envoyée aux parents par l'agenda de tous les enfants qui répondaient aux critères d'inclusion et d'exclusion (n=15). La lettre en question décrivait de façon générale le projet de recherche et les personnes impliquées (voir Annexe I).
- Les parents ou les responsables légaux ayant accepté que leur enfant participe au projet de recherche (n=13) ont reçu par la suite un consentement de participation. Le consentement décrit de façon détaillée le projet, les évaluations, l'implication des parents et du participant, la durée du projet, le but, les risques, les retombées attendues ainsi que la confidentialité de la participation (voir Annexe II).

3.2 L'expérimentation

La totalité de l'expérimentation (évaluation et entraînement) s'est effectuée sur une durée moyenne de 3 mois pour tous les participants. Les évaluations visant à caractériser les capacités physiques des participants ont été effectuées lors des 3 semaines précédant le début de l'entraînement. Tous les participants ont reçu leurs médicaments et leurs thérapies habituelles pendant la durée de l'expérimentation, qui ne devaient pas changer au courant de l'étude. L'entraînement sur tricycle s'est échelonné sur 10 semaines.

3.2.1 Les évaluations

Les évaluations ont été réalisées à l'école VD et au laboratoire d'analyse de la marche du centre de réadaptation Marie-Enfant (LAM-CRME) du CHU Sainte-Justine lors des 3 semaines précédant le début de l'entraînement.

a. Mesures

Sollicitation cardiorespiratoire à la marche

La fréquence cardiaque (FC), exprimée en battements par minute (bpm), a été enregistrée en continu au repos et lors d'un exercice de marche à l'aide d'un cardiofréquencemètre POLAR RS400 (voir Figure 3.1) avec une fréquence d'acquisition de 5 secondes. Avant de débiter l'exercice de marche, il était demandé à l'enfant de s'allonger sur le dos sur un tapis de gymnase et de rester immobile pendant 5 minutes. La FC de repos a été déterminée en considérant la valeur moyenne minimale de la FC sur une période de 30 secondes. Puis, l'enfant a marché à vitesse confortable de façon continue pendant 6 minutes dans les corridors de l'école en assurant que le passage soit libre tout au long du parcours. Sans influencer la vitesse de marche de l'enfant, l'évaluateur marchait près du participant en donnant un encouragement chaque minute. À la fin du test, l'évaluateur a mesuré la distance parcourue en mètre. La FC à la marche a été déterminée en considérant la FC_{moy} lors des trente dernières secondes de l'exercice (Rose *et al.*, 1991). L'intensité relative de l'effort a été exprimée en %FC de réserve (FCR). Le %FCR se calcul ainsi :

$$\% FCR = \frac{FC_{exercice} - FC_{repos}}{FC_{max(194)} - FC_{repos}} \times 100$$

La FC_{max} utilisée est la FC_{max} théorique, égale à 194 bpm (voir Section 1.4.3., Verschuren, Maltais, *et al.*, 2011)



Figure 3.1 Cardiofréquencemètre et montre POLAR RS400

Force musculaire isométrique maximale

La force musculaire isométrique maximale des membres inférieurs a été mesurée à l'aide d'un dynamomètre portable, tel que validé chez les enfants avec une PC (voir Figure 3.2) (Eek *et al.*, 2006; Taylor *et al.*, 2004). L'évaluation de la force isométrique a été réalisée au LAM du CRME du CHU de Sainte-Justine. Les évaluations ont toutes été menées par l'assistant de recherche du Pr. Laurent Ballaz, Benjamin Sinclair avec l'assistance d'un étudiant qualifié du laboratoire ou par moi. Un protocole d'évaluation standardisé (Eek *et al.*, 2006) a été effectué pour mesurer la force maximale isométrique de cinq groupes musculaires : les extenseurs du genou, les fléchisseurs du genou, les fléchisseurs de la hanche, les extenseurs de la hanche et les abducteurs de la hanche de chacune des jambes. La force isométrique des extenseurs et des fléchisseurs du genou a été évaluée en position assise, les genoux fléchis à 90 degrés. La force isométrique des fléchisseurs de la hanche a été évaluée en décubitus dorsal, les hanches et les genoux fléchis à 90 degrés. La force isométrique des extenseurs de la hanche a été évaluée en décubitus ventral les genoux en extensions et celle des abducteurs de la hanche a été évaluée en décubitus dorsal, les genoux en extension (voir Annexe III). Chaque participant a réalisé 3 contractions maximales de 5 secondes avec 30 secondes de repos entre les essais. Des encouragements standardisés de : « pousser le plus fort possible » étaient donnés à chaque essai. Le dynamomètre portable enregistre la force

maximale (N) développée lors du 5 secondes. La moyenne des deux valeurs les plus rapprochées a été calculée. Cette force maximale a ensuite été normalisée (Nm/kg) en fonction de la longueur du segment (m) et la masse corporelle (kg) (Sison-Williamson *et al.*, 2014). Pour chaque participant, l'indice de force global des membres inférieurs (IFG) a été calculé en additionnant la valeur obtenue pour chacun des 5 groupes musculaires de chaque jambe (Buchner *et al.*, 1996). L'IFG fournit une caractérisation générale de la force musculaire isométrique des membres inférieurs. Cette méthode a été utilisée à l'occasion d'études antérieures (Damiano et Abel, 1998; Ross et Engsborg, 2007).



Figure 3.2 Dynamomètre portable (Lafayette Manual Muscle Testing (MMT) System)

Autres mesures

Les limitations articulaires ont été obtenues par une analyse rétrospective du dossier médical du participant. Le niveau de spasticité, tel que mesuré par l'échelle de Tardieu (Gracies *et al.*, 2010; Tardieu *et al.*, 1954), a également été rapporté pour le groupe musculaire extenseur et fléchisseur des genoux et de la cheville. Une évaluation effectuée par le physiothérapeute du participant lors des 6 derniers mois était considérée. Des résultats préliminaires présentant les données des évaluations des participants sont ajoutés à la Section 4.

3.2.2 L'entraînement

a. Mise en place

Tous les participants effectuaient des séances d'entraînement de 40 minutes à raison de 2 séances par semaine pendant 10 semaines. Les entraînements ont eu lieu dans le gymnase des physiothérapeutes de l'école Victor Doré, où les enfants ont l'habitude de faire de l'AP. Deux tricycles T250 (Trivel, Montréal, Canada) ont été utilisés pour l'entraînement. Les tricycles n'ont pas été modifiés, seulement ajustés suivant les possibilités offertes par le matériel. Une des roues du tricycle T250 a été placée sur un rouleau (voir Figure 3.3). Les rouleaux (qui induisaient une petite résistance) étaient modifiés afin d'être compatibles aux tricycles et les pneus étaient gonflés à leur pleine capacité afin de réduire la résistance du pédalage (voir Figure 3.4). Le tricycle était stationnaire dans le but de standardiser les conditions de pédalage en réduisant les arrêts. D'un point de vue sécuritaire, pour éviter les risques de collisions et de chutes, cette modalité d'entraînement a été retenue.

Les tricycles étaient tous deux équipés d'une selle large, d'un dossier avec appuis latéraux de 15 pouces, d'une ceinture à la hauteur des hanches, d'un plastron, de pédales talonnières, d'un engrenage fixe, de bras d'abduction et d'un guidon en forme de « 0 » (voir Figure 3.5 et 3.6). Dans le but d'optimiser la position de pédalage, la hauteur de l'assise et la distance banc-guidon étaient ajustées à chaque début de séance pour chaque enfant. Des capteurs dynamométriques Power Tap (Saris Cycling Group, Madison, USA) ainsi que des capteurs de vitesses Wahoo (Wahoo Fitness, Géorgie, USA) ont été ajoutés aux deux pédales de chaque tricycle afin d'évaluer les performances de pédalage, soient la puissance et la cadence.



Figure 3.3 Tricycles installés dans le gymnase des physiothérapeutes



Figure 3.4 Roue mobile du tricycle fixée sur rouleau



Figure 3.5 Tricycle rose T250



Figure 3.6 Tricycle bleu T250

* (1) : Selle à plateforme large, (2) : Dossier avec appuis latéraux de 15 pouces, (3) : Ceinture, (4) : Plastron, (5) : Pédales talonnières, (6) : Engrenage fixe, (7) : Bras d'abduction, (8) : Guidon en forme de « 0 »

b. Horaire de l'entraînement

L'horaire de l'entraînement a été mis en place en considérant l'heure d'arrivée à l'école le matin, les disponibilités lors de l'heure de dîner et les périodes libres dans la journée de l'enfant. Les entraînements en matinée étaient priorisés puisqu'il s'agit du moment où l'enfant a le plus d'énergie. En raison du nombre de tricycles, seulement 2 enfants à la fois pouvaient s'entraîner simultanément. Chaque enfant avait 2 plages horaires par semaine dédiées à l'entraînement sur tricycle avec un minimum d'une journée de repos entre les séances (voir Tableau 3.2).

Tableau 3.2 Horaire hebdomadaire de l'entraînement sur tricycle

	LUNDI	MARDI	MERCREDI	JEUDI	VENDREDI
8H00	PART 1 (1)		PART 1 (2) PART 2 (2)	PART 8 (2) PART 9 (2)	
9H30					
10H15					
10H30					
11H15	PART 5 (1)				
11H45	PART 4 (1) PART 2 (1)	PART 11 (1) PART 10 (1)	PART 4 (2) PART 3 (2)	PART 10 (2) PART 11 (2)	
12H35	PART 12 (1) PART 9 (1)		PART 13 (1) PART 6 (1)	PART 12 (2) PART 5 (2)	PART 6 (2) PART 13 (2)
13H30	PART 8 (1) PART 3 (1)				
14H00					
15H00	PART 7 (1)			PART 7 (2)	

Abréviations : Part, participant ; (1), Séance 1 ; (2), Séance 2.

c. Supervision de l'entraînement

L'entraînement a été supervisé par l'une des deux stagiaires du laboratoire (30% du temps) ou par moi-même (70% du temps). Une formation était octroyée à chacune des stagiaires en plus d'une supervision totale lors des deux premières semaines d'entraînement dans le but de standardiser la méthodologie des séances d'entraînement. De plus, plusieurs physiothérapeutes étaient présentes en tout temps dans le gymnase où se déroulait l'entraînement. Ceux-ci pouvaient donc intervenir rapidement avec l'enfant en cas de crises, de douleurs inexplicables ou de manque de collaboration.

d. La séance

Pour tous les participants, chaque séance d'entraînement suivait la même planification (voir Annexe IV). Toutefois, les intensités et le temps de pédalage variaient en fonction de la capacité de l'enfant. L'entraînement était composé de 4 à 6 intervalles de pédalage (variant entre 30 secondes et 7 minutes), séparés d'intervalles de repos (variant entre 30 secondes et 3 minutes). Le temps total de la séance d'entraînement était approximativement de 40 minutes et différait donc en fonction des facteurs suivants :

- Le temps requis pour le transfert du fauteuil roulant ou du déambulateur au tricycle
- L'état physique de l'enfant à la journée de l'entraînement
- Le temps des intervalles de pédalage et de repos

e. Mesures

À chaque participant était attribué un cahier d'entraînement. À chaque entraînement, le responsable de l'entraînement notait la date, l'heure de l'entraînement, l'intensité et le temps de pédalage pour chaque intervalle ainsi que le temps de repos. Au début de chaque séance d'entraînement, le responsable se fiait aux valeurs d'intensités, de temps de pédalage et de repos ainsi qu'aux commentaires du responsable de la séance précédente afin de moduler ou de maintenir l'intensité et les durées (pédalage et repos) de la nouvelle séance.

Intensité de pédalage

L'intensité de l'exercice était déterminée selon le %FCR lors du pédalage. En raison des recommandations d'AP définies à la Section 1.5, l'objectif de l'entraînement était d'atteindre une intensité de pédalage moyenne supérieure à 40% de la FCR. La FC à l'exercice correspondant aux %FCR allant de 10%-90% étaient inscrits sur la première page du cahier de chaque participant (voir Annexe V). Le calcul du %FCR était effectué tel qu'expliqué à la Section 3.2.1.

Une fois sur le tricycle, une ceinture cardio-fréquence-mètre POLAR était installée à la hauteur de la poitrine de l'enfant afin d'enregistrer la FC en continu, la montre POLAR RS400 était installée au guidon du tricycle (voir Figure 3.1). Lors de chaque intervalle de pédalage, le responsable de l'entraînement notait la FC affichée sur la montre POLAR toutes les 10 secondes (voir Annexe IV). Le responsable devait ensuite traduire la moyenne des FC notées en %FCR en se référant à la première page du cahier de suivi de protocole, de manière à estimer l'intensité de l'intervalle. Le responsable devait chercher à ce que l'intensité de l'effort réalisé soit suffisante (>40%) et devait tenter de l'augmenter à chaque intervalle ou séance d'entraînement (par augmentation de la cadence de pédalage) en tenant compte des capacités de l'enfant. Le responsable de l'entraînement devait également s'assurer qu'un retour au calme convenable soit fait à la fin de l'entraînement en considérant la FC indiquée sur la montre POLAR.

Durée de pédalage et de repos

Pour toutes les séances, le temps de pédalage et de repos a été noté sur le cahier de suivi de protocole (voir Annexe IV). S'il était possible, le responsable devait maximiser le temps de pédalage et minimiser le temps de repos tout en maintenant un temps d'activité total supérieur à 20 minutes.

Puissance et cadence de pédalage

En début de séance, le responsable de l'entraînement devait démarrer l'application PowerTap (Saris Cycling Group, Madison, USA) sur une tablette électronique attachée au tricycle afin d'enregistrer la puissance et la cadence collectée par les capteurs des pédales. Le temps de pédalage affiché sur l'application était noté à la fin de chaque intervalle de pédalage (voir Annexe IV).

Motivation du participant

Si l'enfant le désirait, il pouvait regarder des vidéos lors de l'entraînement ou écouter de la musique de son choix. Les vidéos étaient affichées sur un ordinateur portable et le participant choisissait parmi une série de 10 vidéos. Également, à la fin de chaque 2 séances d'entraînement, le participant pouvait choisir une surprise dans « la boîte à surprise ». Des encouragements ont également été donnés tout au long de l'entraînement dans le but de maximiser la performance.

3.3 Analyses statistiques

Les résultats seront présentés en valeurs moyennes (\pm ET). Les variables permettant de caractériser la performance de pédalage sont : l'intensité de pédalage (%FCR), le temps de pédalage, la puissance de pédalage et la cadence de pédalage. Les mesures en lien avec les capacités physiques du participant sont : l'indice de force global (IFG) et les limitations articulaires des membres inférieurs, le niveau fonctionnel global (GMFCS) ainsi que la sollicitation cardiorespiratoire (%FCR) à la marche.

Pour répondre au sous-objectif 1 :

Des analyses de corrélations Spearman seront réalisées afin d'évaluer la présence ou non de relations entre l'indice de force global (IFG) et les limitations articulaires avec la performance de pédalage.

Pour répondre au sous-objectif 2 :

Des analyses par sous-groupe entre les différents niveaux fonctionnels sur les variables de la performance de pédalage seront testées avec un test non paramétrique U de Mann-Whitney.

L'analyse non paramétrique a été utilisée en raison du faible nombre de participants à l'étude.

CHAPITRE IV RÉSULTATS

4.1 Mise en place et déroulement

Inclusion des participants à l'étude

Parmi les 123 enfants avec une PC fréquentant l'école Victor-Doré en date du recrutement, 30 enfants respectaient les critères d'inclusions. Le nombre d'enfants exclus en raison du non-respect de chaque critère d'inclusion est décrit à la figure 4.1.

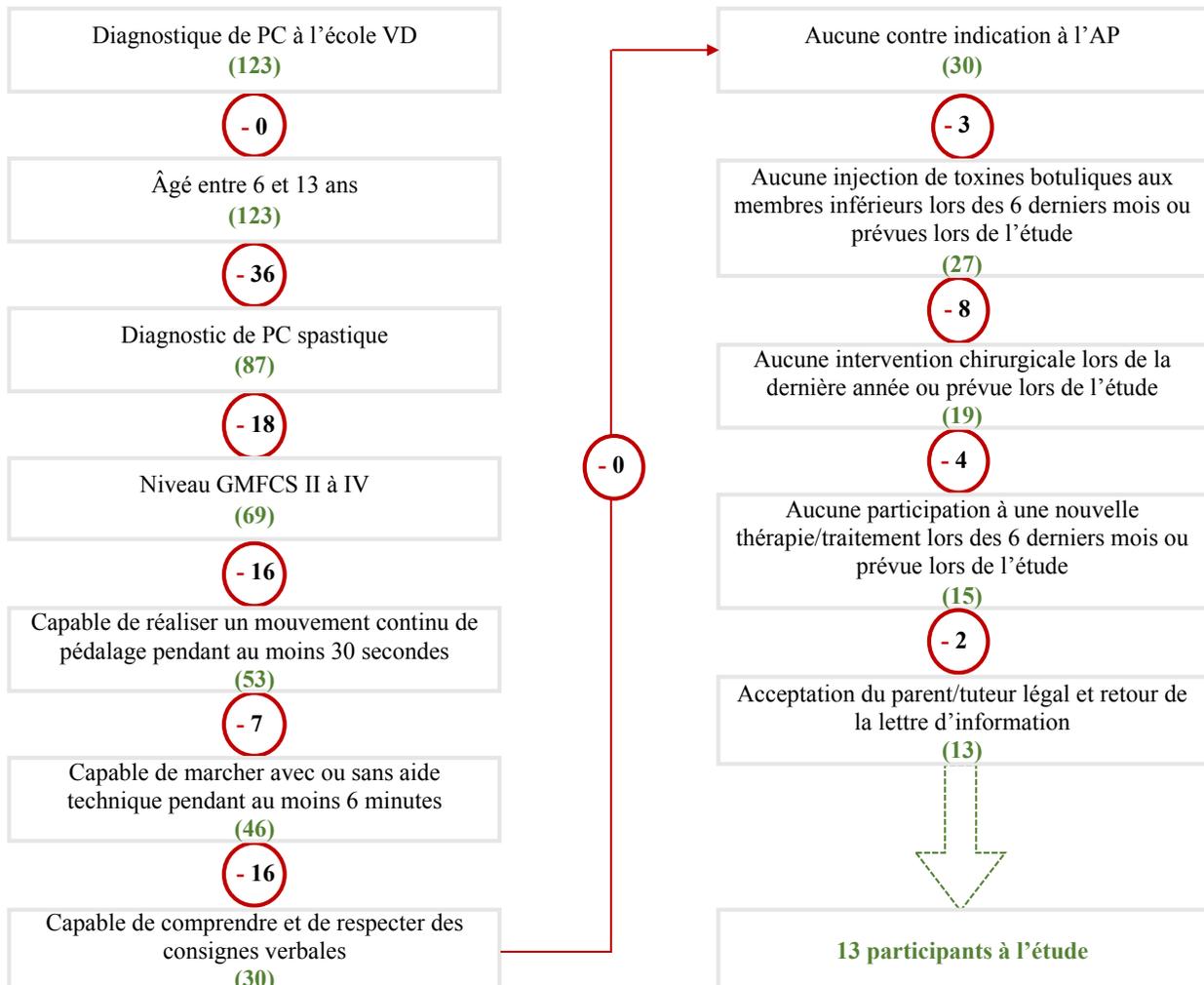


Figure 4.1 Organigramme d'inclusion des participants

La Figure 4.1 représente les motifs d'exclusion des 110 participants qui ne respectaient pas les critères de sélection du projet de recherche. Au total, 13 enfants ont participé à l'étude.

Déroulement de la période d'entraînement

Tableau 4.1 Résumé de l'entraînement

Total séances prévues	Total séances réalisées	Participant	Séances prévues	Séances réalisées	Séances non réalisées ▽
		1	20	11 (55%)	9 (45%)
		2	20	11 (55%)	9 (45%)
		3	20	16 (80%)	4 (20%)
		4	20	14 (70%)	6 (30%)
		5	19	14 (74%)	5 (26%)
255	166	6	19	8 (42%)	11 (58%)
(100%)	(65,1%)	7	20	13 (65%)	7 (35%)
		8	19	12 (63%)	7 (37%)
		9	20	8 (40%)	12 (60%)
		10	20	15 (75%)	5 (25%)
		11	20	18 (90%)	2 (10%)
		12	19	13 (68%)	6 (32%)
		13	19	13 (68%)	6 (32%)
		Moyenne	19,6	13 (65%)	7 (35%)
		Écart-type	0,5	3 (14%)	3 (15%)

▽ Voir tableau 4.2

Le Tableau 4.1 représente le nombre total des séances prévues (n=255) et réalisées (n=166) ainsi que le nombre de séances prévues ($19,6 \pm 0,5$), réalisées (13 ± 3) et non réalisées (7 ± 3) pour chaque participant.

Les motifs des séances n'ayant pas été réalisées (n=89) sont détaillés au Tableau 4.2 et 4.3. La majorité des séances annulées (n=47) est en raison de l'absence du participant (n=22), d'une activité parascolaire (n=11) ainsi qu'une journée pédagogique (n=14).

Tableau 4.2 Motifs des séances non réalisées

Participant	Tempête de neige (école fermée)	Absence du responsable de la séance	Absence du participant	Activité parascolaire	Journée pédagogique	Journée fériée	Refus de l'enfant \diamond	Autres \diamond
1	1	1	4	1	1	1		
2	1		4		1	1		2
3	1		1		1	1		
4	1			2	1	1		1
5			1	1	2		1	
6	1	1	4	1	3	1		
7	1		1	1	1	1		2
8	1			2	1	1	1	1
9	1		3	3	1	1	1	2
10	1			1	1	1		1
11			1	1				
12		1	2	2	1			
13			1	4			1	
Total	9	3	22	19	14	9	4	9

\diamond Voir tableau 4.3

Tableau 4.3 Motifs du refus de l'enfant et autres raisons

Motifs		
Refus de l'enfant	L'enfant préfère jouer dehors sur son heure de dîner (printemps)	4
	Total	4
Autres	Douleur aux orthèses	2
	Un problème temporaire du tricycle nuit au mouvement fluide	4
	L'enfant n'a pas ses orthèses (pédalage trop difficile)	1
	Rougeur inexplicée à la jambe (pas d'entraînement à la demande du physio)	1
	Mal aux genoux à l'arrivée (doit aller voir le physio)	1
	Total	9

Les problèmes et les commentaires notés par le responsable de la séance dans le cahier d'entraînement des participants sont décrits au Tableau 4.4. Le problème relatif au matériel le plus courant est un pédalage saccadé (6,6%). Le commentaire rapporté le plus fréquemment par le participant est que « l'activité est difficile » (7,8%). Il est important de noter que ces différents événements n'ont pas empêché la réalisation de la séance d'entraînement.

Tableau 4.4 Problèmes et commentaires rapportés par le responsable lors de séances ayant été réalisées dans sa totalité

	Problèmes ou commentaires rapportés	Nombre de séances	Fréquence d'occurrence
Dispositif et / ou outils de mesures	Le pédalage n'est pas fluide (les pédales semblent bloquées)	11	6,6%
	La ceinture du cardiofréquence-mètre se déplace	3	1,8%
	Problème de connexion entre l'application et les capteurs des pédales	10	6,0%
	Problème de connexion entre la ceinture et la montre POLAR	9	5,4%
	La roue s'enlève du rouleau	1	0,6%
	Le pied se détache des pédales ou se déplace	9	5,4%
	L'ordinateur ne fonctionne pas (pas de vidéos pour motiver l'enfant)	3	1,8%
Environnement	La température du local est anormalement élevée	8	4,8%
	Des activités en cours dans le local déconcentrent le participant	2	1,2%
Participant	L'enfant fait une crise	1	0,6%
	Le participant dit avoir chaud	6	3,6%
	Le participant dit avoir mal au ventre	1	0,6%
	Le participant dit avoir mal au genou	2	1,2%
	Le participant dit avoir mal au pied (orthèse)	4	2,4%
	Le participant dit que c'est difficile	13	7,8%
	Le participant n'écoute pas les consignes (ne collabore pas)	2	1,2%
	Le participant n'est pas motivé ou pas de bonne humeur	7	4,2%
	Le participant dit être fatigué	6	3,6%
	Le participant se dispute avec l'autre participant	4	2,4%
	Le participant arrive en retard	1	0,6%
	Le participant est distrait (cesse de pédaler)	10	6,0%
	Le participant perd son soulier	1	0,6%
	Le participant doit arrêter pour aller aux toilettes	2	1,2%

4.2 Évaluation des participants

Tableau 4.5 Évaluation des participants

Participant	Niveau GMFCS	Limitations articulaires	IFG	%FCR marche
1 ~	II	EG,FH,EH	8,3	48,2
2	II	EG	5,0	84,2
3	II	N/A	6,0	78,8
4	II	EG,EH	7,6	62,2
5 ~	II	EG	5,2	74,3
6	II	FH	6,8	75,7
7	III	EG	2,4	55,5
8	III	FG,EG	4,0	52,8
9	III	N/A	4,4	86,8
10	III	N/A	4,5	63,0
11	III	EG	9,1	42,7
12	III	EH	4,9	58,9
13	IV	FG,EH	4,6	44,1
	II: n=6 II: n=6 IV: n=1	Moyenne (ET)	5,6 (1,9)	63,3 (15,1)
	Moyenne sous-groupe (ET)	II	6,5 (1,3)	70,6 (13,2)
		III et IV	4,9 (2,1)†	57,7 (14,8)

Abréviations : EG, extension du genou ; EH, extension de la hanche ; ET, écart-type ; FG, flexion du genou ; FH, flexion de la hanche ; GMFCS, Gross Motor Function Classification System ; IFG, indice de force globale ; N/A, non applicable ; %FCR, pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve.

~ Participant n'ayant pas atteint les recommandations

† Différence significative entre les sous-groupes ($p < 0,05$, test Mann–Whitney U).

Les résultats des évaluations des participants sont rapportés dans le tableau 4.5. L'analyse rétrospective des dossiers médicaux n'a pas permis de quantifier les limitations articulaires des membres inférieurs des participants. Le niveau de spasticité des participants n'était également pas présent aux dossiers de manière systématique. Toutefois, les limitations articulaires passives de chaque participant sont rapportées dans le tableau 4.5. Tous les participants, excepté deux, ont des limitations articulaires aux membres inférieurs. L'IFG global moyen des membres inférieurs des participants est de $5,6 \pm 1,9$ Nm/Kg (GMFCS II = $6,5 \pm 1,3$ Nm/Kg; GMFCS III et IV = $4,9 \pm 2,1$ Nm/Kg). L'IFG est significativement plus élevé pour le groupe plus fonctionnel (GMFCS II) ($p < 0,05$). Le %FCR à la marche des participants est de $63,3 \pm 15,1$ % (GMFCS II = $70,6 \pm 13,2$ % vs GMFCS III et IV = $57,7 \pm 14,8$ %, $p = 0,153$).

4.3 Performances de pédalage

Les résultats moyens des performances de pédalage ainsi que les valeurs maximales et minimales sont représentés pour chaque participant au Tableau 4.6. Le temps de pédalage est de $18,0 \pm 2,3$ min (GMFCS II = $19,4 \pm 1,5$ min vs GMFCS III et IV = $16,8 \pm 2,3$ min, $p < 0,05$). Le temps de repos est de $6,2 \pm 0,8$ min (GMFCS II = $6,3 \pm 0,9$ min vs GMFCS III et IV = $6,2 \pm 0,8$ min, $p = 0,886$). Le %FCR lors des intervalles de pédalage est de $45,2 \pm 9,8$ % (GMFCS II = $41,1 \pm 11,0$ % vs GMFCS III et IV = $48,6 \pm 7,7$ %, $p < 0,05$). La cadence de pédalage lors des intervalles de pédalage est de $59,69 \pm 13,18$ rpm (GMFCS II = $64,12 \pm 9,80$ rpm vs GMFCS III et IV = $50,32 \pm 12,85$ rpm, $p < 0,05$). La puissance de pédalage est de $24,91 \pm 11,01$ W (GMFCS II = $32,67 \pm 8,55$ W vs GMFCS III et IV = $18,25 \pm 8,34$ W, $p < 0,05$).

Tableau 4.6 Performance de pédalage

Participant	Niveau GMFCS	Mesures moyennes de l'entraînement				
		Temps de pédalage /séance [max-min] (min)	Temps de repos /séance [max-min] (min)	Intensité de pédalage moyenne [max-min] (%FCR)	Cadence de pédalage [max-min] (rpm)	Puissance de pédalage [max-min] (W)
1 ~	II	21,5±2,8 [20-29]	6,1±3,0 [2-13]	36,2±8,5 [26-53]	74,40±12,4 [65-94]	41,6±7,3 [35-54]
2	II	18,2±3,5 [10-23]	6,1±2,4 [2-9]	61,3±9,4 [40-76]	63,25±6,6 [54-71]	34,7±9,5 [21-50]
3	II	18,9±3,9 [6-21]	5,0±2,1 [2-8]	39,0±11,6 [20-64]	68,50±8,8 [52-79]	41,4±8,4 [25-53]
4	II	18,3±3,0 [10-20]	5,9±3,0 [2-11]	39,6±7,4 [30-60]	65,56±16,2 [32-88]	28,0±8,7 [8-38]
5 ~	II	18,4±2,8 [12-20]	7,2±2,4 [3-10]	28,2±12,9 [15-57]	45,63±4,8 [40-52]	19,2±3,2 [15-26]
6	II	21,0±1,8 [20-25]	7,3±3,1 [4-13]	42,3±17,4 [21-75]	67,40±8,2 [60-80]	31,0±12,7 [13-46]
7	III	13,4±6,0 [9-20]	5,3±2,4 [2-9]	48,1±10,9 [33-68]	30,17±10,3 [11-40]	6,8±3,1 [2-12]
8	III	16,8±3,3 [10-20]	6,3±2,3 [2-9]	50,4±14,3 [37-88]	46,88±4,2 [42-54]	21,7±8,9 [11-33]
9	III	16,1±2,5 [12-20]	5,6±1,7 [4-8]	42,8±7,8 [36-59]	42,00±5,6 [37-48]	10,0±3,0 [7-13]
10	III	18,2±2,7 [13-20]	6,0±2,5 [4-11]	39,9±6,0 [28-50]	61,50±8,6 [53-80]	22,5±6,6 [11-30]
11	III	20,9±2,9 [17-30]	7,7±2,8 [2-11]	47,6±7,5 [38-66]	62,42±10,3 [49-78]	28,0±7,0 [17-39]
12	III	16,8±3,8 [7-20]	6,4±2,5 [2-11]	64,2±16,3 [42-90]	64,50±5,1 [57-68]	26,0±4,9 [20-30]
13	IV	15,5±3,8 [12-20]	6,4±2,2 [2-9]	47,5±7,6 [39-65]	44,80±9,4 [33-56]	12,6±3,8 [9-19]
Moyenne (ET)	II à IV	18,0±2,3	6,2±0,8	45,2±9,8	59,7±13,2	24,91±11,0
Moyenne sous-groupe (ET)	II	19,4±1,5	6,3±0,9	41,1±11,0	64,1±9,8	32,67±8,6
	III et IV	16,8±2,3 †	6,2±0,8	48,6±7,7 †	50,3±12,9 †	18,25±8,3 †

Abbréviation : ET, écart-type ; GMFCS, Gross Motor Function Classification System ; min, minimum ; max, maximum ; %FCR, pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve.

~ Participant n'ayant pas atteint les recommandations

† Différence significative entre les sous-groupes ($p < 0.05$, test Mann–Whitney U).

L'indice de force global corrèle significativement avec le temps de pédalage ($r=0,879$, $p=0,0001$), la cadence de pédalage ($r=0,747$, $p=0,003$) et la puissance de pédalage ($r=0,764$, $p=0,002$) (voir Tableau 4.7).

Tableau 4.7 Corrélations entre l'IFG et les performances de pédalage

	IFG	
	r	<i>p</i>
Intensité de pédalage	-0,451	0,122
Temps de pédalage	0,879	0,0001*
Temps de repos	0,357	0,231
Cadence de pédalage	0,747	0,003*
Puissance de pédalage	0,764	0,002*

Abréviation : IFG, indice de force globale

*Corrélation significative ($p < 0,05$, corrélation de Spearman)

Le Tableau 4.8 rapporte les corrélations des performances de pédalage en lien avec l'atteinte des recommandations (intensité et durée). Il existe une relation négative et significative entre le temps de pédalage et l'intensité de pédalage ($r = -0,570$, $p = 0,042$). Il y a également une corrélation significative entre le temps de pédalage et la cadence de pédalage ainsi que la puissance performées ($r = 0,793$, $p = 0,001$ et $r = 0,818$, $p = 0,001$).

Tableau 4.8 Corrélations entre les performances de pédalage

	Temps de pédalage		Intensité de pédalage	
	r	<i>p</i>	r	<i>p</i>
Intensité de pédalage	-0,570	0,042*		
Temps de repos	0,300	0,319	0,159	0,603
Cadence de pédalage	0,793	0,001*	-0,308	0,306
Puissance de pédalage	0,818	0,001*	-0,231	0,448

*Corrélation significative ($p < 0,05$, corrélation de Spearman)

CHAPITRE V DISCUSSION

La présente recherche confirme la faisabilité d'un entraînement sur tricycle en milieu scolaire pour une cohorte d'enfants avec la PC de faible niveau fonctionnel. De plus, la modalité d'activité permet d'atteindre les recommandations d'intensité et de durée d'AP afin de permettre un conditionnement cardiorespiratoire de l'enfant avec la PC.

5.1 Faisabilité en milieu scolaire

Lors du recrutement des participants, parmi les 123 enfants avec une PC, 36 enfants n'ont pas été inclus en raison d'une autre forme de PC que la forme spastique, soit dyskinétique, ataxique ou mixte. Deux enfants très fonctionnels (GMFCS I) et 16 enfants de niveau GMFCS V avec une PC spastique n'ont pas été inclus. Tous les enfants incapables de réaliser un mouvement continu de pédalage pendant au moins 30 secondes (n=16) et de marcher avec ou sans aide technique pendant au moins 6 minutes (n=7) étaient de niveau GMFCS IV. Puisque le tricycle utilisé pour l'entraînement était stationnaire, le participant devait avoir une collaboration minimale, soit comprendre et respecter des consignes verbales simples. Le niveau cognitif des enfants a tout de même été un facteur limitant l'inclusion pour 16 enfants avec une PC spastique (voir Figure 4.1).

Tel que décrit dans le tableau 4.1, le nombre de séances d'entraînement réalisées représente 65% des séances prévues. La mise en place d'un horaire d'entraînement au préalable semble donc primordiale, mais cependant difficile à respecter. En effet, dans le cadre d'un milieu scolaire, diverses situations peuvent contrevenir à la réalisation de toutes les séances prévues (voir Tableau 4.2). Ainsi, si l'on désire mettre en place un entraînement structuré avec le nombre de séances prévu initialement, l'horaire choisi doit prendre en compte les journées pédagogiques, les journées fériées, les activités parascolaires organisées, mais également la possibilité que d'autres circonstances

inattendues comme une tempête de neige, l'absence d'un enfant peuvent rendre impossible la réalisation d'une ou plusieurs séances d'entraînement. Il est alors nécessaire de prévoir des séances d'entraînement supplémentaire. Dans le cas de la présente étude, une durée supplémentaire de la période d'entraînement de 6 semaines aurait permis la réalisation des 20 séances pour tous les participants.

En ce qui concerne les problèmes rapportés par le responsable de l'entraînement au cours des séances (voir Tableau 4.4), il est intéressant de constater que ceux-ci concernent principalement les participants (36%) ou les dispositifs utilisés (27,6%), mais sont rarement en rapport avec l'environnement où s'est déroulé l'entraînement (6%). Le milieu scolaire ne semble donc pas un élément limitant la réalisation optimale d'une séance. Il est cependant important de rappeler que l'entraînement s'est réalisé dans le gymnase de physiothérapie où le nombre d'enfants présent n'excède que rarement 5. De plus, tous les commentaires en lien avec les participants sont conséquents et rationnels, comme les disputes entre participants, le manque de collaboration et l'effort perçu élevé considérant l'âge des enfants, l'intensité de l'entraînement ainsi que les nombreux troubles associés à l'enfant avec une PC. D'ailleurs, ces événements n'ont, en aucun cas, remis en cause la réalisation intégrale de la séance. Les problèmes rapportés en raison des dispositifs et/ou des outils de mesures utilisés ont, pour certains, eu un impact sur l'intensité, la durée, la cadence et la puissance de pédalage performées. En effet, le blocage des pédales, la mobilité de la roue sur le rouleau ainsi que le pied qui se détache de la pédale peuvent nuire aux performances. Toutefois, le blocage des pédales et la mobilité de la roue sur le rouleau sont deux problèmes qui se maîtrisent par des ajustements techniques. Pour ce qui est du pied qui se déplace ou se détache de la pédale, il serait important d'utiliser des attaches aux pieds plus solides, afin d'éviter la sortie du pied des pédales. Les autres problèmes d'équipements rapportés concernent les outils de mesures et n'ont pas eu de répercussions sur l'exercice de pédalage.

De manière générale, les enfants étaient motivés et enjoués lorsque l'entraînement s'effectuait conjointement au visionnement de vidéos ou à l'écoute de musique. Ainsi, si la mise en place de l'entraînement en tricycle s'effectue en considérant les suggestions émises ci-haut, celle-ci peut se réaliser dans un milieu scolaire. Il est important de prêter attention aux problèmes d'équipements que cause le tricycle en mode stationnaire. De plus, cette modalité implique inévitablement l'ajout d'une source motivationnelle (vidéos ou musique). Cette étude de faisabilité suggère qu'il serait plus motivant, stimulant et moins problématique de réaliser l'entraînement sur un tricycle mobile. Il faut cependant considérer l'exclusion des enfants ayant un niveau cognitif plus faible, le plus haut risque de chutes, de collisions, l'ajout d'une double tâche pour contrôler le tricycle et par le fait même, le risque de ne pas atteindre les intensités recommandées (%FCR).

5.2 Performances à l'entraînement

La possibilité de réaliser l'exercice de pédalage dépend de l'ajustement de l'assise du tricycle. En effet, la thèse du Pr. Ballaz au regard du développement d'un appareil de pédalage des membres inférieurs a permis de renseigner l'influence de la hauteur de l'assise ainsi que la distance entre celle-ci et le pédalier sur les amplitudes de mouvements des hanches et des genoux lors du mouvement de pédalage (Ballaz, 2007). Sachant que l'enfant avec la PC de faible niveau fonctionnel possède généralement certaines limitations articulaires aux hanches et aux genoux (voir Tableau 4.5), il est important de procéder à un arrangement personnalisé du dispositif afin de maximiser les capacités de pédalage. Le dispositif utilisé dans le cadre de la présente étude permettait l'ajustement du siège pour 6 hauteurs différentes, en plus de l'ajustement de la distance entre le banc et le guidon qui pouvait varier de 1 mètre. Tel que vendu, le tricycle de la compagnie Trivel est adapté et sécuritaire pour être utilisé par l'enfant avec la PC de différents niveaux fonctionnels. L'accessibilité du dispositif utilisé se démarque particulièrement des précédentes études réalisées sur ergocycles combinés à

de l'électrostimulation fonctionnelle (Gualdi *et al.*, 2009; Trevisi *et al.*, 2012) ou sur des ergocycles adaptés pour les enfants avec la PC (Abe *et al.*, 2017; Alves *et al.*, 2014; Anwer *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2013; Diane L. Damiano *et al.*, 2011; Fowler *et al.*, 2010; Knights *et al.*, 2014; H. Williams et Pountney, 2007). Ces installations sont très dispendieuses, doivent être maintenues à un endroit spécifique, demandent beaucoup d'entretien et requièrent une formation pour l'utilisation. Dans l'objectif d'augmenter le niveau d'AP quotidien de l'enfant avec la PC, de telles modalités représentent beaucoup trop de contraintes en termes d'accessibilité. C'est pourquoi l'entraînement de pédalage en tricycle se démarque considérablement des études préalablement réalisées puisque le dispositif utilisé est disponible dans les commerces, il est abordable et peut être utilisé au domicile.

Pour envisager l'atteinte des recommandations de la littérature concernant l'intensité et la durée d'AP et ce, pour tous les niveaux fonctionnels, un entraînement sous forme d'intervalles est nécessaire. En effet, l'enfant avec une PC aura une dépense énergétique considérablement élevée lors du mouvement (Gage *et al.*, 2009). De ce fait, celui-ci a une endurance musculaire plus faible qu'un enfant à développement typique (Eken *et al.*, 2016) et éprouve rapidement de la fatigue musculaire (Parent *et al.*, 2016). Ainsi, un exercice relativement intensif (>40%FCR) ne peut être maintenu pour des durées prolongées, d'où l'importance d'effectuer des intervalles de pédalages entrecoupés de temps de repos. Les intervalles de repos permettent également une dépense énergétique supérieure à la normale (Larsen *et al.*, 2014). Cette consommation d'oxygène post-exercice est d'ailleurs corrélée avec l'intensité de l'effort performé (Kruel *et al.*, 2009). Dans le cadre de la présente étude, tous les participants ont respecté les durées d'activités recommandées par la littérature (>20minutes) (Verschuren *et al.*, 2016). De plus, les résultats démontrent une différence significative du temps de pédalage selon le niveau GMFCS. En effet, le groupe le plus fonctionnel a été en mesure de performer des intervalles de pédalage plus longs que le groupe de

participants moins fonctionnels avec une cadence et une puissance de pédalage plus élevées (voir Tableau 4.6). Aussi, la cadence et la puissance de pédalage sont en forte relation positive avec le temps de pédalage (voir Tableau 4.8). Ces résultats mettent en évidence l'influence de la moins grande force des membres inférieurs du groupe moins fonctionnel (GMFCS III et IV) (voir Tableau 4.5) sur la puissance et la cadence de pédalage performées. Il est également possible de croire que la différence significative des durées de pédalage s'explique par une fatigue précoce lors de l'effort pour le groupe plus faible. En effet, l'activité de pédalage semble plus exigeante pour les participants moins fonctionnels (GMFCS III et IV), se traduisant par une sollicitation cardiorespiratoire relative au pédalage (%FCR) significativement plus élevée (voir Tableau 4.6). Plusieurs études précédentes ont été en mesure d'atteindre de telles intensités et durées d'entraînement (>40%FCR ; >20 minutes). Cependant, elles ont été réalisées avec des enfants de niveau GMFCS I à III (Chen *et al.*, 2013; Fowler *et al.*, 2010; Knights *et al.*, 2014). À notre connaissance, aucune de ces études ne s'est toutefois intéressée à la relation entre les capacités fonctionnelles de l'enfant et les performances de pédalage.

Ainsi, l'exercice de pédalage sur tricycle semble représenter une modalité d'AP plus exigeante pour les enfants moins fonctionnels, ce qui influence le temps que peut être maintenue l'activité. L'entraînement par intervalles permet tout de même d'atteindre les recommandations de la littérature en termes d'intensité et de durée d'activités et ce, même pour les enfants moins fonctionnels. La présente étude permet également de mettre en regard la sollicitation cardiorespiratoire à la marche avec celle du pédalage (voir Tableau 4.5). Cette comparaison permet d'expliquer pourquoi l'enfant avec la PC ne peut pas maintenir un exercice de marche sur une période de temps suffisante alors que cela est possible avec un exercice de pédalage. Ces résultats confirment ceux d'une étude pilote comparant l'efficacité du déplacement en tricycle et celui de la marche chez enfant avec la PC (Dussault-Picard *et al.*, 2016). Ainsi, contrairement à l'activité

de marche, l'exercice de pédalage sur tricycle peut être réalisé sur de plus longues durées et ainsi permettre d'atteindre les recommandations d'AP pour l'enfant avec la PC, tout en contribuant au reconditionnement cardiorespiratoire. En effet, une étude réalisée en milieu aquatique, respectant ces mêmes recommandations, a démontré une amélioration significative de l'efficacité de la marche d'enfants avec une PC suite à un entraînement impliquant également le mouvement des membres inférieurs (Ballaz *et al.*, 2011).

Il est important de mettre en lumière les raisons pour lesquelles l'étude présentée propose certaines limitations méthodologiques. Tout d'abord, la recherche en question comporte un nombre d'enfants relativement faible. Par contre, puisque l'étude évalue la faisabilité de l'entraînement en tricycle et non son effet, le nombre d'enfants permet tout de même d'élaborer des conclusions intéressantes. De plus, le niveau de spasticité n'a pas été rapporté. Tel qu'expliqué à la Section 1.4.1, la contraction spastique est vitesse-dépendante à l'étirement du muscle. Ainsi, les muscles spastiques peuvent occasionner des co-contractions involontaires qui s'opposent au mouvement de pédalage. Le niveau de spasticité, bien que pertinent à l'explication des capacités de pédalage, n'était pas disponible aux dossiers médicaux pour tous les participants. Également, la résistance des tricycles n'a pas été modulée lors de l'entraînement, ce qui a pu entraîner une sous-estimation de l'intensité de pédalage que l'enfant était capable de soutenir. Cependant, nous supposons que la résistance mise en place est similaire à une résistance lors d'un déplacement en tricycle sans dénivelé, ce qui donne une dimension écologique au projet, considérant que les enfants peuvent utiliser le même tricycle dans leur vie quotidienne. Finalement, des données sur la sollicitation cardiaque lors des périodes de repos auraient permis de mieux interpréter l'intensité de l'entraînement dans sa globalité en considérant la dépense énergétique post-exercice qui représente une part non négligeable de la consommation d'énergie (Kruel *et al.*, 2009) . La prise en compte de cette dépense énergétique pourrait conduire à une augmentation de l'intensité de chacune des séances d'entraînement.

CHAPITRE VI CONCLUSION

Enfin, sachant qu'il est faisable de réaliser un entraînement sur tricycle en milieu scolaire et que l'activité de pédalage sur tricycle mobile permettrait possiblement d'atteindre des intensités d'AP supérieures à celles recommandées par la littérature pour un enfant avec une PC, il serait intéressant d'évaluer l'effet d'un entraînement en tricycle mobile sur les capacités cardiorespiratoires ou même sur la marche et son efficacité.

ANNEXES

ANNEXE I – LETTRE D’INFORMATION



CHU Sainte-Justine
Le centre hospitalier
universitaire mère-enfant

Pour l'amour des enfants

Objet : Proposition de participation à un entraînement en tricycle

Chers Parents,

Par la présente je veux vous informer que nous souhaiterions mettre en place un entraînement en tricycle et d'en évaluer les effets sur les capacités physiques et les fonctions cognitives de votre enfant. L'entraînement se déroulera de mars à mai à l'école Victor-Doré.

Ce projet est mené par Madame Cloé Dussault-Picard étudiante à la Maîtrise en collaboration avec les professeurs d'éducation physique Laura Gatto et Liette Marciel, ainsi que l'équipe de physiothérapeutes de l'école Victor-Doré. Cloé travaille sous ma supervision, je suis moi-même professeur au département des sciences de l'activité physique de l'UQAM et chercheur au centre de réadaptation Marie-Enfant du CHU Sainte-Justine. J'ai eu l'occasion de mener plusieurs projets sur les effets d'une pratique sportive sur le niveau fonctionnel des enfants, notamment dans les écoles Joseph Charbonneau et Jean Piaget.

Le présent projet souhaite en premier lieu évaluer les effets de l'entraînement en tricycle sur la marche. Il permettra également de mettre en évidence les bienfaits moteurs de l'entraînement en tricycle. **Si vous acceptez que votre enfant participe à ce projet cela implique qu'il réalise :**

- **le test_1**, quelques semaines avant la période d'entraînement (mars-mai) à l'école
- **le test_2**, avant, après (mars et juin) au laboratoire d'analyse de la marche au centre de réadaptation Marie-Enfant.
- **Un entraînement sur tricycle** stationnaire et non stationnaire pour un total de 12 semaines. Les séances d'entraînement seront réalisées 2 fois par semaine à Victor Doré. Les horaires des entraînements seront adaptés à l'emploi du temps de votre enfant en tenant compte de vos directives et de celles de ces professeurs.

Capacités physiques et fonctions motrices: Test_1 : mesure des battements cardiaques lors d'un test de 6 minutes de marche et/ou de pédalage. Pour ce faire, une petite ceinture élastique sera posée directement sur le torse de votre enfant et il portera une montre. Il sera demandé à votre enfant de marcher à une vitesse de confort. **Test_2 : Analyse quantifiée de la marche au centre de réadaptation Marie-Enfant à Sainte-Justine.** Pour cette analyse, nous demandons à l'enfant de réaliser plusieurs tests de marche afin d'effectuer une analyse du mouvement et de la posture. L'ensemble de ces mesures est couramment réalisé, ne comporte aucun risque et n'entraînera pas de douleur autre que celle pouvant être liée à la réalisation d'une activité physique.

Nous espérons que ce projet suscitera votre attention et que vous accepterez que votre enfant y participe. Si vous ne souhaitez pas que certaines évaluations décrites ci-dessus soient réalisées vous pouvez nous le mentionner.

Si vous acceptez, madame Cloé Dussault-Picard se permettra de vous joindre par téléphone pour répondre à toutes les interrogations que vous pourriez avoir. Vous pouvez également nous joindre quand vous le souhaitez au 514 374 1710 (poste 8604) ou par courriel, laurent.ballaz@uqam.ca, dussault-picard.cloe@courrier.uqam.ca. Nous vous communiquerons également un formulaire approuvé par le comité d'éthique et de la recherche du CHU-Sainte-Justine afin d'officialiser la participation de votre enfant à ce projet.

Cordialement,

Laurent Ballaz

Laurent Ballaz, Professeur au département des sciences d'activité physique de l'UQAM
Chercheur au centre de réadaptation Marie-Enfant du CHU Sainte-Justine

RÉPONSE

Merci de transmettre votre réponse le plus rapidement possible.

- J'accepte que l'équipe de recherche entre en contact avec moi pour avoir plus d'information sur le projet de recherche.
- Je n'accepte pas que l'équipe de recherche entre en contact avec moi pour avoir plus d'information sur le projet de recherche.

Coordonnées et/ou commentaires :

Laurent Ballaz, Professeur au département des sciences d'activité physique de l'UQAM
Chercheur au centre de réadaptation Marie Enfant du CHU Sainte-Justine

ANNEXE II – FORMULAIRE DE CONSENTEMENT



CHU Sainte-Justine
Le centre hospitalier
universitaire mère-enfant

Pour l'amour des enfants

APPROUVÉ PAR LE COMITÉ D'ÉTHIQUE
16 MAI 2018
#2018-1789
CHU SAINTE-JUSTINE

FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT POUR LA PARTICIPATION À UN PROJET DE RECHERCHE

Titre du projet : ÉVALUATION DE L'EFFET D'UN ENTRAÎNEMENT EN TRICYCLE SUR LE NIVEAU FONCTIONNEL D'ENFANTS ATTEINTS D'UNE PARALYSIE CÉRÉBRALE : ÉTUDE DE FAISABILITÉ

Chercheurs : Dussault-Picard C, Lemay M, Ballaz L

Institution : CHU Sainte-Justine – Centre de réadaptation Marie Enfant

Source de financement : Fonds personnels du chercheur

Le Centre de réadaptation Marie Enfant en collaboration avec l'école de votre enfant participe à des projets de recherche dans le but d'améliorer les traitements chez les enfants souffrant de paralysie cérébrale. Nous sollicitons aujourd'hui votre participation. Nous vous invitons à lire ce formulaire d'information afin de décider si vous êtes intéressé à participer à ce projet de recherche. Il est important de bien comprendre ce formulaire. N'hésitez pas à poser des questions. Prenez tout le temps nécessaire pour décider. Nous encourageons les parents à inclure leur enfant dans la discussion et la prise de décision dans la mesure où l'enfant peut comprendre.

Dans ce formulaire de consentement, « vous » signifie vous ou votre enfant

1. DESCRIPTION DU PROJET DE RECHERCHE :

1.1. Justification de la recherche :

La majorité des personnes avec une paralysie cérébrale ne pratique pas ou peu d'activité physique. Les jeunes avec déficience physique auraient 2 à 3 fois plus de risque de présenter des problèmes d'embonpoint et d'obésité que les enfants avec un développement normal. Cette étude de faisabilité entrera éventuellement dans le cadre d'un projet de recherche de plus grande envergure sur l'impact de cet entraînement sur la fonction motrice et la marche de l'enfant.

1.2. Description de la recherche :

Les enfants participeront à un entraînement comprenant des exercices de pédalage sur tricycle stationnaire et sur tricycle classique. Pour des raisons de faisabilité, la majorité des séances d'entraînement auront lieu sur tricycle stationnaire. L'entraînement se déroulera à l'école Victor-doré et ne modifiera pas l'heure d'entrée et de sortie de l'école de votre enfant. Nous organiserons les séances d'entraînement afin de ne pas sortir votre enfant de sa classe. Celles-ci pourront se réaliser durant la période de physiothérapie, le cours d'éducation physique ou sur l'heure du midi. L'intensité de l'exercice de pédalage sera adaptée aux capacités physiques

de l'enfant. L'objectif recherché est d'évaluer les effets d'un entraînement en tricycle sur le niveau fonctionnel général et la marche.

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

2.1. Déroulement général de l'étude :

Vingt-cinq enfants présentant une déficience physique participeront à cette étude. Les entraînements auront lieu deux fois par semaine, pendant 40 à 50 minutes, durant une période de 12 semaines. Les séances d'entraînement seront encadrées par un kinésologue spécialisé en activité physique adapté, travaillant sous la responsabilité de Dr Laurent Ballaz, chercheur au centre de recherche du CHU Sainte-Justine. Les entraînements auront lieu dans le gymnase ou au service de physiothérapie de Victor-doré.

Le contenu de l'entraînement suivra le modèle suivant :

En gymnase :

- 5 min d'échauffement
- 10-15 minutes de pédalage à vitesse continue (effort modéré)
- 10-15 minutes d'exercices visant le contrôle du tricycle, le changement de direction etc.
- 5 minutes de retour au calme.

Au local de physiothérapie :

- 5 min d'échauffement
- 30 minutes sur tricycle stationnaire à plus de 40% de la fréquence cardiaque de réserve avec variation de puissance. (Intensité minimale cible)
- 5 minutes de retour au calme.

Le temps associé à chaque modalité pourra être légèrement variable d'un enfant à l'autre, en fonction de son profil fonctionnel et psychologique et de ses disponibilités.

La fréquence cardiaque de l'enfant sera collectée lors de chacun des entraînements avec une ceinture placée à la hauteur du cœur. La puissance et la force développées seront enregistrées lors de l'entraînement sur le tricycle stationnaire.

Pour évaluer les effets de l'entraînement en tricycle, quatre sessions d'évaluation seront mises en place : 3 sessions avant, une immédiatement après la période d'entraînement. Les sessions d'évaluation comprendront des tests cliniques et paracliniques, réalisées à l'école Victor-doré et au CRME par un kinésologue expérimenté. Ces mesures cliniques et paracliniques sont habituellement faites afin d'évaluer le niveau de capacités motrices de votre enfant. Les mesures fait au laboratoire seront réalisées en environ deux heures et en 20 minutes pour celles à l'école.

2.2. Évaluations réalisées avant et après l'entraînement

a) Évaluation clinique

- Le Gross Motor Function Measure (GMFM-66) sera réalisé pour déterminer la motricité globale de l'enfant. Il s'agit d'un test fonctionnel habituellement utilisé en physiothérapie afin d'objectiver les capacités de votre enfant, tel que les habiletés debout. Ces évaluations sont réalisées en dehors de la recherche par les physiothérapeutes à l'école lors d'une séance de physiothérapie (30 minutes).

b) Évaluation paraclinique

Évaluation de la marche au laboratoire (avant et après la période d'entraînement) : une analyse du mouvement réalisé lors de la marche sera effectuée au laboratoire d'analyse du mouvement du CRME. Pour cela, des petites boules réfléchissantes (5mm de diamètre) en mousse seront placées au niveau des articulations des bras et des jambes de votre enfant. Elles se fixent avec un adhésif et ne laissent aucune marque une fois retirées. Pour analyser la marche de votre enfant il lui sera demandé de marcher, vêtu d'un short, sur une distance de 8 mètres devant des caméras sur un tapis mesurant le positionnement des pieds. Celles-ci enregistrent uniquement le déplacement des boules réfléchissantes et permettent ainsi une description précise, en trois dimensions de la marche de votre enfant. L'équilibre statique sera également évalué grâce à des plateformes de force. De plus, la force maximale des membres inférieurs sera mesurée avec un dynamomètre portable. Il sera aussi demandé à votre enfant de marcher pendant 6 minutes à sa vitesse de confort. Lors de ce test, le rythme cardiaque sera mesuré en continu par une ceinture placée sous ses vêtements, au niveau de la poitrine. Une quantification indirecte de la dépense énergétique pourra ainsi être réalisée en fonction de sa vitesse de déplacement. L'évaluation dure approximativement 2 heures.

Évaluation de l'efficacité de déplacement (seulement une fois quelques semaines avant le début de l'entraînement) : Comme pour l'analyse, il sera demandé à votre enfant de marcher pendant 6 minutes à sa vitesse de confort. Le rythme cardiaque sera mesuré en continu par une ceinture placée sous ses vêtements, au niveau de la poitrine. Une quantification indirecte de la dépense énergétique sera réalisée en fonction de sa vitesse de déplacement. L'évaluation dure approximativement 10 minutes.

Le transport au Centre de réadaptation Marie Enfant devra être assumé par le parent pour les 2 analyses de marche qui pourront être réalisées la semaine ou les fins de semaine, de jour ou de soir.

2.3. Informations médicales :

L'équipe de recherche aura besoin de plusieurs informations pertinentes au projet. Un certain nombre de questions pourront être posées au physiothérapeute de votre enfant concernant son passé médical, dans le but de permettre aux chercheurs de vérifier que l'ensemble des critères d'inclusion est respecté. Ces critères incluent un diagnostic du développement moteur et

cognitif de l'enfant. Des questions concernant la médication de votre enfant pourront également être posées.

2. BÉNÉFICES

Il n'y a pas de bénéfice direct pour votre enfant à participer à cette étude. Les résultats que nous obtiendrons nous permettront de faire avancer l'état des connaissances dans le domaine de la réadaptation pédiatrique, et d'évaluer la faisabilité d'un projet de recherche de plus grande envergure. Des bénéfices sont possiblement attendus sur l'efficacité de la marche et sur la qualité de vie de l'enfant. Sur simple demande, nous vous transmettrons les résultats généraux de cette recherche, une fois l'étude terminée.

3. RISQUES ET INCONVÉNIENTS :

Les évaluations liées à la présente recherche ne présentent aucun risque de douleur ou de blessure. Aucun risque physique, psychologique et social n'est susceptible d'affecter les participants à cette étude. Cependant, il est possible que le parent ait de la difficulté à trouver une plage horaire pour se déplacer au CRME pour l'analyse de la marche.

4. CONFIDENTIALITÉ

Tous les renseignements obtenus sur votre enfant seront traités de façon confidentielle, à moins d'une autorisation de votre part ou d'une exception de la loi. Ces renseignements seront rendus confidentiels par l'attribution de numéros de code et seuls les chercheurs impliqués dans l'étude auront accès à la clef de ce code. Les dossiers de recherche seront conservés pendant 7 années après la fin de la recherche, sous la responsabilité de Laurent Ballaz, Chercheure au centre de recherche du CHU Sainte Justine. La participation de votre enfant et les résultats de la recherche ne seront pas inscrits dans son dossier médical. Cependant, à des fins de contrôle du projet de recherche, le dossier de recherche de votre enfant pourra être consulté par des représentants du comité d'éthique de la recherche. Tous adhèrent à une politique de stricte confidentialité. À des fins de protection, le Ministère de la santé et des services sociaux pourrait avoir accès à votre nom et prénom ainsi que ceux de votre enfant, ses coordonnées, la date de début et de fin de sa participation au projet jusqu'à un an après la fin de projet. Par ailleurs, les résultats de cette étude pourront être publiés ou communiqués par d'autres moyens, mais il sera impossible d'identifier votre enfant.

5. ÉVENTUALITÉ D'UNE SUSPENSION DE L'ÉTUDE :

La participation à l'étude peut être interrompue par le chercheur s'il croit que c'est dans l'intérêt du participant ou si le participant ne répondait plus aux critères de sélection.

6. LIBERTÉ DE PARTICIPATION ET LIBERTÉ DE RETRAIT DE L'ÉTUDE :

La participation de votre enfant à cette étude est tout à fait volontaire. Vous êtes donc libre d'accepter ou de refuser qu'il y participe et vous pouvez le retirer de l'étude en tout temps,

sur simple déclaration verbale, sans avoir à donner de raison et sans que cela n'affecte les traitements auxquels votre enfant a droit, ni ne nuise aux relations avec le physiothérapeute et autres intervenants. Si vous retirez les données seront conservées sauf si vous demandez qu'on les détruise.

7. PERSONNES-RESSOURCES :

Si vous avez des questions supplémentaires au sujet de la participation de votre enfant à cette étude, incluant les risques ou les réactions adverses possibles, vous pouvez contacter Laurent Ballaz, au 514-374-1710 poste 8604

Pour tout renseignement sur les droits de votre enfant à titre de participant à ce projet de recherche, vous pouvez contacter le commissaire local aux plaintes et à la qualité des services de l'hôpital au 514-345-4749.

Une copie signée de ce formulaire de consentement vous sera remise.

8. RESPONSABILITE :

En signant ce formulaire de consentement, vous ne renoncez à aucun de vos droits prévus par la loi ni à ceux de votre enfant. De plus, vous ne libérez pas les investigateurs de leur responsabilité légale et professionnelle.

--

CONSENTEMENT ET ASSENTIMENT

On m'a expliqué la nature et le déroulement du projet de recherche. J'ai pris connaissance du formulaire de consentement et on m'en a remis un exemplaire. J'ai eu l'occasion de poser des questions auxquelles on a répondu. Après réflexion, j'accepte que mon enfant participe à ce projet de recherche.

<i>Nom de l'enfant (Lettres moulées)</i>	<i>Assentiment de l'enfant capable de comprendre la nature du projet (Signature)</i>	<i>Date</i>
--	--	-------------

*ou
Assentiment verbal obtenu par :*

<i>Nom du parent, tuteur légal (participant de moins de 18 ans) Nom du participant de plus de 18 ans (Lettres moulées)</i>	<i>Consentement (signature)</i>	<i>Date</i>
--	---------------------------------	-------------

J'ai expliqué au participant et/ou à son parent/tuteur tous les aspects pertinents de la recherche et j'ai répondu aux questions qu'ils m'ont posées. Je leur ai indiqué que la participation au projet de recherche est libre et volontaire et que la participation peut être cessée en tout temps.

<i>Nom de la personne qui a obtenu le consentement (Lettres moulées)</i>	<i>Signature</i>	<i>Date</i>
--	------------------	-------------

ANNEXE III – POSITIONS D'ÉVALUATION DE LA FORCE MUSCULAIRE ISOMÉTRIQUE

Fléchisseurs du genou



Extenseurs du genou



Fléchisseurs de la hanche



Extenseurs de la hanche



Abducteur de la hanche



ANNEXE IV – EXEMPLE D’UN CAHIER DE SUIVI DE PROTOCOLE D’ENTRAÎNEMENT VIERGE

Projet tricycle – Printemps 2018

Session 4

Date : _____ Évaluateur : _____

Heure : _____

Avant l'arrivée de l'enfant

- Ouvrir l'application du système embarqué
- Vérifier la calibration (Poids : 20kg ; Circonférence : 1282 cm)
- Ajuster le tricycle aux mesures de l'enfant

Arrivée de l'enfant

- Installer le cardio-fréquencemètre et vérifier la FC
- Installer l'enfant sur le tricycle (attacher la ceinture et les pédales)

Début de la séance d'entraînement

- Démarrer l'application du système embarqué (vérifier la connexion des sensors)

1- Demander à l'enfant de pédaler à une vitesse confortable pendant _____ minutes

Commentaires :

2- Demander à l'enfant de se reposer activement pendant _____ minutes (5-20 rpm)

- Noter dès le début :
Le temps inscrit sur l'application : _____ min
- Demander à l'enfant où il se situe sur l'échelle visuelle de Borg
BORG : _____

Commentaires :

3- Demander à l'enfant de pédaler à une vitesse atteignant _____ % de sa FC de réserve pendant _____ minutes

Commentaires :

Projet tricycle – Printemps 2018

4- Demander à l'enfant de se reposer activement pendant _____ minutes (5-20 rpm) Noter dès le début :

Le temps inscrit sur l'application : _____ min

 Demander à l'enfant où il se situe sur l'échelle visuelle de Borg

BORG : _____

Commentaires :

5- Demander à l'enfant de pédaler à une vitesse atteignant _____ % de sa FC de réserve pendant _____ minutes

Commentaires :

6- Demander à l'enfant de se reposer activement pendant _____ minutes (5-20 rpm) Noter dès le début :

Le temps inscrit sur l'application : _____ min

 Demander à l'enfant où il se situe sur l'échelle visuelle de Borg

BORG : _____

Commentaires :

7- Demander à l'enfant de pédaler à une vitesse atteignant _____ % de sa FC de réserve pendant _____ minutes

Commentaires :

8- Demander à l'enfant de se reposer activement pendant _____ minutes (5-20 rpm) Noter dès le début :

Le temps inscrit sur l'application : _____ min

 Demander à l'enfant où il se situe sur l'échelle visuelle de Borg

BORG : _____

Projet tricycle – Printemps 2018

Commentaires :

9- Demander à l'enfant de pédaler à une vitesse atteignant _____ % de sa FC de réserve pendant _____ minutes

Commentaires :

10- Demander à l'enfant de se reposer activement pendant _____ minutes (5-20 rpm)

Noter dès le début :

Le temps inscrit sur l'application : _____ min

Demander à l'enfant où il se situe sur l'échelle visuelle de Borg

BORG : _____

Commentaires :

11- Enlever la montre et fermer l'application (enregistrer la séance sur le nuage)

Session 5

Date : _____

Évaluateur : _____

Heure : _____

Avant l'arrivée de l'enfant

Ouvrir l'application du système embarqué

Vérifier la calibration (Poids : 20kg ; Circonférence : 1282 cm)

Ajuster le tricycle aux mesures de l'enfant

Arrivée de l'enfant

Installer le cardio-fréquencemètre et vérifier la FC

Installer l'enfant sur le tricycle (attacher la ceinture et les pédales)

ANNEXE V – PREMIÈRE PAGE DU CAHIER D'ENTRAÎNEMENT

Protocole d'entraînement en Tricycle

Numéro de participant : _____

Données FC

FC repos : _____ bpm

 $\% \text{ FC réserve} = (20\% - 90\%) \times (194 - \text{FC repos}) + \text{FC repos}$

20% FC de réserve : _____ bpm

30% FC de réserve : _____ bpm

40% FC de réserve : _____ bpm

50% FC de réserve : _____ bpm

60% FC de réserve : _____ bpm

70% FC de réserve : _____ bpm

80% FC de réserve : _____ bpm

90% FC de réserve : _____ bpm

Ajustement du tricycle

Distance siège-guidon: _____ cm

Hauteur sol-siège : _____ cm

Notes supplémentaires :

--

RÉFÉRENCES

1. Abe, S., Yokoi, Y. et Kozuka, N. (2017). Leg Cycling Induces a Decrease in Spasticity in Adults With Cerebral Palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 98(10), e78. doi: 10.1016/j.apmr.2017.08.247
2. Alves, C. R. R., Tessaro, V. H., Teixeira, L. A. C., Murakava, K., Roschel, H., Gualano, B. et Takito, M. Y. (2014). Influence of acute high-intensity aerobic interval exercise bout on selective attention and short-term memory tasks. *Perceptual and Motor Skills*, 118(1), 63-72. doi: 10.2466/22.06.PMS.118k10w4
3. Amrita Kumari et S. Yadav. (2012). Cerebral Palsy: A mini Review. *International Journal of Therapeutic Applications*, 3(1), 15-24.
4. Anwer, S., Equebal, A., Kumar, R. et Nezamuddin, Md. (2012). Effect of closed kinematic chain exercises in improving gait and function in cerebral palsy: a case report. *International Journal of Therapy and Rehabilitation*, 19(7), 414-418. doi: 10.12968/ijtr.2012.19.7.414
5. Ballaz, L. (2007). *Développement d'un appareil d'auto-rééducation par mobilisation assistée et évaluation de son intérêt thérapeutique chez des personnes immobilisées en fauteuil*. Université Rennes 2.
6. Ballaz, L., Plamondon, S. et Lemay, M. (2010). Ankle range of motion is key to gait efficiency in adolescents with cerebral palsy. *Clinical Biomechanics*, 25(9), 944-948. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2010.06.011
7. Ballaz, L., Plamondon, S. et Lemay, M. (2011). Group aquatic training improves gait efficiency in adolescents with cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*, 33(17-18), 1616-1624. doi: 10.3109/09638288.2010.541544
8. Boyle, C. A., Decouflé, P. et Yeargin-Allsopp, M. (1994). Prevalence and health impact of developmental disabilities in US children. *Pediatrics*, 93(3), 399-403. Récupéré de PubMed.
9. Bryant, E., Pountney, T., Williams, H. et Edelman, N. (2013). Can a six-week exercise intervention improve gross motor function for non-ambulant children with cerebral palsy? A pilot randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 27(2), 150-159. doi: 10.1177/0269215512453061
10. Buchner, D. M., Larson, E. B., Wagner, E. H., Koepsell, T. D. et de Lateur, B. J. (1996). Evidence for a non-linear relationship between leg strength and gait speed. *Age and Ageing*, 25(5), 386-391. Récupéré de PubMed.
11. Butler, J. M., Scianni, A. et Ada, L. (2010). Effect of cardiorespiratory training on aerobic fitness and carryover to activity in children with cerebral palsy: a systematic review. *International Journal of Rehabilitation Research*, 33(2), 97-103. doi: 10.1097/MRR.0b013e328331c555

12. Cairney, J., Dudley, D., Kwan, M., Bulten, R. et Kriellaars, D. (2019). Physical Literacy, Physical Activity and Health: Toward an Evidence-Informed Conceptual Model. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*. doi: 10.1007/s40279-019-01063-3
13. Campbell, J. et Ball, J. (1978). Energetics of walking in cerebral palsy. *The Orthopedic Clinics of North America*, 9(2), 374-377. Récupéré de PubMed.
14. Carlon, S. L., Taylor, N. F., Dodd, K. J. et Shields, N. (2013). Differences in habitual physical activity levels of young people with cerebral palsy and their typically developing peers: a systematic review. *Disability and Rehabilitation*, 35(8), 647-655. doi: 10.3109/09638288.2012.715721
15. Chen, C.-L., Chen, C.-Y., Liaw, M.-Y., Chung, C.-Y., Wang, C.-J. et Hong, W.-H. (2013). Efficacy of home-based virtual cycling training on bone mineral density in ambulatory children with cerebral palsy. *Osteoporosis International*, 24(4), 1399-1406. doi: 10.1007/s00198-012-2137-0
16. Colver, A., Fairhurst, C. et Pharoah, P. O. D. (2014). Cerebral palsy. *The Lancet*, 383(9924), 1240-1249. doi: 10.1016/S0140-6736(13)61835-8
17. Dallmeijer, A. J., Rameckers, E. A., Houdijk, H., de Groot, S., Scholtes, V. A. et Becher, J. G. (2017). Isometric muscle strength and mobility capacity in children with cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*, 39(2), 135-142. doi: 10.3109/09638288.2015.1095950
18. Damiano, D. L. et Abel, M. F. (1998). Functional outcomes of strength training in spastic cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79(2), 119-125. Récupéré de PubMed.
19. Damiano, D. L., Martellotta, T. L., Quinlivan, J. M. et Abel, M. F. (2001). Deficits in eccentric versus concentric torque in children with spastic cerebral palsy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(1), 117-122. Récupéré de PubMed.
20. Damiano, Diane L. (2009). Rehabilitative therapies in cerebral palsy: the good, the not as good, and the possible. *Journal of Child Neurology*, 24(9), 1200-1204. doi: 10.1177/0883073809337919
21. Damiano, Diane L., Norman, T., Stanley, C. J. et Park, H.-S. (2011). Comparison of elliptical training, stationary cycling, treadmill walking and overground walking. *Gait & Posture*, 34(2), 260-264. doi: 10.1016/j.gaitpost.2011.05.010
22. Davis, C. L., Tomporowski, P. D., McDowell, J. E., Austin, B. P., Miller, P. H., Yanasak, N. E., ... Naglieri, J. A. (2011). Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: A randomized, controlled trial. *Health Psychology*, 30(1), 91-98. doi: 10.1037/a0021766
23. de Bruin, M., Smeulders, M. J. C. et Kreulen, M. (2013). Why is joint range of motion limited in patients with cerebral palsy? *Journal of Hand Surgery (European Volume)*, 38(1), 8-13. doi: 10.1177/1753193412444401
24. Didier, J.-P. (2004). *La plasticité de la fonction motrice*. Paris : Springer. Récupéré de Open WorldCat.

25. Durstine, J. L., Painter, P., Franklin, B. A., Morgan, D., Pitetti, K. H. et Roberts, S. O. (2000). Physical activity for the chronically ill and disabled. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 30(3), 207-219. Récupéré de PubMed.
26. Dussault-Picard, C., Houle, E., Parent, A., Pouliot-Laforte, A., Cheriére, C., Lemay, M. et Ballaz, L. (2016). Locomotion efficiency while riding an adapted tricycle compared to walking in children with cerebral palsy: Preliminary results. *Gait & Posture*, 49, 231. doi: 10.1016/j.gaitpost.2016.07.284
27. Eek, M. N. et Beckung, E. (2008). Walking ability is related to muscle strength in children with cerebral palsy. *Gait & Posture*, 28(3), 366-371. doi: 10.1016/j.gaitpost.2008.05.004
28. Eek, M. N., Kroksmark, A.-K. et Beckung, E. (2006). Isometric Muscle Torque in Children 5 to 15 Years of Age: Normative Data. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(8), 1091-1099. doi: 10.1016/j.apmr.2006.05.012
29. Eken, M. M., Houdijk, H., Doorenbosch, C. A. M., Kiezebrink, F. E. M., van Bennekom, C. A. M., Harlaar, J. et Dallmeijer, A. J. (2016). Relations between muscle endurance and subjectively reported fatigue, walking capacity, and participation in mildly affected adolescents with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 58(8), 814-821. doi: 10.1111/dmcn.13083
30. Engsborg, J. R., Olree, K. S., Ross, S. A. et Park, T. S. (1998). Spasticity and strength changes as a function of selective dorsal rhizotomy. *Neurosurgical Focus*, 4(1), e4. Récupéré de PubMed.
31. F. Taylor. (2005, septembre). Cerebral Palsy: Hope Through Research. Dans *National Institute of Neurological Disorders and Stroke* [Office of Science and Health Reports]. Récupéré de http://www.ninds.nih.gov/disorders/cerebral_palsy/detail_cerebral_palsy.htm.
32. Fowler, E. G., Knutson, L. M., Demuth, S. K., Siebert, K. L., Simms, V. D., Sugi, M. H., ... Physical Therapy Clinical Research Network (PTClinResNet). (2010). Pediatric endurance and limb strengthening (PEDALS) for children with cerebral palsy using stationary cycling: a randomized controlled trial. *Physical Therapy*, 90(3), 367-381. doi: 10.2522/ptj.20080364
33. Gage, J. R., Koop, S. E., Novacheck, T. F. et Schwartz, M. H. (2009). *The identification and treatment of gait problems in cerebral palsy*. London : Mac Keith. Récupéré de Open WorldCat.
34. Gracies, J.-M., Burke, K., Clegg, N. J., Browne, R., Rushing, C., Fehlings, D., ... Delgado, M. R. (2010). Reliability of the Tardieu Scale for assessing spasticity in children with cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(3), 421-428. doi: 10.1016/j.apmr.2009.11.017
35. Graham, H. K., Harvey, A., Rodda, J., Nattrass, G. R. et Pirpiris, M. (2004). The Functional Mobility Scale (FMS). *Journal of Pediatric Orthopedics*, 24(5), 514-520. Récupéré de PubMed.

36. Graham, H. K., Rosenbaum, P., Paneth, N., Dan, B., Lin, J.-P., Damiano, D. L., ... Lieber, R. L. (2016). Cerebral palsy. *Nature Reviews. Disease Primers*, 2, 15082. doi: 10.1038/nrdp.2015.82
37. Grigoriu, A.-I., Dinomais, M., Rémy-Néris, O. et Brochard, S. (2015). Impact of Injection-Guiding Techniques on the Effectiveness of Botulinum Toxin for the Treatment of Focal Spasticity and Dystonia: A Systematic Review. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(11), 2067-2078.e1. doi: 10.1016/j.apmr.2015.05.002
38. Gualdi, S., Salghetti, A., DeConti, C., Trevisi, E. et Ferrante, S. (2009). Cycling induced by functional electrical stimulation (FES-cycling) in children affected by cerebral palsy: A pilot study. *Gait & Posture*, 30, S31-S32. doi: 10.1016/j.gaitpost.2009.07.017
39. Heath, G. W. et Fentem, P. H. (1997). Physical activity among persons with disabilities--a public health perspective. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 25, 195-234. Récupéré de PubMed.
40. Jahnsen, R., Villien, L., Aamodt, G., Stanghelle, J. K. et Holm, I. (2003). Physiotherapy and Physical Activity – Experiences of Adults with Cerebral Palsy, with Implications for Children. *Advances in Physiotherapy*, 5(1), 21-32. doi: 10.1080/14038190310005779
41. Johnston, T. E., Moore, S. E., Quinn, L. T. et Smith, B. T. (2004). Energy cost of walking in children with cerebral palsy: relation to the Gross Motor Function Classification System. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 46(01). doi: 10.1017/S0012162204000064
42. Jones, M. W., Morgan, E. et Shelton, J. E. (2007). Primary Care of the Child with Cerebral Palsy: A Review of Systems (Part II). *Journal of Pediatric Health Care*, 21(4), 226-237. doi: 10.1016/j.pedhc.2006.07.003
43. Jones, M. W., Morgan, E., Shelton, J. E. et Thorogood, C. (2007). Cerebral Palsy: Introduction and Diagnosis (Part I). *Journal of Pediatric Health Care*, 21(3), 146-152. doi: 10.1016/j.pedhc.2006.06.007
44. Kerr Graham, H. et Selber, P. (2003). Musculoskeletal aspects of cerebral palsy. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, 85(2), 157-166. doi: 10.1302/0301-620X.85B2.14066
45. Knights, S., Graham, N., Switzer, L., Hernandez, H., Ye, Z., Findlay, B., ... Fehlings, D. (2014). An innovative cycling exergame to promote cardiovascular fitness in youth with cerebral palsy: A brief report. *Developmental Neurorehabilitation*, 1-6. doi: 10.3109/17518423.2014.923056
46. Krigger, K. W. (2006). Cerebral palsy: an overview. *American Family Physician*, 73(1), 91-100. Récupéré de PubMed.

47. Kruel, L. F. M., Posser, M. S., Alberton, C. L., Pinto, S. S. et Oliveira, A. da S. (2009). Comparison of Energy Expenditure Between Continuous and Interval Water Aerobic Routines. *International Journal of Aquatic Research and Education*, 3(2). doi: 10.25035/ijare.03.02.09
48. Lance, J. W. (1980). The control of muscle tone, reflexes, and movement: Robert Wartenberg Lecture. *Neurology*, 30(12), 1303-1313. Récupéré de PubMed.
49. Larsen, I., Welde, B., Martins, C. et Tjønn, A. E. (2014). High- and moderate-intensity aerobic exercise and excess post-exercise oxygen consumption in men with metabolic syndrome: Exercise and post-exercise oxygen consumption. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(3), e174-e179. doi: 10.1111/sms.12132
50. Lundberg, A., Ovenfors, C.-O. et Saltin, B. (1967). Effect of Physical Training on School-Children with Cerebral Palsy. *Acta Paediatrica*, 56(2), 182-188. doi: 10.1111/j.1651-2227.1967.tb15362.x
51. Maher, C. A., Williams, M. T., Olds, T. et Lane, A. E. (2007). Physical and sedentary activity in adolescents with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(6), 450-457. doi: 10.1111/j.1469-8749.2007.00450.x
52. Maltais, D. B., Pierrynowski, M. R., Galea, V. A. et Bar-Or, O. (2005). Physical activity level is associated with the O₂ cost of walking in cerebral palsy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(3), 347-353. Récupéré de PubMed.
53. Maltais, D. B., Wiart, L., Fowler, E., Verschuren, O. et Damiano, D. L. (2014). Health-Related Physical Fitness for Children With Cerebral Palsy. *Journal of Child Neurology*, 29(8), 1091-1100. doi: 10.1177/0883073814533152
54. Mandaleson, A., Lee, Y., Kerr, C. et Graham, H. K. (2015). Classifying cerebral palsy: are we nearly there? *Journal of Pediatric Orthopedics*, 35(2), 162-166. doi: 10.1097/BPO.0000000000000222
55. McPhee, P. G. (2019). Cardiovascular disease in cerebral palsy: shifting our focus from attention to prevention. *Developmental Medicine & Child Neurology*. doi: 10.1111/dmcn.14198
56. Minear, W. L. (1956). A classification of cerebral palsy. *Pediatrics*, 18(5), 841-852. Récupéré de PubMed.
57. Moreau, N. G., Li, L., Geaghan, J. P. et Damiano, D. L. (2009). Contributors to fatigue resistance of the hamstrings and quadriceps in cerebral palsy. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 24(4), 355-360. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2009.01.012
58. Morris, C. et Bartlett, D. (2004). Gross Motor Function Classification System: impact and utility. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 46(1), 60-65. Récupéré de PubMed.
59. Palisano, R. J., Rosenbaum, P., Bartlett, D. et Livingston, M. H. (2008). Content validity of the expanded and revised Gross Motor Function Classification System. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 50(10), 744-750. doi: 10.1111/j.1469-8749.2008.03089.x

60. Palisano, R., Rosenbaum, P., Walter, S., Russell, D., Wood, E. et Galuppi, B. (1997). Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 39(4), 214-223. doi: 10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x
61. Parent, A., Raison, M., Pouliot-Laforte, A., Marois, P., Maltais, D. B. et Ballaz, L. (2016). Impact of a short walking exercise on gait kinematics in children with cerebral palsy who walk in a crouch gait. *Clinical Biomechanics*, 34, 18-21. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2016.03.003
62. Patrick, E. et Ada, L. (2006). The Tardieu Scale differentiates contracture from spasticity whereas the Ashworth Scale is confounded by it. *Clinical Rehabilitation*, 20(2), 173-182. doi: 10.1191/0269215506cr922oa
63. Pouliot-Laforte, A., Parent, A. et Ballaz, L. (2014). Walking efficiency in children with cerebral palsy: relation to muscular strength and gait parameters. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 17(sup1), 104-105. doi: 10.1080/10255842.2014.931340
64. Rimmer, J. H. (2001). Physical fitness levels of persons with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 43(3), 208-212. doi: 10.1111/j.1469-8749.2001.tb00189.x
65. Rose, J., Gamble, J. G., Burgos, A., Medeiros, J. et Haskell, W. L. (1990). Energy expenditure index of walking for normal children and for children with cerebral palsy. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 32(4), 333-340. Récupéré de PubMed.
66. Rose, J., Gamble, J. G., Lee, J., Lee, R. et Haskell, W. L. (1991). The energy expenditure index: a method to quantitate and compare walking energy expenditure for children and adolescents. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 11(5), 571-578. Récupéré de PubMed.
67. Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., Bax, M., Damiano, D., ... Jacobsson, B. (2007). A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Developmental Medicine and Child Neurology. Supplement*, 109, 8-14. Récupéré de PubMed.
68. Ross, S. A. et Engsberg, J. R. (2007). Relationships Between Spasticity, Strength, Gait, and the GMFM-66 in Persons With Spastic Diplegia Cerebral Palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 88(9), 1114-1120. doi: 10.1016/j.apmr.2007.06.011
69. Shevell, M., Miller, S. P., Scherer, S. W., Yager, J. Y. et Fehlings, M. G. (2011). The Cerebral Palsy Demonstration Project: A Multidimensional Research Approach to Cerebral Palsy. *Seminars in Pediatric Neurology*, 18(1), 31-39. doi: 10.1016/j.spen.2011.02.004
70. Shinohara, T., Suzuki, N., Oba, M., Kawasumi, M., Kimizuka, M. et Mita, K. (2002). Effect of exercise at the AT point for children with cerebral palsy. *Bulletin (Hospital for Joint Diseases (New York, N.Y.))*, 61(1-2), 63-67. Récupéré de PubMed.

71. Sison-Williamson, M., Bagley, A., Gorton, G., Johnson, B. A. et Oeffinger, D. (2014). Analysis of the relationships that body composition and muscular strength have with oxygen cost of walking in children with cerebral palsy. *Gait & Posture*, 40(4), 628-632. doi: 10.1016/j.gaitpost.2014.07.010
72. Smaïl, D. B., Kiefer, C. et Bussel, B. (2003). Clinical evaluation of spasticity. *Neurochirurgie*, 49(2-3), 190-198.
73. Stackhouse, S. K., Binder-Macleod, S. A. et Lee, S. C. K. (2005). Voluntary muscle activation, contractile properties, and fatigability in children with and without cerebral palsy. *Muscle & Nerve*, 31(5), 594-601. doi: 10.1002/mus.20302
74. Stebbins, J., Harrington, M., Thompson, N., Zavatsky, A. et Theologis, T. (2010). Gait compensations caused by foot deformity in cerebral palsy. *Gait & Posture*, 32(2), 226-230. doi: 10.1016/j.gaitpost.2010.05.006
75. Suzuki, N., Oshimi, Y., Shinohara, T., Kawasumi, M. et Mita, K. (2001). Exercise intensity based on heart rate while walking in spastic cerebral palsy. *Bulletin (Hospital for Joint Diseases (New York, N.Y.))*, 60(1), 18-22. Récupéré de PubMed.
76. Tardieu, G., Shentoub, S. et Delarue, R. (1954). [Research on a technic for measurement of spasticity]. *Revue Neurologique*, 91(2), 143-144. Récupéré de PubMed.
77. Taylor, N. F., Dodd, K. J. et Graham, H. K. (2004). Test-retest reliability of hand-held dynamometric strength testing in young people with cerebral palsy. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 85(1), 77-80. Récupéré de PubMed.
78. Trevisi, E., Gualdi, S., De Conti, C., Salghetti, A., Martinuzzi, A., Pedrocchi, A. et Ferrante, S. (2012). Cycling induced by functional electrical stimulation in children affected by cerebral palsy: case report. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 48(1), 135-145. Récupéré de PubMed.
79. Unnithan, V. B., Dowling, J. J., Frost, G. et Bar-Or, O. (1996). Role of cocontraction in the O₂ cost of walking in children with cerebral palsy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 28(12), 1498-1504. Récupéré de PubMed.
80. Van den Berg-Emons, R. J., Van Baak, M. A., Speth, L. et Saris, W. H. (1998). Physical training of school children with spastic cerebral palsy: effects on daily activity, fat mass and fitness. *International Journal of Rehabilitation Research. Internationale Zeitschrift Fur Rehabilitationsforschung. Revue Internationale De Recherches De Readaptation*, 21(2), 179-194. Récupéré de PubMed.
81. van den Hecke, A., Malghem, C., Renders, A., Detrembleur, C., Palumbo, S. et Lejeune, T. M. (2007). Mechanical work, energetic cost, and gait efficiency in children with cerebral palsy. *Journal of Pediatric Orthopedics*, 27(6), 643-647. doi: 10.1097/BPO.0b013e318093f4c3
82. Verschuren, Bosma, L. et Takken, T. (2011). Reliability of a shuttle run test for children with cerebral palsy who are classified at Gross Motor Function Classification System level III. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 53(5), 470-472. doi: 10.1111/j.1469-8749.2010.03893.x

83. Verschuren, Ketelaar, M., Gorter, J. W., Helders, P. J. M., Uiterwaal, C. S. P. M. et Takken, T. (2007). Exercise training program in children and adolescents with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 161(11), 1075-1081. doi: 10.1001/archpedi.161.11.1075
84. Verschuren, Ketelaar, M., Takken, T., Helders, P. J. M. et Gorter, J. W. (2008). Exercise Programs for Children with Cerebral Palsy: A Systematic Review of the Literature. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 87(5), 404-417. doi: 10.1097/PHM.0b013e31815b2675
85. Verschuren, Maltais, D. B. et Takken, T. (2011). The 220-age equation does not predict maximum heart rate in children and adolescents. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 53(9), 861-864. doi: 10.1111/j.1469-8749.2011.03989.x
86. Verschuren, O., Peterson, M. D., Balemans, A. C. J. et Hurvitz, E. A. (2016). Exercise and physical activity recommendations for people with cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 58(8), 798-808. doi: 10.1111/dmcn.13053
87. Verschuren, O. et Takken, T. (2010). Aerobic capacity in children and adolescents with cerebral palsy. *Research in Developmental Disabilities*, 31(6), 1352-1357. doi: 10.1016/j.ridd.2010.07.005
88. Verschuren, Takken, Ketelaar, M., Gorter, J. W. et Helders, P. J. M. (2006). Reliability and validity of data for 2 newly developed shuttle run tests in children with cerebral palsy. *Physical Therapy*, 86(8), 1107-1117. Récupéré de PubMed.
89. Verschuren, Zwinkels, M., Ketelaar, M., Reijnders-van Son, F. et Takken, T. (2013). Reproducibility and Validity of the 10-Meter Shuttle Ride Test in Wheelchair-Using Children and Adolescents With Cerebral Palsy. *Physical Therapy*, 93(7), 967-974. doi: 10.2522/ptj.20120513
90. Waters, R. L. et Mulroy, S. (1999). The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait & Posture*, 9(3), 207-231. doi: 10.1016/S0966-6362(99)00009-0
91. Wiley, M. E. et Damiano, D. L. (2008). Lower-Extremity strength profiles in spastic cerebral palsy. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 40(2), 100-107. doi: 10.1111/j.1469-8749.1998.tb15369.x
92. Williams, H. et Pountney, T. (2007). Effects of a static bicycling programme on the functional ability of young people with cerebral palsy who are non-ambulant. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(7), 522-527. doi: 10.1111/j.1469-8749.2007.00522.x
93. Williams, P. E. et Goldspink, G. (1973). The effect of immobilization on the longitudinal growth of striated muscle fibres. *Journal of Anatomy*, 116(Pt 1), 45-55. Récupéré de PubMed.
94. Williams, P. E. et Goldspink, G. (1978). Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle. *Journal of Anatomy*, 127(Pt 3), 459-468. Récupéré de PubMed.

95. Williams, P. E. et Goldspink, G. (1984). Connective tissue changes in immobilised muscle. *Journal of Anatomy*, 138 (Pt 2), 343-350. Récupéré de PubMed.
96. Winterton, M. T. et Baldwin, K. (2018). The Neuro-Orthopaedic Approach. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 29(3), 567-591. doi: 10.1016/j.pmr.2018.04.007
97. Wood, K. S. et Daluisi, A. (2018). Management of Joint Contractures in the Spastic Upper Extremity. *Hand Clinics*, 34(4), 517-528. doi: 10.1016/j.hcl.2018.06.011
98. Zwier, J. N., van Schie, P. E. m., Becher, J. G., Smits, D.-W., Gorter, J. W. et Dallmeijer, A. J. (2010). Physical activity in young children with cerebral palsy. *Disability and Rehabilitation*, 32(18), 1501-1508. doi: 10.3109/09638288.2010.497017