

Université de Montréal

**Développement d'un protocole d'évaluation et d'un programme  
d'entraînement de la capacité cardiorespiratoire chez des usagers  
d'un fauteuil roulant manuel**

par

Cindy Gauthier

Études supérieures, École de réadaptation

Faculté de médecine

Thèse présentée à la Faculté des études supérieures et postdoctorales  
en vue de l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph. D.)  
en Sciences de la réadaptation

24 octobre 2017

© Cindy Gauthier, 2017

Université de Montréal

Faculté des études supérieures et postdoctorales

Cette thèse intitulée :

Développement d'un protocole d'évaluation et d'un programme d'entraînement de la capacité cardiorespiratoire chez des usagers d'un fauteuil roulant manuel

présentée par :  
Cindy Gauthier

a été évaluée par un jury composé des personnes suivantes :

Carole Fortin, Ph. D.  
Président-rapporteur

Dany Gagnon, Ph. D.  
Directeur de recherche

Audrey L. Hicks, Ph. D.  
Codirectrice

Paula Rushton, Ph. D.  
Membre du jury

Shane Sweet, Ph.D.  
Examineur externe

Danik Lafond, Ph.D.  
Représentant de la doyenne de la FESP

## Résumé

Les usagers d'un fauteuil roulant (FR) manuel ont une capacité cardiorespiratoire habituellement fortement diminuée suite à aux déficiences physiques ayant mené à l'incapacité à la marche et à leur mode de vie souvent sédentaire. Cependant, peu d'outils sont disponibles pour l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire spécifique à la propulsion d'un FR manuel. Les objectifs principaux de cette thèse étaient 1) de proposer et d'évaluer un protocole d'épreuve d'effort en FR manuel sur un tapis roulant motorisé et 2) d'étudier la faisabilité, la sécurité et les effets d'un entraînement cardiorespiratoire par intervalles à haute intensité en FR manuel effectué dans la communauté. Trois projets distincts font partie de cette thèse. Projet #1 - Exigences cardiorespiratoires lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé: 17 usagers d'un FR manuel ont effectué 12 essais randomisés de propulsion composés d'une combinaison d'une pente ( $0^\circ$ ,  $2,7^\circ$ ,  $3,6^\circ$  et  $4,8^\circ$ ) et d'une vitesse (0,6, 0,8 et 1,0 m/s) sur un tapis roulant motorisé. Les réponses cardiorespiratoires ont été mesurées et l'effet de la pente et de la vitesse sur celles-ci fut calculé. Un nouveau protocole d'épreuve d'effort fut proposé en se basant sur l'effet de la pente et de la vitesse sur la consommation d'oxygène ( $VO_2$ ). Projet #2 - Qualités psychométriques de l'épreuve d'effort : Au total 28 usagers d'un FR manuel ont participé à ce projet. La fidélité test-retest et le changement minimal détectable ont été quantifiés en comparant les réponses cardiorespiratoires maximales mesurées lors de deux épreuves d'effort sur tapis roulant effectuées lors d'occasions différentes. La validité concomitante des réponses cardiorespiratoires maximales mesurées lors de l'épreuve sur tapis roulant a été vérifiée en les comparant avec celles obtenues lors d'une épreuve d'effort sur un ergocycle pour les membres supérieurs. Projet #3- Programme d'entraînement: Onze usagers d'un FR manuel ont été répartis aléatoirement entre un groupe effectuant un programme d'entraînement cardiorespiratoire par intervalles à haute intensité (HIIT) (N=6) et un groupe effectuant un programme d'entraînement cardiorespiratoire continu à intensité modérée (N=5). Ces programmes de 40 minutes/séance à raison de trois séances/semaine pendant six semaines étaient effectués en FR manuel dans la communauté sous la supervision indirecte d'un physiothérapeute. La faisabilité, la sécurité et l'efficacité sur l'amélioration de la capacité

cardiorespiratoire et de la force des membres supérieurs ont été mesurées et comparées entre les deux programmes. Les résultats du projet #1 ont démontré que les réponses cardiorespiratoires augmentaient avec l'augmentation de la pente ou de la vitesse du tapis roulant pour presque toutes les conditions. L'équation de prédiction de la  $VO_2$  a permis de développer un protocole d'épreuve d'effort en propulsion d'un FR sur un tapis roulant motorisé fidèle et valide pour évaluer la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel. Aussi, le programme d'entraînement HIIT s'est avéré sécuritaire lorsqu'effectué dans la communauté bien que des précautions doivent être prises lorsque les individus présentent de la douleur aux membres supérieurs. De plus, les routes bien entretenues et les endroits peu achalandés sont des endroits sécuritaires et appréciés pour l'entraînement en FR manuel. Finalement, l'efficacité du programme d'entraînement HIIT n'a pas été démontrée après six semaines d'entraînement, mais les améliorations subjectives rapportées par les participants appuient sa pertinence.

**Mots-clés :** Capacité cardiorespiratoire, évaluation, entraînement, fauteuil roulant manuel, lésion médullaire

## **Abstract**

Manual wheelchair (MWC) users usually have a strongly reduced cardiorespiratory capacity due to both the physical disabilities which brought the need for a wheelchair and to their often sedentary lifestyle. However, very few tools are available for the evaluation and the training of the cardiorespiratory fitness aimed specifically at MWC users. The main goals of this thesis were to 1) propose and evaluate a MWC stress test protocol on a motorized treadmill and 2) to study the feasibility, the safety and the impacts of a community-based high-intensity interval MWC cardiorespiratory training. This thesis is composed of three distinct projects. Project #1 – Cardiorespiratory requirements during MWC propulsion on a motorized treadmill: 17 MWC users completed 12 randomized trials composed of a combination of a slope ( $0^\circ$ ,  $2.7^\circ$ ,  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$ ) and a speed (0.6, 0.8 and 1.0 m/s) on a motorized treadmill. The cardiorespiratory responses have been measured and the effects of changes of slope and speed on them have been calculated. A new stress test protocol was then proposed according to the effects of the slope and the speed on oxygen consumption ( $VO_2$ ). Project #2 – Psychometric properties of the stress test: A total of 28 MWC users took part to this project. The test-retest reliability and the minimal detectable change (MDC) were quantified by comparing the maximal cardiorespiratory responses measured during two stress tests completed on two separate occasions. The verification of the concurrent validity was done by comparing the maximal cardiorespiratory responses measured during the treadmill stress tests with those measured during a stress test on an arm crank ergometer. Project #3: Training program: 11 MWC users were randomly assigned to either a group doing a high-intensity interval training (HIIT) (N=6) or a group doing a continuous, moderate-intensity cardiorespiratory training (N=5). These programs lasted 40 minutes/session, 3 days/weeks for a duration of 6 weeks and were executed in a MWC in a community setting under the indirect supervision of a physiotherapist. The feasibility, safety and effectiveness regarding an increase in cardiorespiratory capacity and upper extremity strength were measured and compared between programs. The results of project #1 did show higher cardiorespiratory responses with an increase in the treadmill slope or speed for almost all conditions. The prediction equation for the  $VO_2$  allowed for a stress test protocol to be developed

and which can be used as a reliable and valid test of the cardiorespiratory capacity on a motorized treadmill for MWC users. Furthermore, the HIIT program was deemed safe while executed in a community setting, while precautions should be taken when individuals have upper extremity pain. Also, well-maintained roads and less crowded areas are popular and safe MWC training places. Finally, the effectiveness of the 6 weeks HIIT training program has not been confirmed, but the subjective improvements reported by the patients support the relevance of the program.

**Keywords:** Assessment, cardiorespiratory fitness, training, manual wheelchair, spinal cord injury

# Table des matières

---

<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>III</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>TABLE DES MATIERES</b> .....	<b>VII</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>XV</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>XVII</b>
<b>LISTE DES ÉQUATIONS</b> .....	<b>XIX</b>
<b>LISTE DES ABRÉVIATIONS</b> .....	<b>XX</b>
<b>DÉDICACE</b> .....	<b>XXII</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>XXIII</b>
<b>CHAPITRE 1. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 2. RECENSION DE LA LITTÉRATURE</b> .....	<b>6</b>
2.1. LA MOELLE ÉPINIÈRE.....	6
2.2. LA LÉSION MÉDULLAIRE.....	8
2.2.1. <i>Classification</i> .....	9
2.2.1.1. Niveau lésionnel.....	9
2.2.1.2. Paraplégie versus tétraplégie.....	10
2.2.1.2.1. Lésion complète versus incomplète.....	10
2.2.2. <i>Déficiences, incapacités et limitations fonctionnelles spécifiques suite à une lésion médullaire</i> .....	11
2.2.2.1. Déficiences découlant d'une lésion médullaire.....	11
2.2.2.1.1. Déficiences du système autonome.....	11
2.2.2.1.2. Autres déficiences.....	13
2.2.2.2. Limitations aux activités et à la participation.....	13
2.3. DÉFICIENCES, INCAPACITÉS ET LIMITATIONS FONCTIONNELLES LIÉES À L'USAGE D'UN FAUTEUIL ROULANT.....	14
2.3.1. <i>Déficiences menant à l'usage d'un FR</i> .....	14
2.3.2. <i>Déficiences et limitations secondaires liées à l'utilisation prolongée d'un fauteuil roulant</i> .....	14
2.3.2.1. Impacts sur la santé générale.....	15
2.3.2.2. Impacts sur la capacité cardiorespiratoire.....	15
2.3.2.3. Risque de blessures musculosquelettiques.....	17
2.3.2.4. Influence sur la participation sociale.....	19

2.4. LA PROPULSION D'UN FAUTEUIL ROULANT MANUEL.....	20
2.4.1. Paramètres spatiotemporels.....	21
2.4.2. Muscles clés de la propulsion.....	22
2.4.3. Recommandations pour prévenir les blessures aux membres supérieurs.....	24
2.5. LA CONDITION PHYSIQUE.....	25
2.5.1. Capacité cardiorespiratoire.....	25
2.5.2. Force musculaire.....	27
2.5.3. Autres composantes de la condition physique.....	27
2.6. L'ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ CARDIORESPIRATOIRE.....	28
2.6.1. Protocoles discontinus ou continus.....	28
2.6.1.1. Protocoles discontinus.....	28
2.6.1.2. Protocoles continus.....	29
2.6.2. Protocoles continus en rampe versus par paliers.....	29
2.6.2.1. Protocoles par paliers.....	30
2.6.2.2. Protocoles en rampe.....	30
2.6.3. Types de modalités.....	31
2.6.3.1. Modalités d'évaluation pour les membres inférieurs.....	31
2.6.3.2. Comparaison entre membres inférieurs et supérieurs.....	32
2.6.3.3. Modalités d'évaluation pour les usagers d'un fauteuil roulant.....	32
2.7. LES QUALITÉS PSYCHOMÉTRIQUES D'UN INSTRUMENT DE MESURE.....	33
2.7.1. Fidélité des protocoles d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire.....	33
2.7.1.1. Mesures de la fidélité.....	34
2.7.2. Validité.....	37
2.7.2.1. Mesures de la validité.....	37
2.7.3. Sensibilité.....	37
2.8. L'ENTRAÎNEMENT CARDIORESPIRATOIRE.....	38
2.8.1. Entraînement continu à intensité modérée.....	38
2.8.2. Entraînement par intervalle à haute intensité.....	39
2.8.2.1. Fondements du HIIT.....	39
2.8.3. Comparaison entre entraînement continu et par intervalles à haute intensité.....	40
2.8.3.1. Avantages pour le système cardiorespiratoire.....	40
2.8.3.2. Avantages pour le système musculaire.....	41
2.8.3.3. Avantages généraux.....	41
2.8.4. Caractéristiques d'un entraînement en HIIT.....	41
2.8.4.1. Période à haute intensité.....	42
2.8.4.2. Période de repos.....	42
2.9. L'ENTRAÎNEMENT CARDIORESPIRATOIRE POUR LES USAGERS D'UN FR MANUEL.....	43



2.10. BARRIÈRES ET FACILITATEURS À L'ENTRAÎNEMENT EN FR MANUEL .....	46
2.10.1. <i>Barrières à l'entraînement en FR</i> .....	46
2.10.2. <i>Facilitateurs à l'entraînement en FR</i> .....	46
<b>CHAPITRE 3.    OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES .....</b>	<b>48</b>
3.1. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES GÉNÉRAUX DE LA THÈSE.....	48
3.2. OBJECTIFS SPÉCIFIQUES .....	49
3.2.1. <i>Article # 1</i> .....	49
3.2.2. <i>Article # 2</i> .....	49
3.2.3. <i>Article # 3</i> .....	49
3.2.4. <i>Article # 4</i> .....	50
<b>CHAPITRE 4.    MÉTHODOLOGIE .....</b>	<b>51</b>
4.1. PLAN DU DÉROULEMENT DU DOCTORAT .....	51
4.2. PROJET #1 : EXIGENCES CARDIORESPIRATOIRES LORS DE LA PROPULSION DU FR MANUEL .....	54
4.2.1. <i>Les participants à l'étude</i> .....	54
4.2.2. <i>Le recrutement des participants</i> .....	54
4.2.3. <i>L'évaluation clinique</i> .....	55
4.2.4. <i>L'évaluation en laboratoire</i> .....	56
4.2.5. <i>Le traitement de données</i> .....	57
4.3. PROJET #2 : QUALITÉS PSYCHOMÉTRIQUES DU TEST CARDIORESPIRATOIRE .....	58
4.3.1. <i>Les participants à l'étude</i> .....	58
4.3.2. <i>Le recrutement des participants</i> .....	58
4.3.3. <i>Déroulement du projet</i> .....	59
4.3.4. <i>Évaluation clinique</i> .....	60
4.3.4.1. <i>Données démographiques et caractéristiques des participants</i> .....	60
4.3.4.2. <i>Questionnaires</i> .....	61
4.3.5. <i>Évaluation en laboratoire</i> .....	61
4.3.5.1. <i>Évaluation cardiorespiratoire en FR manuel sur tapis roulant motorisé</i> .....	61
4.3.6. <i>Le traitement de données et variables à l'étude</i> .....	62
4.4. PROJET #3 : ENTRAÎNEMENT PAR INTERVALLE À HAUTE INTENSITÉ EN FR MANUEL .....	63
4.4.1. <i>Les participants à l'étude</i> .....	63
4.4.2. <i>Le recrutement</i> .....	64
4.4.3. <i>Déroulement du projet de recherche</i> .....	64
4.4.4. <i>L'évaluation clinique</i> .....	65
4.4.4.1. <i>Données démographiques et caractéristiques des participants</i> .....	65

4.4.4.2.	Mesures anthropométriques et amplitudes articulaires.....	65
4.4.5.	<i>Questionnaires</i> .....	66
4.4.5.1.	Wheelchair Users Shoulder Pain Index (WUSPI).....	66
4.4.5.2.	Classification du niveau d'activité physique.....	66
4.4.6.	<i>Évaluation de la capacité cardiorespiratoire maximale</i> .....	67
4.4.7.	<i>Évaluation de la force musculaire isométrique maximale</i> .....	67
4.4.8.	<i>Intervention</i> .....	68
4.4.8.1.	Répartition des participants dans les groupes.....	68
4.4.8.2.	Vidéo sur les conseils pour la propulsion d'un FR manuel .....	68
4.4.8.3.	Enseignement sur la gestion de l'intensité de l'effort.....	69
4.4.8.4.	Programmes d'entraînement .....	69
4.4.8.4.1.	Séances d'entraînement HIIT.....	70
4.4.8.4.2.	Séances d'entraînement continu à intensité modérée.....	70
4.4.8.5.	Suivi de l'activité physique .....	70
4.4.9.	<i>Suivi après la fin du programme d'entraînement</i> .....	71
4.5.	ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ CARDIORESPIRATOIRE .....	72
4.5.1.	<i>Instrumentation et outils de mesure</i> .....	72
4.5.1.1.	Analyseur de gaz Cosmed K4b <sup>2</sup> .....	72
4.5.1.1.1.	Calibration .....	73
4.5.1.2.	Cardiofréquencemètre .....	73
4.5.1.3.	Autres mesures .....	74
4.6.	ANALYSES STATISTIQUES .....	75
<b>CHAPITRE 5.</b>	<b>RÉSULTATS</b> .....	<b>76</b>
5.1.	ARTICLE #1: QUANTIFYING CARDIORESPIRATORY RESPONSES RESULTING FROM SPEED AND SLOPE INCREMENTS RESULTING FROM MOTORIZED TREADMILL PROPULSION AMONG MANUAL WHEELCHAIR USERS .....	76
5.1.1.	<i>Abstract</i> .....	77
5.1.2.	<i>Introduction</i> .....	78
5.1.3.	<i>Methods</i> .....	79
5.1.3.1.	Participants.....	79
5.1.3.2.	Experimental tasks .....	81
5.1.3.3.	Instrumentation and data processing .....	81
5.1.3.4.	Outcome measures .....	82
5.1.3.5.	Statistical analysis .....	82
5.1.4.	<i>Results</i> .....	83
5.1.4.1.	Effect of slope and speed on cardiorespiratory measures .....	85
5.1.4.2.	Relationship between main cardiorespiratory measures and RPE.....	86
5.1.4.3.	Speed and slope as determinants and predictors of VO <sub>2</sub> .....	87

5.1.5. Discussion .....	87
5.1.5.1. Cardiorespiratory responses to exercise .....	87
5.1.5.2. Rate of perceived exertion and exercise monitoring .....	89
5.1.5.3. A future testing protocol .....	89
5.1.6. Conclusions .....	91
5.1.7. References .....	92
5.2. ARTICLE #2: RELIABILITY AND MINIMAL DETECTABLE CHANGE OF A NEW TREADMILL-BASED PROGRESSIVE WORKLOAD INCREMENTAL TEST TO MEASURE CARDIORESPIRATORY FITNESS IN MANUAL WHEELCHAIR USERS.....	95
5.2.1. Abstract .....	96
5.2.2. Introduction.....	97
5.2.3. Methods .....	98
5.2.3.1. Participants.....	98
5.2.3.2. Study design.....	101
5.2.3.3. Treadmill-based wheelchair propulsion test.....	101
5.2.3.3.1. Instrumentation and main outcome measures .....	102
5.2.3.4. Statistical analysis .....	103
5.2.4. Results .....	104
5.2.5. Discussion .....	109
5.2.5.1. Feasibility of the proposed test.....	109
5.2.5.2. Reliability of the proposed test.....	109
5.2.5.3. Standard error of measurement and minimal detectable change of the newly developed treadmill- based wheelchair propulsion test.....	111
5.2.5.4. Translating outcomes into clinical practice .....	111
5.2.5.5. Study limitations .....	112
5.2.6. Conclusion.....	112
5.2.7. References .....	113
5.2.8. Résultats supplémentaires de l'article #2.....	116
5.2.8.1. Description des participants .....	116
5.3. ARTICLE #3: COMPARISON OF TREADMILL-BASED WHEELCHAIR PROPULSION AND ARM-CRANK ERGOMETER INCREMENTAL CARDIORESPIRATORY FITNESS TESTS AMONG MANUAL WHEELCHAIR USERS.....	121
5.3.1. Abstract .....	122
5.3.2. Introduction.....	124
5.3.3. Methods .....	125
5.3.3.1. Participants.....	125
5.3.3.2. Study Design.....	127
5.3.3.3. Experimental tasks .....	127
5.3.3.3.1. Treadmill-based wheelchair propulsion test.....	127

5.3.3.3.2. Arm-crank ergometer test (ACET) .....	128
5.3.3.4. Instrumentation and main outcome measures.....	129
5.3.3.5. Statistical analysis .....	129
5.3.4. <i>Results</i> .....	130
5.3.5. <i>Discussion</i> .....	134
5.3.5.1. Validity of the WPT <sub>Treadmill</sub> .....	134
5.3.5.2. Acceptability of the WPT <sub>Treadmill</sub> .....	137
5.3.5.3. Study limitations .....	137
5.3.6. <i>Conclusion</i> .....	137
5.3.7. <i>References</i> .....	140
5.4. ARTICLE #4: FEASIBILITY, SAFETY AND PRELIMINARY EFFECTIVENESS OF A HOME-BASED SELF-MANAGED HIGH-INTENSITY INTERVAL TRAINING PROGRAM OFFERED TO LONG-TERM MANUAL WHEELCHAIR USERS.....	144
5.4.1. <i>Préface</i> .....	145
5.4.2. <i>Abstract</i> .....	146
5.4.3. <i>Introduction</i> .....	148
5.4.4. <i>Methods</i> .....	150
5.4.4.1. Participants.....	150
5.4.4.2. Study design.....	150
5.4.4.3. Group allocation.....	151
5.4.4.4. Intervention .....	151
5.4.4.4.1. High-intensity interval training.....	152
5.4.4.4.2. Moderate-intensity continuous training .....	152
5.4.4.5. Assessments and outcome measures .....	152
5.4.4.5.1. Satisfaction and perceived benefits.....	153
5.4.4.5.2. Feasibility .....	153
5.4.4.5.3. Safety and perceived risks .....	154
5.4.4.5.4. Preliminary effectiveness.....	154
5.4.4.5.4.1. Cardiorespiratory fitness testing .....	154
5.4.4.5.4.2. Upper limb muscle strength .....	155
5.4.5. <i>Statistical analysis</i> .....	155
5.4.6. <i>Results</i> .....	156
5.4.6.1. Participants.....	156
5.4.6.2. Recruitment flow.....	158
5.4.6.3. Feasibility.....	158
5.4.6.3.1. Acceptability.....	159
5.4.6.3.2. Demand.....	159
5.4.6.3.3. Implementation .....	160
5.4.6.3.4. Practicality.....	160

5.4.6.3.5. Preliminary effectiveness.....	160
5.4.6.4. Safety.....	161
5.4.6.5. Preliminary effectiveness.....	162
5.4.6.5.1. Change in cardiorespiratory fitness.....	162
5.4.6.5.2. Upper limb muscle strength adaptation.....	163
5.4.7. <i>Discussion</i> .....	164
5.4.7.1. Feasibility.....	164
5.4.7.2. Safety.....	166
5.4.7.3. Preliminary effectiveness.....	167
5.4.7.4. Future studies.....	169
5.4.7.5. Limitations.....	170
5.4.8. <i>Conclusion</i> .....	170
5.4.9. <i>References</i> .....	172
<b>CHAPITRE 6. DISCUSSION.....</b>	<b>178</b>
6.1. SYNTHÈSE DES PRINCIPAUX RESULTATS DE RECHERCHE.....	179
6.1.1. <i>Effet de la vitesse et de la pente</i> .....	179
6.1.2. <i>Développement du protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel</i> .....	180
6.1.3. <i>Qualités psychométriques du protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel</i> 183	
6.1.3.1. Fidélité et changement minimal détectable.....	183
6.1.3.1.1. Sources de variation.....	185
6.1.3.2. Validité du test.....	188
6.1.4. <i>Effet de l'expérience en propulsion d'un FR manuel</i> .....	189
6.1.5. <i>Avantages du protocole en FR manuel sur un tapis roulant</i> .....	190
6.1.6. <i>Programme d'entraînement cardiorespiratoire de type HIIT à domicile</i> .....	191
6.1.6.1. Entraînement en FR manuel dans la communauté.....	192
6.1.6.2. Entraînement HIIT en FR manuel.....	195
6.2. LIMITES DES PROJETS DE RECHERCHE.....	197
6.2.1. <i>Limites liées aux protocoles expérimentaux</i> .....	197
6.2.1.1. Familiarisation des participants.....	197
6.2.1.2. Ordre des conditions expérimentales.....	198
6.2.1.3. Port du matériel expérimental.....	199
6.2.2. <i>Limites liées aux outils de mesures et aux traitements des données</i> .....	200
6.2.3. <i>Limites liées à la population à l'étude et généralisation des résultats</i> .....	201
6.3. AVENUES DE FUTURS PROJETS DE RECHERCHE.....	203

6.3.1. Validation de l'équation de prédiction de la VO <sub>2</sub> lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé .....	203
6.3.2. Étude clinique randomisée comparant un programme HIIT avec un groupe complétant un programme MCIT et un groupe contrôle.....	203
6.3.3. Entraînement précoce pendant la réadaptation fonctionnelle intensive .....	203
6.3.4. Existe-t-il un seuil critique de douleur et de force musculaire aux membres supérieurs pour entreprendre un entraînement en FR manuel?.....	205
6.3.5. Un entraînement cardiorespiratoire en FR manuel permet-il d'améliorer les paramètres biomécaniques de propulsion d'un FR manuel et prévenir les douleurs aux membres supérieurs?.....	205
6.3.6. Effets psychologiques de l'activité physique à haute intensité et sentiment d'efficacité .....	206
<b>CHAPITRE 7. CONCLUSION .....</b>	<b>208</b>
<b>CHAPITRE 8. BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>I</b>
<b>ANNEXE I : CONSENTEMENTS DU COMITÉ D'ÉTHIQUE .....</b>	<b>XXVIII</b>
<b>ANNEXE II : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT PROJET #1 .....</b>	<b>XXXIV</b>
<b>ANNEXE III : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT PROJET #2 .....</b>	<b>XLIX</b>
<b>ANNEXE IV : FORMULAIRE DE CONSENTEMENT PROJET #3.....</b>	<b>LXI</b>
<b>ANNEXE V : JOURNAL DE BORD POUR PROJET #3.....</b>	<b>LXXI</b>
<b>ANNEXE VI : QUESTIONNAIRE POUR PROJET #3.....</b>	<b>LXXIII</b>
<b>ANNEXE VII : PREUVE DE SOUMISSION DE L'ARTICLE #3.....</b>	<b>LXXVIII</b>
<b>ANNEXE VIII : PREUVE DE SOUMISSION DE L'ARTICLE #4 .....</b>	<b>LXXIX</b>
<b>ANNEXE IX : ABRÉGÉS DE COMMUNICATION PUBLIÉS .....</b>	<b>LXXX</b>

## Liste des tableaux

---

Tableau 2.1 Échelle de déficience de l'American Spinal Cord Injury Association (ASIA) (traduction de l'ASIA Impairment Scale (AIS)).....	10
Tableau 2.2 Valeurs de référence de la consommation de pointe d'oxygène ( $VO_{2\text{pointe}}$ ) basées sur le sexe et la classification fonctionnelle. Adapté et traduit de Simmons et al., 2014. ....	16
Tableau 2.3 Valeurs de référence de la consommation de pointe d'oxygène ( $VO_{2\text{pointe}}$ ) basées sur le sexe et l'âge. Adapté et traduit de Coulson & Archer 2015. ....	17
Tableau 2.4 Résumé de la fidélité test-retest et du CMD de la $VO_2$ lors d'épreuves pour membres supérieurs et pour membres inférieurs. ....	36
Tableau 2.5 Intensités d'exercice selon l'American College of Sport Medicine (2013). ....	38
Tableau 2.6 Recommandations d'activité physique pour les individus ayant une LM. Traduit de Evans et al. (2015). ....	44
Tableau 2.7 Résumé des programmes d'entraînements cardiorespiratoires pour les usagers d'un FR manuel ayant une LM. Tiré de Hicks et al. (2011) .....	45
Tableau 4.1 Protocole d'épreuve d'effort en FR manuel sur un tapis roulant motorisé Protocole d'évaluation cardiorespiratoire en fauteuil roulant manuel sur un tapis roulant motorisé	62
Tableau 5.1 Characteristics of participants .....	80
Tableau 5.2 Cardiorespiratory measures for participants. ....	83
Tableau 5.3 Characteristics of participants .....	100
Tableau 5.4 Cardiorespiratory fitness wheelchair test protocol.....	102
Tableau 5.5 Mean values for T1 and T2 .....	105

Tableau 5.6 Intra-class correlation coefficients and minimal detectable change between T1 and T2 .....	106
Tableau 5.7 Description des participants expérimentés en propulsion d'un FR manuel. ....	117
Tableau 5.8 Description des participants inexpérimentés en propulsion d'un FR manuel. ....	118
Tableau 5.9 Valeurs moyennes (écart-types) du premier (T1) et deuxième (T2) essai des participants expérimentés et inexpérimentés en FR manuel.....	119
Tableau 5.10 Valeur de fidélité test-retest. ....	120
Tableau 5.11 Description of participants .....	126
Tableau 5.12 Continuous treadmill-based wheelchair propulsion test. ....	128
Tableau 5.13 Mean (SD) cardiorespiratory outcome measures obtained during the WPT <sub>Treadmill</sub> and the ACET and correlation coefficients (r) between them. ....	131
Tableau 5.14 Description of participants.....	157
Tableau 5.15 Cardiorespiratory fitness outcome measures before (T1) and after (T2) the training programs. ....	162
Tableau 5.16 Right upper limb strength outcome measures before (T1) and after (T2) the training programs.....	164



## Liste des figures

---

Figure 2.1 Anatomie de la moelle épinière et des nerfs spinaux. Tirée de Tortora, Grabowski, Boudreault et Desorcy (2001).....	7
Figure 2.2: Standards internationaux de classification neurologique des lésions médullaires. ..	9
Figure 2.3 Résumé selon le modèle de la CIF, des déficiences, des incapacités et des facteurs environnementaux pouvant limiter la participation sociale et mener à des situations de handicap chez les usagers d'un FR manuel. ....	20
Figure 2.4 Cycle de propulsion d'un fauteuil roulant manuel. Tirée de Newsam (1999). ....	22
Figure 2.5 Les quatre patrons de propulsion les plus communs sont en arc (AR), en simple boucle (SL), en double boucle (DL) et le patron semi-circulaire (SC). Les lignes pleines représentent la phase de poussées alors que les lignes pointillées représentent la phase de récupération. Tirée de Slowik, Requejo, Mulroy et Neptune (2016).....	22
Figure 2.6: Pourcentage de la force musculaire maximale déployée lors de la propulsion. Tirée de Veeger et al. (2002).....	24
Figure 2.7 Protocole en rampe et protocoles par paliers de 1, 2 et 3 minutes. Tirée de Zhang et al. (1991). ....	31
Figure 4.1 Schéma de la progression du doctorat. ....	53
Figure 4.2 Système de sécurité sur le tapis roulant.....	56
Figure 4.3 Schéma du projet de recherche #2.....	60
Figure 4.4 Schéma du déroulement du projet de recherche #3.....	65
Figure 4.5 Position des participants sur l'ergomètre pour les membres supérieurs .....	67

Figure 4.6 Différentes composantes du Cosmed K4b <sub>2</sub> .....	73
Figure 5.1 Experimental set-up .....	81
Figure 5.2 A: Evolution of VO <sub>2</sub> (mL/kg/min) during each trial. B: Proposed set of combinations of speed and slope for the new graded cardiorespiratory fitness assessment protocol. ....	84
Figure 5.3 Changes in VO <sub>2</sub> (ml/kg/min), HR (pulses/min) and RR (breath/min), R, Ve (l/min) and Vt (l) for each speed and slope. VO <sub>2</sub> : oxygen uptake; HR: heart rate; R: respiratory ratio; Ve: minute ventilation; Vt: tidal volume. *P < 0.05, **P < 0.01, ***P < 0.001. ...	86
Figure 5.4 Experimental setting .....	102
Figure 5.5 Bland-Altman plot graphs for VO <sub>2peak</sub> (A) and TTE (B) between T1 and T2 and correlation graphs for VO <sub>2peak</sub> (C) and TTE (D).....	108
Figure 5.6 Experimental set-up when performing the WPT <sub>Treadmill</sub> . ....	128
Figure 5.7 Scatter plot diagrams of A) VO <sub>2peak</sub> (mL/kg/min), B) VCO <sub>2peak</sub> (mL/min), C) HR <sub>peak</sub> (bpm) and D) VE <sub>peak</sub> (L/min) measured during the WPT <sub>Treadmill</sub> and the ACET. ....	132
Figure 5.8 Bland-Altman plot graphs for A) VO <sub>2peak</sub> and B) HR <sub>peak</sub> between the WPT <sub>Treadmill</sub> and the ACET. ....	133
Figure 5.9 Participant recruitment flow diagram.....	158
Figure 5.10 Mean score for each of the questions included in the questionnaire completed at the end of the training program.....	159
Figure 5.11 VO <sub>2peak</sub> values before (T1) and after (T2) the training program for each participant in the HIIT group (A) and the MICT group (B). Red lines represent the mean changes for each group.....	163

## Liste des équations

---

Équation 2.1 Calcul du taux d'utilisation musculaire d'une tâche.....	24
Équation 2.2 Calcul de l'indice de masse corporelle.....	28
Équation 4.1 Force maximale isométrique .....	68

# Liste des abréviations

---

ACSM : American College of Sports Medicine

AIS : ASIA Impairment Scale

ASIA: American Spinal Injury Association

Bbm : Battements par minute

CCI : coefficient de corrélation intra-classe

ET : écart-type

FC : fréquence cardiaque

FR : fauteuil roulant

HIIT : entraînement par intervalles à haute intensité

HR : heart rate

IMC : indice de masse corporelle

LM : lésion médullaire

l/min : litre par minute

l/kg/min : litre par kilogramme par minute

m : mètre

MICT : entraînement continu à intensité modérée

m/s : mètre par seconde

Nm : Newton-mètre

° : degré

% : pour cent

R : ratio d'échange respiratoire

RER : respiratory exchange ratio

s : seconde

TUM : Taux d'utilisation musculaire

VE : débit ventilatoire

VCO<sub>2</sub> : volume de dioxyde de carbone rejeté

VO<sub>2</sub> : consommation d'oxygène

VO<sub>2pointe</sub> : consommation d'oxygène de pointe

VO<sub>2max</sub> : consommation d'oxygène maximale

VT : volume courant

W : Watts

# Dédicace

---

*À ma mère pour m'avoir transmis ses  
bonnes valeurs et sa persévérance.*

*À mes grands-parents pour m'avoir  
donné les outils nécessaires pour réussir ma vie.*

## Remerciements

---

Je tiens tout d'abord à exprimer toute ma reconnaissance envers mon directeur Dr Dany H. Gagnon. Merci Dany de m'avoir accordé ta confiance et de m'avoir permis de repousser mes limites. Dès ma première année en physiothérapie, tu m'as pris sous ton aile et m'as transmis ta passion pour la recherche. Je te remercie pour ces belles années à travailler avec toi, pour ton écoute, ta grande disponibilité et ta patience. J'ai beaucoup cheminé au cours des dernières années autant sur le plan personnel que professionnel grâce à toi. Je t'en remercie du fond du cœur.

I want to thank you, my co-supervisor Dre Audrey L. Hicks who allowed me to expand my knowledge and see the research with sometimes a different eye. Thank you for your time, your great expertise and your kindness.

Je remercie également Rachel Brosseau pour sa grande générosité de temps et de connaissances. Ta collaboration sur mes projets de recherche a vraiment permis de les enrichir.

Je tiens à remercier du fond du cœur Jasmine Arel pour son aide précieuse pour mes projets de recherche. Merci de ta rigueur au travail, de ta passion et de ton énergie contagieuse. Tu as embelli mes étés de collectes!

Je tiens à remercier très chaleureusement Murielle Grangeon, ma collègue, mon associée, ma mentore, mais plus particulièrement ma chère amie. Merci de croire en moi et de m'avoir donné tant d'opportunités. Je tiens aussi à remercier toute ta famille pour les bons repas partagés, les moments chaleureux et les câlins si réconfortants de tes enfants. Merci pour tout!

Je remercie également mes collègues de l'IRGLM. Merci Carole pour ton écoute exceptionnelle et ton calme qui a su apaiser mes angoisses à plusieurs reprises. Merci Martina et Noémie pour nos soirées d'escalade qui m'ont permis de décrocher un peu. Merci Séléna pour tes bons conseils et ton support. Merci à toutes de m'avoir écoutée, soutenue et encouragée. Je remercie aussi Jean-François Lemay, Marie-Christine Hallé, Philippe Paquette et tous les autres étudiants du laboratoire pour les bons moments partagés avec vous.

Je remercie également mes amis et collègues en réadaptation pour vos encouragements et pour partager avec moi votre passion de la réadaptation. Un merci spécial à Anne Hudon pour son support et son incroyable motivation.

Un merci spécial à Daniel Marineau pour son soutien technique et sa grande disponibilité. Je remercie sincèrement Michel Goyette, Philippe Gordou et Youssef El Khamlichil pour leur aide et leur patience.

Je remercie particulièrement Félix Chénier pour sa collaboration, son aide précieuse et pour les merveilleuses pauses-café passées à discuter de tout et de rien et à regarder ses montages de gâteaux!

Je remercie les physiothérapeutes de l'IRGLM qui ont aidé au développement de mes projets et au recrutement des participants. Je tiens à saluer Marie-Thérèse Laramée, coordonnatrice de recherche-clinique, qui a beaucoup soutenu mes projets. Je remercie tous les participants du projet qui ont été d'une très grande générosité. Un merci sincère au Réseau provincial de recherche en adaptation-réadaptation (REPAR) et l'Ordre professionnel de la physiothérapie du Québec (OPPQ) qui ont permis la réalisation des projets. Je remercie également la Faculté de médecine de l'Université de Montréal et l'Institut de recherche en santé du Canada (IRSC) pour les bourses d'études qui m'ont permis de réussir ce beau défi.

Finalement, je remercie ma famille et mes amies d'avoir été présentes dans les moments plus difficiles comme dans les grands moments de joie. Un merci particulier à Roxanne, Marie-Claire, Émilie et Viviane, pour votre compréhension, votre soutien et les moments agréables passés en votre compagnie.



# Chapitre 1. Introduction

---

Près de deux millions de Canadiens rapportent avoir un trouble de la mobilité, ce qui représente 7,2% de la population canadienne (Bizier, Fawcett et Gilbert, 2016). Au Québec, ce pourcentage est plus élevé alors que 13,2% de la population québécoise présente une limitation de la motricité (Fournier, Dubé, Linda, Godbout et Murphy, 2013). Certains de ces individus n'ont pas la capacité de marcher et utilisent un fauteuil roulant (FR) pour leurs déplacements. En fait, 9,5% de ces individus utilisent un FR manuel alors que 1,5% utilisent un FR motorisé. Les causes affectant la capacité à la marche sont nombreuses et peuvent tant provenir d'une lésion du système nerveux que du système musculosquelettique. Une des causes importantes de l'utilisation d'un FR, qui sera davantage discutée dans cette thèse, est la lésion médullaire (LM). En 2010, il y avait plus de 85 500 Canadiens vivant avec une LM et, de ce nombre, environ 60-75% utilisaient un FR comme moyen de locomotion (Noonan et al., 2012; Riggins, Kankipati, Oyster, Cooper et Boninger, 2011). Chaque année, il y a plus de 4 000 nouveaux cas de LM et l'augmentation du taux de survie et de leur espérance de vie année après année fait accroître de façon importante la population d'utilisateurs d'un FR ayant une LM (Farry et Baxter, 2010; Noonan et al., 2012).

L'utilisation d'un FR manuel comme moyen de locomotion dans la communauté est une tâche exigeante qui requiert non seulement une bonne force musculaire au tronc et aux membres supérieurs, mais également une bonne capacité cardiorespiratoire (Hiremath, Ding, Farringdon et Cooper, 2012; Rousseau, Assaoui et Bourbonnais, 2003; Tolerico et al., 2007). Cependant, la majorité des utilisateurs d'un FR manuel ont des capacités physiques diminuées secondaires à leur problème de santé affectant leur capacité à la marche. C'est d'ailleurs le cas pour les individus ayant subi une LM qui voient leurs capacités physiques grandement diminuées en raison notamment de la perte de fonction musculaire sous la lésion et de changements secondaires au niveau de leurs fonctions métaboliques et vasculaires (Haisma, Bussmann, et al., 2006; Thijssen et al., 2012; Wu et al., 2017). De plus, le niveau d'activité physique de ces individus est généralement très faible (Ginis, Arbour-Nicitopoulos, et al., 2010; Pelletier, Jones, Latimer-Cheung, Warburton et Hicks, 2013; van den Berg-Emons et al., 2008) puisqu'ils font face à de nombreuses barrières à l'activité physique. En effet, plus de 55% des utilisateurs d'un FR canadiens

âgés entre 18 et 74 ans et plus de 90% des usagers d'un FR âgés de plus de 60 ans ne sont pas suffisamment actif pour obtenir des bénéfices sur leur santé (Best et Miller, 2011). En fait, selon une récente étude de Rocchi et al. (2017), seulement 12% des Canadiens ayant une LM interrogés ont rapporté respecter les directives en matière d'activité physique chez les adultes ayant une LM (Ginis et al., 2011) et près de la moitié (44%) ont rapporté participer à aucune activité physique. Considérant leur faible niveau d'activité physique, les usagers d'un FR sont davantage à risque de développer des problèmes de santé reliés à la sédentarité tels que l'obésité, le syndrome métabolique, des problèmes cardiaques et respiratoires (Myers, Lee et Kiratli, 2007). Il s'avère donc important de promouvoir l'activité physique auprès de cette population, notamment l'exercice cardiorespiratoire puisqu'une bonne capacité cardiorespiratoire diminue le risque de ces problèmes de santé (Blair et al., 1996; Shields et al., 2010).

De nombreuses études ont d'ailleurs démontré l'importance d'une évaluation avancée et d'un entraînement cardiorespiratoire ciblé chez différentes populations utilisant un FR manuel (de Groot, Hjeltnes, Heijboer, Stal et Birkeland, 2003; Devillard, Rimaud, Roche et Calmels, 2007; Haisma, van der Woude, et al., 2006; Kilkens, Dallmeijer, Nene, Post et van der Woude, 2005; Noreau et Shephard, 1995; van den Berg, de Groot, Swart et van der Woude, 2010). Pourtant, ces éléments restent souvent négligés étant donné les contraintes de temps et le manque de protocoles standardisés (Taylor-Schroeder et al., 2011; Teeter et al., 2012). De façon générale, les professionnels de la santé désirant prendre en charge adéquatement l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel sont souvent laissés à eux-mêmes quant au choix du protocole d'évaluation à administrer et peuvent uniquement compter sur un ergomètre pour les membres supérieurs. Cependant, la biomécanique de même que les exigences physiologiques du pédalage à l'aide d'un ergomètre pour les membres supérieurs diffèrent grandement de celles requises lors de la propulsion d'un FR manuel. En effet, l'activité des membres supérieurs est simultanée et discontinue lors de ce dernier alors qu'elle est alternée et continue sur l'ergomètre (Hintzy, Tordi et Perrey, 2002). Par conséquent, puisque la position et les mouvements des membres supérieurs sont différents, des groupes musculaires différents sont activés entre les deux modes d'exercice. De plus, lors de la propulsion d'un FR manuel, il y a une plus grande implication des muscles du tronc pour

rigidifier ce dernier afin de permettre une meilleure utilisation des membres supérieurs (Howarth, Polgar, Dickerson et Callaghan, 2010). Le tronc participe également à fournir la force nécessaire lorsque la résistance de propulsion augmente par exemple pour monter une pente ou pour propulser à grande vitesse (Gagnon, Babineau, Champagne, Desroches et Aissaoui, 2015; Vanlandewijck, Spaepen et Lysens, 1994). L'évaluation de la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel devrait donc davantage reposer sur une approche spécifique (Richards et al., 1993) permettant de reproduire les exigences biomécaniques rencontrées lors de la propulsion d'un FR manuel.

L'utilisation d'un tapis roulant motorisé s'avère une option intéressante pour l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel. Comparativement à l'ergomètre pour les membres supérieurs, le tapis roulant motorisé a l'avantage de permettre une évaluation spécifique de la tâche de propulsion (Hintzy et al., 2002; Rimaud, Calmels et Devillard, 2005). Il permet de préserver les contraintes musculaires et biomécaniques de la propulsion, ainsi que les propriétés inertielles (Richter, Rodriguez, Woods et Axelson, 2007). Son implantation en clinique étant récente, peu d'études ont permis de quantifier les exigences cardiorespiratoires en FR manuel sur tapis roulant motorisé. De plus, les études comparant les exigences cardiorespiratoires et musculosquelettiques entre l'ergomètre pour les membres supérieurs et la propulsion en FR manuel ont utilisé pour la plupart un ergocycle pour FR manuel. Enfin, aucune étude n'a pu proposer un protocole d'évaluation sur tapis roulant standardisé à ce jour.

À ce jour, peu d'études se sont penchées sur l'entraînement des usagers d'un FR manuel, et comme c'est le cas pour l'évaluation, la majorité de celles-ci utilise un ergomètre pour les membres supérieurs (Devillard et al., 2007; Hicks et al., 2011). L'entraînement en FR manuel présente les mêmes avantages rapportés ci-dessus pour l'évaluation en plus d'être plus accessible, car ne nécessitant aucun matériel supplémentaire. De plus, l'entraînement en FR manuel peut être effectué directement dans la communauté, réduisant ainsi une des barrières de l'accessibilité fréquemment rapportée (Rimmer, Riley, Wang, Rauworth et Jurkowski, 2004; Williams, Smith et Papatomas, 2014). Cependant, peu d'information n'est disponible sur les

programmes d'entraînement cardiorespiratoires en FR manuel à privilégier. Les études scientifiques effectuées chez des athlètes et des marcheurs favorisent un entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) à un entraînement continu plus conventionnel à intensité modérée (MICT). En effet, l'entraînement en HIIT apporterait de meilleures améliorations de la capacité cardiorespiratoire, mais également de meilleures adaptations de la condition physique générale qu'un MICT (Ciolac, Bocchi, Greve et Guimaraes, 2011; de Groot et al., 2003; Gibala et al., 2006; Guiraud et al., 2012; Haram et al., 2009; Hwang, Wu et Chou, 2011; Kessler, Sisson et Short, 2012; Weston, Wisloff et Coombes, 2014). L'entraînement en HIIT est également intéressant, car il permet de s'entraîner à plus haute intensité qu'un entraînement MICT et pour une période plus longue à de hautes intensités (Guiraud et al., 2012; Laursen et Jenkins, 2002). Il permet de profiter des avantages spécifiques de l'entraînement à haute intensité (de Groot et al., 2003; Guiraud et al., 2012; Laursen et Jenkins, 2002). Ceci est sans compter qu'un entraînement par intervalles se rapproche davantage des exigences de la vie quotidienne. Cependant, la faisabilité et l'efficacité de ce type d'entraînement en FR manuel ont très peu été étudiées à ce jour et restent encore à être déterminées.

Cette thèse a pour objectif général d'améliorer les connaissances concernant l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel afin d'en faire la promotion tant dans la communauté que dans les milieux cliniques et de recherche. Pour ce faire, l'effet des différents paramètres lors de la propulsion sur un tapis roulant motorisé (c.-à-d. pente et vitesse) sur les réponses cardiorespiratoires a été étudié dans une première étude. Suite à celle-ci, un protocole d'épreuve d'effort maximal par paliers permettant d'évaluer la capacité cardiorespiratoire en FR manuel sur un tapis roulant a été élaboré et ses qualités psychométriques ont été mesurées (c.-à-d. fidélité, validité et changement minimalement détectable). Finalement, la faisabilité, la sécurité et l'efficacité d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel de type HIIT effectué directement dans la communauté sous la supervision indirecte d'un physiothérapeute ont été évaluées.

Suite à cette introduction, cette thèse présente tout d'abord une recension des écrits scientifiques en lien avec les différents éléments importants qui seront abordés dans ce document (Chapitre

2). Par la suite, les objectifs et hypothèses généraux de la thèse ainsi que les objectifs spécifiques des quatre articles la constituant sont présentés au Chapitre 3. Le Chapitre 4 présente la méthodologie de cette thèse alors que le Chapitre 5 présente les résultats sous la forme d'articles scientifiques. Finalement, une discussion générale des différents éléments de cette thèse est présentée au Chapitre 6 alors que la conclusion est présentée au Chapitre 7.

## **Chapitre 2. Recension de la littérature**

---

Dans ce chapitre, les connaissances actuelles sur les différents éléments importants discutés dans cette thèse seront présentées. Dans un premier temps, le cadre théorique utilisé afin de faciliter la compréhension de l'impact de l'usage d'un FR manuel sur les différents domaines de la santé et du fonctionnement d'un individu sera expliqué. Puisque la LM est une des causes principales de l'utilisation d'un FR, elle sera définie et sa classification sera expliquée. Les déficiences, incapacités et limitations fonctionnelles liées à une LM seront abordées avec une emphase particulière sur les atteintes au niveau des aptitudes physiques et plus particulièrement de la capacité cardiorespiratoire. Par la suite, les causes générales ainsi que les conséquences possibles à l'utilisation prolongée d'un FR seront présentées. S'en suivra, un survol de la description de la biomécanique de la propulsion d'un FR manuel et des recommandations pour préserver l'intégrité des membres supérieurs chez les usagers d'un FR manuel. Dans une section subséquente, la condition physique sera définie, et parmi ses composantes, la capacité cardiorespiratoire sera plus particulièrement détaillée. Par ailleurs, les différentes caractéristiques de l'évaluation de cette aptitude seront discutées et les méthodes d'évaluation spécifiques pour les usagers d'un FR manuel seront présentées. Les qualités psychométriques des instruments de mesure et des épreuves d'effort cardiorespiratoire seront également présentées. L'entraînement cardiorespiratoire en continu à intensité modérée et l'entraînement par intervalles à haute intensité seront présentés et comparés. Les types d'entraînement et les recommandations spécifiques aux usagers d'un FR manuel seront également discutés. Pour terminer ce chapitre, les barrières et les facilitateurs à l'entraînement physique auxquels font face les usagers d'un FR seront abordés.

### **2.1. La moelle épinière**

La moelle épinière est la partie du système nerveux central qui prolonge l'encéphale et qui est située dans le canal rachidien formé par la juxtaposition des foramens des vertèbres. Elle est responsable de transmettre les informations sensorielles et motrices entre l'encéphale et le reste du corps. Pour ce faire, elle donne naissance à des paires de nerfs rachidiens qui quittent la colonne vertébrale afin d'innover le tronc et les membres. La moelle épinière compte un total

de 31 paires de nerfs rachidiens dont huit cervicales (C1 à C8), 12 thoraciques (T1 à T12), cinq lombaires (L1 à L5) et cinq sacrées (S1 à S5) et une coccygienne (Cx1) (Kirshblum et al., 2011) (Figure 2.1). La localisation d'un niveau neurologique de la moelle épinière ne correspondant pas nécessairement au niveau vertébral correspondant, car la moelle épinière se termine au niveau des vertèbres L1-L2 par le cône médullaire. Les nerfs rachidiens des niveaux médullaires L3 à Cx1 forment une collection de nerfs appelée la « queue de cheval » et continuent à l'intérieur du canal rachidien. Chaque paire de nerfs sort à leur niveau vertébral respectif (Kirshblum et al., 2011).

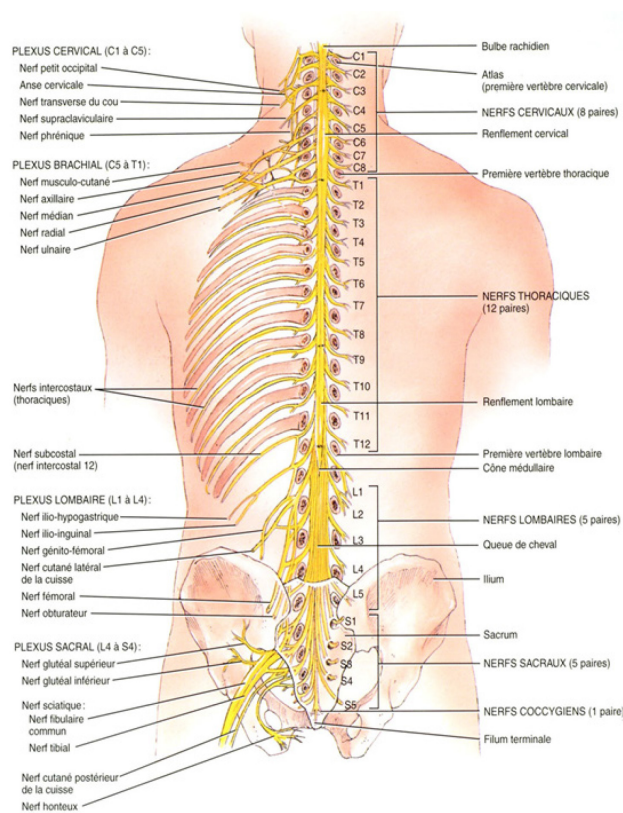


Figure 2.1 Anatomie de la moelle épinière et des nerfs spinaux. Tirée de Tortora, Grabowski, Boudreault et Desorcy (2001).

## 2.2. La lésion médullaire

Lors d'une atteinte de la moelle épinière, il y a une interruption partielle ou totale de la transmission nerveuse entre l'encéphale et le reste du corps causant des déficiences motrices et/ou sensorielles. Lorsque la transmission des informations motrices est interrompue, il en résulte une paralysie partielle ou complète sous le niveau de la lésion dépendant du caractère incomplet ou complet de la lésion. La transmission des informations sensorielles peut être également compromise causant des déficiences sensitives sous le niveau lésionnel.

Les causes d'une LM sont diverses et peuvent être d'origine traumatique lorsqu'elle est causée par un impact physique externe ou d'origine non traumatique lorsqu'elle résulte d'une condition médicale qui affecte la moelle épinière (Noonan et al., 2012). Les lésions traumatiques comptent pour 51% des LM rapportées et les accidents de la route en sont les causes les plus fréquentes (42,3%-62,6%) suivies des chutes chez les personnes âgées (21,2%-59%) (Cosar et al., 2010; Singh, Tetreault, Kalsi-Ryan, Nouri et Fehlings, 2014). Les hommes sont touchés entre deux à sept fois plus par que les femmes tant pour les LM traumatiques que non traumatiques (Singh et al., 2014). Les lésions non traumatiques proviennent majoritairement de tumeurs (28,9%) ou de sténoses spinales (28,9%) (Cosar et al., 2010).

La sévérité des déficiences motrices et sensorielles de la LM dépend de son niveau, de sa localisation, de son étendue et de son caractère complet ou incomplet. L'*American Spinal Injury Association* (ASIA) a développé une échelle d'évaluation des déficiences motrices et sensorielles permettant de standardiser la classification des LM (ASIA Impairment Scale (AIS)) (Figure 2.2).



**ASIA** INTERNATIONAL STANDARDS FOR NEUROLOGICAL CLASSIFICATION OF SPINAL CORD INJURY (ISNCSCI) **ISCOS**

Patient Name \_\_\_\_\_ Date/Time of Exam \_\_\_\_\_  
 Examiner Name \_\_\_\_\_ Signature \_\_\_\_\_

**RIGHT**

**UER** (Upper Extremity Right)

Elbow flexors C5  
 Wrist extensors C6  
 Elbow extensors C7  
 Finger flexors C8  
 Finger abductors (little finger) T1

**LER** (Lower Extremity Right)

Hip flexors L2  
 Knee extensors L3  
 Ankle dorsiflexors L4  
 Long toe extensors L5  
 Ankle plantar flexors S1

(VAC) Voluntary anal contraction (Yes/No)

**RIGHT TOTALS** (MAXIMUM)  (50)  (56)  (56)

**MOTOR SUBSCORES**

UER  + UEL  = UEMS TOTAL  (50) LER  + LEL  = LEMS TOTAL  (50)

• Key Sensory Points

**LEFT**

**UEL** (Upper Extremity Left)

C5 Elbow flexors  
 C6 Wrist extensors  
 C7 Elbow extensors  
 C8 Finger flexors  
 T1 Finger abductors (little finger)

**LEL** (Lower Extremity Left)

L2 Hip flexors  
 L3 Knee extensors  
 L4 Ankle dorsiflexors  
 L5 Long toe extensors  
 S1 Ankle plantar flexors

(DAP) Deep anal pressure (Yes/No)

**LEFT TOTALS** (MAXIMUM)  (50)  (56)  (56)

**MOTOR SUBSCORES**

LTR  + LTL  = LT TOTAL  (112) PPR  + PPL  = PP TOTAL  (112)

**NEUROLOGICAL LEVELS** Steps 1-5 for classification are on reverse

1. SENSORY  R  L

2. MOTOR  R  L

3. NEUROLOGICAL LEVEL OF INJURY (NLI)

4. COMPLETE OR INCOMPLETE?  (In complete injuries only)

5. ASIA IMPAIRMENT SCALE (AIS)  (Most caudal level with any innervation)

**ZONE OF PARTIAL PRESERVATION**

SENSORY  R  L  
 MOTOR  R  L

This form may be copied freely but should not be altered without permission from the American Spinal Injury Association. REV 02/13

Figure 2.2: Standards internationaux de classification neurologique des lésions médullaires.

## 2.2.1. Classification

### 2.2.1.1. Niveau lésionnel

Afin de faire la classification des LM, il faut tout d'abord déterminer le niveau de la lésion. Pour ce qui est de l'atteinte sensitive, le niveau sensoriel correspond au niveau le plus caudal ayant une préservation complète de la sensation du toucher léger et de la piqûre. Le niveau moteur est déterminé par rapport au muscle clé ayant une côte musculaire d'au moins 3/5 alors que les muscles sus-jacents ont une côte de 5/5. Le niveau lésionnel global est considéré comme étant le niveau le plus crânial d'atteinte déterminé soit au niveau sensitif ou moteur (Kirshblum et al., 2011).

### 2.2.1.2. Paraplégie versus tétraplégie

Les lésions médullaires sont regroupées en deux catégories distinctes de présentation clinique selon si elles affectent seulement le tronc et les membres inférieurs ou si elles affectent également les membres supérieurs. Lors de LM comprises entre C1 et T1 les membres supérieurs sont atteints ce qui occasionne une tétraplégie. Les paraplégies sont causées par des LM caudales à T1 et n'affectent que les membres inférieurs et/ou le tronc puisque les nerfs innervant les membres supérieurs émergent au-dessus de ce niveau (Farry et Baxter, 2010; Kirshblum et al., 2011).

#### 2.2.1.2.1. Lésion complète versus incomplète

La sévérité de la LM dépend principalement de son caractère complet ou incomplet. La lésion est dite incomplète lorsque les fonctions motrices et/ou sensorielles sont préservées au niveau S4-S5. Dans le cas contraire, la lésion sera dite complète. La sévérité des LM peut être classifiée à l'aide de l'échelle ci-dessous (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 Échelle de déficience de l'American Spinal Cord Injury Association (ASIA) (traduction de l'ASIA Impairment Scale (AIS))

[http://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2016/02/International\\_Stds\\_Diagram\\_Worksheet.pdf](http://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2016/02/International_Stds_Diagram_Worksheet.pdf).

#### ASIA Impairment Scale (AIS)

- 
- A** Lésion complète: aucune motricité ou sensibilité au segment S4-S5
  - B** Lésion sensorielle incomplète: sensibilité préservée, mais pas de motricité sous le niveau lésionnel incluant le segment S4-S5 et aucune motricité préservée plus de trois niveaux sous le niveau moteur de chaque côté
  - C** Lésion motrice incomplète: motricité préservée au segment S4-S5 (contraction anale volontaire) où les critères pour une lésion incomplète sensitive sont présents et présence de motricité à plus de trois niveaux sous le niveau lésionnel moteur
  - D** Lésion motrice incomplète: motricité préservée sous le niveau lésionnel et au moins la moitié des muscles clés testés sous le niveau neurologique global ont une cote musculaire de > 3/5
  - E** Normal: motricité et sensibilité normales à tous les segments alors que la personne avait des atteintes précédemment
-

## **2.2.2. Déficiences, incapacités et limitations fonctionnelles spécifiques suite à une lésion médullaire**

Tout d'abord, un cadre théorique basé sur la classification internationale du fonctionnement (CIF), de handicap et de la santé (Organisation mondiale de la santé, 2000) sera utilisé dans cette thèse afin d'expliquer les déficiences, les incapacités et les limitations pouvant mener à des situations de handicap chez les usagers d'un FR manuel. Le terme capacité cardiorespiratoire, faisant référence aux fonctions du système cardiorespiratoire, sera tout de même préservé dans cette thèse puisqu'il est majoritairement utilisé dans les ouvrages de référence.

### **2.2.2.1. Déficiences découlant d'une lésion médullaire**

La LM occasionne principalement des déficiences sensori-motrices des muscles innervés sous la lésion dont la gravité sera déterminée par le caractère complet ou incomplet de la LM tel que précédemment expliqué. La LM occasionne également des déficiences des organes internes puisque certaines fonctions de ceux-ci sont sous le contrôle de l'encéphale et du système autonome. Cependant, lors d'une LM, la transmission des informations entre ces centres de contrôle et les organes peut être perturbée ou complètement éliminée. De plus, plusieurs problèmes de santé peuvent survenir suite à une LM à cause de la paralysie des muscles, de la position assise prolongée et du faible niveau d'activité physique. Une des déficiences ayant le plus d'impact sur la santé et le fonctionnement est la déficience du système autonome qui sera décrite ci-dessous.

#### **2.2.2.1.1. Déficiences du système autonome**

La partie du système nerveux innervant les viscères est dite autonome, faisant appel à un contrôle involontaire. Le système nerveux autonome est séparé en deux parties distinctes, le système parasympathique et le système sympathique (Steven, 2009). Le système sympathique est activé lors de situations stressantes dans le but de permettre au corps de passer à l'action. Il est donc responsable de l'augmentation de la fréquence cardiaque (FC), de la pression artérielle, du flux sanguin dans les muscles des extrémités, de la sudation et la sécrétion d'adrénaline et de

noradrénaline (Steven, 2009; West, Bellantoni et Krassioukov, 2013). Pour sa part, le système parasympathique est responsable de la conservation et la restauration de l'énergie notamment en ralentissant la FC (Steven, 2009).

Chez les individus sains, une stimulation sensitive nocive stimule la portion du système sympathique comprise entre T6 et T12 afin de réagir à l'élément agressant, notamment en augmentant la pression artérielle. Suite à cette réponse sympathique, le système parasympathique est activé afin de retourner l'organisme à des valeurs de base (Field-Fote, 2009). Lors d'une LM crâniale à T6, il n'y a plus de régulation provenant du tronc cérébral. Cette interruption de contrôle peut causer la dysrèflexie autonome (West et al., 2013). Celle-ci survient lorsqu'un stimulus perçu comme étant nocif sous le niveau de la LM déclenche une réaction sympathique ne pouvant pas être modulée par les voies descendantes inhibitrices (Blackmer, 2003; Field-Fote, 2009). Les signes et les symptômes de la dysrèflexie sont généralement la céphalée, la tachycardie, la sudation et le rougissement au-dessus du niveau de la LM, la congestion nasale, la nausée et la vision trouble (Sisto, Druin et Sliwinski, 2008). Cependant, le signe le plus important est l'élévation de la pression artérielle au-dessus de 20 mmHg de la normale (Biering-Sorensen et al., 2017) pouvant atteindre des valeurs aussi hautes que 250-300 mmHg (Blackmer, 2003). La dysrèflexie autonome est donc une situation grave pour laquelle il faut intervenir rapidement en éliminant l'élément nocif et, au besoin, demander l'assistance médicale.

Suite à l'altération du système autonome, les individus ayant une LM crâniale à T6 ont également des valeurs de repos de pression artérielle et de FC plus basses comparativement aux individus sains (West et al., 2013). De plus, ces individus ont une FC maximale à l'effort qui varie entre 100 et 140 bpm selon les études avec une moyenne d'environ 110 bpm (Leicht, Griggs, Lavin, Tolfrey et Goosey-Tolfrey, 2014; Paulson, Goosey-Tolfrey, Lenton, Leicht et Bishop, 2013; West, Leicht, Goosey-Tolfrey et Romer, 2015).

#### 2.2.2.1.2. Autres déficiences

Suite à une LM, plusieurs autres complications de santé peuvent survenir notamment à cause de l'absence de mouvement des membres inférieurs et de la position assise prolongée dans un FR. Les individus ayant une paralysie des membres inférieurs sont donc à risque plus élevé de thrombophlébite profonde, de plaies de pression, d'ostéoporose et de fracture osseuse (Field-Fote, 2009; Harvey, 2008). Les infections urinaires sont plus fréquentes chez cette population et mènent plus souvent à des complications rénales. De plus, entre 60% et 80% des individus ayant une LM rapportent avoir de la spasticité sous leur niveau lésionnel (Field-Fote, 2009).

#### 2.2.2.2. Limitations aux activités et à la participation

Les incapacités fonctionnelles suite à une LM sont grandement reliées au niveau et à la sévérité de celle-ci ainsi qu'aux muscles préservés (McKinley, Kulkarni et Pai, 2015). Ainsi, plus la lésion est caudale, moins elle cause de déficiences, d'incapacité et de limitations fonctionnelles et moins l'individu est exposé à des situations de handicap. La capacité à la marche est très souvent limitée suite à une LM. Ces individus utilisent alors pour se déplacer un FR manuel ou électrique dépendamment de leurs déficiences physiques.

Les individus ayant une LM caudale à C4 peuvent développer la capacité de propulser un FR manuel seulement sur de courtes distances à l'intérieur. Les individus ayant une LM à C5 ou C6 peuvent propulser un FR manuel à l'intérieur et sur de courtes distances à l'extérieur. Ils utiliseront donc majoritairement un FR électrique (McKinley et al., 2015). Les individus ayant une LM à C7 ou C8 ont la capacité d'utiliser leurs triceps ce qui améliore grandement leur capacité à la propulsion d'un FR qu'ils utilisent majoritairement. Cependant, ils n'ont pas la capacité de monter des pentes abruptes. Les individus ayant une lésion à T1 n'ont pas de déficiences au niveau des membres supérieurs. Leurs aptitudes en propulsion d'un FR manuel sont alors plus avancées. Les individus ont la capacité de propulser sur des surfaces inégales, des terrains accidentés, des rampes et des bordures, ainsi que faire des "wheelies" et des transferts du sol au FR (McKinley et al., 2015). La marche à l'intérieur avec orthèses longues est possible lors de LM caudale à T9 bien que la plupart des individus utiliseront tout de même un FR manuel pour leurs déplacements. Les individus ayant une LM lombaire pourront marcher

avec différents types d'orthèses selon leurs capacités motrices, mais ils utiliseront également le FR manuel à l'occasion.

## **2.3. Déficiences, incapacités et limitations fonctionnelles liées à l'usage d'un fauteuil roulant**

### **2.3.1. Déficiences menant à l'usage d'un FR**

Le FR est une aide à la mobilité qui permet aux individus n'ayant pas la capacité de marcher de se déplacer. Les déficiences menant à une incapacité à la marche sont nombreuses et peuvent provenir d'une déficience du système nerveux, du système musculo-squelettique et du système cardiorespiratoire (Nightingale, Rouse, Thompson et Bilzon, 2017; Osnabrugge et al., 2015; Shore, 2017). Comme il a été mentionné, une des causes les plus communes de l'utilisation d'un FR est la LM. Cependant, l'amputation d'un ou des deux membres inférieurs, la sclérose en plaques, la paralysie cérébrale ainsi que les accidents vasculo-cérébraux limitent souvent la capacité à la marche (Nightingale, Rouse, et al., 2017). Les individus présentant uniquement des déficiences aux membres inférieurs et au tronc utiliseront principalement un FR manuel. Les individus présentant des déficiences importantes à un ou aux deux membres supérieurs ou dans le cas où toutes autres conditions limiteraient la capacité de propulsion manuelle d'un FR utiliseront un FR motorisé. Cependant, certains de ces individus peuvent avoir recours à des roues motorisées installées sur leur FR manuel afin de réduire les situations de handicap et de rester actifs (Kloosterman, Snoek, van der Woude, Buurke et Rietman, 2013).

### **2.3.2. Déficiences et limitations secondaires liées à l'utilisation prolongée d'un fauteuil roulant**

Bien que dans la majorité des cas le FR soit utilisé dans le but d'augmenter la mobilité et la participation sociale des individus, leur utilisation de façon prolongée ou permanente peut avoir de nombreuses conséquences sur la santé, l'intégrité des systèmes organiques et sur la qualité de vie des usagers. À ces conséquences, il faut également ajouter les déficiences ayant mené à

l'incapacité à marcher mentionnées ci-dessus. Il s'avère donc important d'adresser les risques potentiels de déficiences et de complications de santé secondaires reliés à l'utilisation d'un FR afin de limiter leurs impacts sur la santé et la qualité de vie de ces personnes.

### **2.3.2.1. Impacts sur la santé générale**

Les individus ayant des limitations de la mobilité ont généralement davantage de problèmes de santé que la population générale. En fait, ils ont en moyenne plus de quatre comorbidités alors que les individus sans limitation de la mobilité en développent en moyenne moins de 1,5 (Adriaansen et al., 2016; Rasch, Hochberg, Magder, Magaziner et Altman, 2008). Plusieurs problèmes de santé secondaires se développent suite à la réduction de la mobilité et s'ajoutent au fardeau du problème de santé ayant mené à l'incapacité à la marche et à ceux présents avant (Rasch et al., 2008). D'ailleurs, nombreux de ces problèmes de santé sont directement liés au mode de vie sédentaire des individus à mobilité réduite. En effet, il y a une plus grande prévalence d'hypertension artérielle, de problèmes cardiaques, de problèmes endocriniens et métaboliques tels que l'obésité et le diabète chez cette population (Rasch et al., 2008; Reichard, Stolzle et Fox, 2011). De plus, d'autres problèmes de santé découlent du fait qu'ils sont assis dans leur FR pour de très longues périodes. Parmi ceux-ci, il y a les plaies de pression (Sonnenblum, Sprigle et Martin, 2016) pouvant causer des infections graves ainsi que l'ostéoporose des membres inférieurs pouvant occasionner des fractures (Morse et al., 2016). De nombreuses déficiences musculosquelettiques telles que des contractures musculaires, des déformations des articulations et la scoliose sont aussi liées à la position assise prolongée (Hastings, Dickson, Tracy, Baniewicz et Levine, 2014; Hastings, Fanucchi et Burns, 2003).

### **2.3.2.2. Impacts sur la capacité cardiorespiratoire**

La capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR est généralement grandement diminuée par l'absence ou le manque de mouvements au niveau des membres inférieurs et par le fait que ces individus adoptent souvent un mode de vie sédentaire (Bougenot et al., 2003; Haisma, van der Woude, et al., 2006; Kilkens et al., 2005). Ainsi, plusieurs études portant sur la capacité cardiorespiratoire rapportent de faibles valeurs pour la consommation maximale en

oxygène ( $VO_{2max}$  ou  $VO_{2pointe}$ ) (Haisma, van der Woude, et al., 2006; Hjeltnes, 1986; Pelletier et al., 2013; Phillips et al., 1998; Simmons, Kressler et Nash, 2014). Simmons et al. ont répertorié les différentes valeurs de  $VO_{2pointe}$  retrouvées dans la littérature chez des individus ayant une LM afin d'établir des valeurs de référence en fonction du sexe et de la classification fonctionnelle (*c.-à-d.* tétraplégique ou paraplégique) (Tableau 2.2) (Simmons et al., 2014). La  $VO_{2pointe}$  est influencée par la capacité des muscles à consommer de l'oxygène et à générer de l'énergie et sera donc également influencée par la masse musculaire disponible pour fournir un effort. Ainsi, les individus ayant une tétraplégie auront une  $VO_{2pointe}$  plus faible que les individus ayant une paraplégie puisque davantage de muscles auront une déficience sensorimotrice (Hjeltnes, 1986; Pelletier, 2014; Simmons et al., 2014). À titre de comparaison, les valeurs de références pour les individus sains sont présentées dans le Tableau 2.3 (Coulson et Archer, 2015). Une faible  $VO_{2pointe}$  est associée avec un risque accru de maladies cardiovasculaires et de mortalité. D'ailleurs les maladies cardiovasculaires sont une des causes principales de mortalité chez la population ayant une LM (Garshick et al., 2005; Savic et al., 2017).

**Tableau 2.2 Valeurs de référence de la consommation de pointe d'oxygène ( $VO_{2pointe}$ ) basées sur le sexe et la classification fonctionnelle. Adapté et traduit de Simmons et al., 2014.**

Mesures de capacité cardiorespiratoire	Classification fonctionnelle	n	Faible (n)	Acceptable (n)	Moyen (n)	Bon (n)	Excellent (n)
<b>Hommes</b>							
$VO_{2pointe}$ (ml/kg/min)	TP	60	<5,30 (11)	5,30-7,90 (12)	7,91-9,50 (12)	9,51-15,18 (12)	>15,18 (13)
	PP	93	<12,00 (18)	12,00-15,30 (18)	15,31-17,69 (19)	17,70-22,40 (18)	>22,40 (20)
$VO_{2pointe}$ (l/min)	TP	60	<0,39 (11)	0,39-0,64 (12)	0,65-0,81 (12)	0,82-1,02 (12)	>1,02 (13)
	PP	93	<1,06 (18)	1,06-1,27 (18)	1,28-1,41 (19)	1,42-1,68 (18)	>1,68 (20)
Mesures de capacité cardiorespiratoire	Classification fonctionnelle	n	Médiane		Étendue		
<b>Femmes</b>							
$VO_{2pointe}$ (ml/kg/min)	TP	8	9,37		4,90-21,50		
	PP	18	13,21		5,40-19,20		
$VO_{2pointe}$ (l/min)	TP	8	0,68		0,30-1,09		
	PP	18	0,76		0,30-1,23		

Abbréviations: TP, tétraplégique; PP, paraplégique;  $VO_{2pointe}$ , consommation de pointe d'oxygène



**Tableau 2.3 Valeurs de référence de la consommation de pointe d'oxygène (VO<sub>2</sub>pointe) basées sur le sexe et l'âge. Adapté et traduit de Coulson & Archer 2015.**

Valeurs de référence de la VO <sub>2</sub> pointe pour les femmes (ml/kg/min)						
Âge	Très faible	Faible	Acceptable	Bon	Excellent	Supérieur
13-19	<25,0	25,0-30,9	31,0-34,9	35,0-38,9	39,0-41,9	>41,9
20-29	<23,6	23,6-28,9	29,0-32,9	33,0-36,9	37,0-41,0	>41,0
30-39	<22,8	22,8-26,9	27,0-31,4	31,5-35,6	35,7-40,0	>40,0
40-49	<21,0	21,0-24,4	24,5-28,9	29,0-32,8	32,9-36,9	>36,9
50-59	<20,2	20,2-22,7	22,8-26,9	27,0-31,4	31,5-35,7	>35,7
> 59	<17,5	17,5-20,1	20,2-24,4	24,5-30,2	30,3-31,4	>31,4

Valeurs de référence de la VO <sub>2</sub> pointe pour les hommes (ml/kg/min)						
Âge	Très faible	Faible	Acceptable	Bon	Excellent	Supérieur
13-19	<35,0	35,0-38,3	38,4-45,1	45,2-50,9	51,0-55,9	>55,9
20-29	<33,0	33,0-36,4	36,5-42,5	42,5-46,4	46,5-52,4	>52,4
30-39	<31,5	31,5-35,4	35,5-40,9	41,0-44,9	45,0-49,4	>49,4
40-49	<30,2	30,2-33,5	33,6-38,9	39,0-43,7	43,8-48,0	>48,0
50-59	<26,1	26,2-30,9	31,0-35,7	35,8-40,9	41,0-45,3	>45,3
> 59	<20,5	20,5-26,0	26,1-32,2	32,3-36,4	36,5-44,2	>44,2

Au niveau du système respiratoire, l'augmentation de la rigidité de la cage thoracique causée par le manque d'activité physique ainsi que par la paralysie des muscles du tronc dans le cas de LM thoracique ou cervicale ont pour effet d'altérer les fonctions respiratoires (Le Foll-de Moro, Tordi, Lonsdorfer et Lonsdorfer, 2005). En effet, cela entraîne une augmentation de la ventilation lors de l'exercice associée avec une augmentation rapide de la fréquence respiratoire causant ainsi de la fatigue prématurée des muscles respiratoires et de la dyspnée (Le Foll-de Moro et al., 2005). La capacité vitale forcée qui représente le volume maximal d'air que les poumons peuvent mobiliser se trouve réduite à 81% à 86% des valeurs prédites en fonction de l'âge, du sexe et de la grandeur pour les individus ayant une paraplégie et à 37% à 61% pour les individus ayant une tétraplégie (Haisma, van der Woude, et al., 2006).

### **2.3.2.3. Risque de blessures musculosquelettiques**

Les usagers d'un FR ont un risque accru de développer des blessures musculosquelettiques aux membres supérieurs (Akbar et al., 2010; Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005; van Drongelen et al., 2006). En effet, les activités quotidiennes telles que les tâches demandant une élévation des membres supérieurs au-dessus de la tête, les transferts et la propulsion d'un FR manuel demandent des efforts importants des membres supérieurs et

peuvent causer de la douleur (Akbar et al., 2014). Entre 29% et 70% des usagers d'un FR manuel rapporteraient des douleurs aux épaules (Finley et Rodgers, 2004; Sawatzky, DiGiovine, Berner, Roesler et Katte, 2015). Dans la majorité des cas, un syndrome d'accrochage (Bayley, Cochran et Sledge, 1987) ou une tendinopathie du biceps (Sie, Waters, Adkins et Gellman, 1992) seraient responsables de cette douleur. Une des principales pathologies rencontrées au poignet est le syndrome du tunnel carpien qui touche entre 40% et 80% des individus ayant une LM (Akbar et al., 2014; Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005; Yang et al., 2009). Les trois principaux éléments clés à prendre en considération dans l'accomplissement de tâches fonctionnelles avec les membres supérieurs sont l'intensité de la tâche, le taux de croissance de la force et la répétition des mouvements (Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005). La posture du tronc et des membres supérieurs ainsi que la biomécanique sont également des éléments importants (Van Straaten, Cloud, Zhao, Fortune et Morrow, 2017). Un programme de renforcement musculaire est recommandé pour les usagers d'un FR manuel afin d'augmenter leur force musculaire maximale et par le fait même diminuer la force relative nécessaire pour les tâches fonctionnelles. Il est également possible de minimiser la force relative en maintenant un poids idéal, en améliorant les techniques de propulsion du FR et en assurant une biomécanique optimale lors des tâches fonctionnelles (Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005). Les déséquilibres musculaires entre les agonistes et les antagonistes affectant la biomécanique peuvent être limités par un programme de renforcement musculaire et d'étirements (Barfield et al., 2016; Van Straaten et al., 2017). Des interventions visant l'enseignement et la pratique de la propulsion peuvent permettre d'améliorer la biomécanique. Les paramètres de propulsion recommandés afin de réduire les risques de blessures aux membres supérieurs seront présentés dans une section ultérieure. En conclusion, les douleurs aux membres supérieurs peuvent avoir un impact négatif sur les capacités fonctionnelles, l'autonomie ainsi que sur la participation sociale des usagers d'un FR manuel (Akbar et al., 2010; Sie et al., 1992; van Drongelen et al., 2006). Une prise en charge adéquate incluant un programme d'entraînement adapté, l'enseignement de la biomécanique à adopter ainsi que l'ajustement du FR et de l'environnement est recommandée (Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005).

#### **2.3.2.4. Influence sur la participation sociale**

Les usagers d'un FR manuel font face à davantage de barrières à la participation sociale et à la participation à des activités physiques que la population générale (Best, Routhier, et al., 2017; Froehlich-Grobe et al., 2014). Une barrière importante pour leur participation sociale et à des activités physiques est le manque d'accessibilité des bâtiments et des équipements ainsi que l'accessibilité à un transport adapté (Rimmer et al., 2004). Une mauvaise condition physique peut aussi nuire à la participation sociale lorsque les individus ne peuvent se rendre à un endroit parce que leurs déficiences physiques limitent leur capacité à passer les barrières architecturales (pentes abruptes, seuils importants, etc.) (Rimmer et al., 2004). Les ressources financières sont souvent limitées pour ces individus ce qui a un impact sur leur capacité à payer leur participation à des activités, à se munir de matériel adapté et à payer pour le transport (Best, Routhier, et al., 2017; Rimmer et al., 2004). Une autre barrière à la participation est le manque de connaissance tant par les professionnels de la santé que par les usagers d'un FR concernant la condition de ces derniers, mais également concernant les installations et les programmes accessibles dans la communauté (Rimmer et al., 2004). Cependant, bien que les usagers d'un FR aient plus de barrières à la participation sociale que les individus sans déficits, plusieurs considèrent leur FR comme un facilitateur à leur participation sociale comparativement à s'ils n'en avaient pas (Rousseau-Harrison et al., 2012).

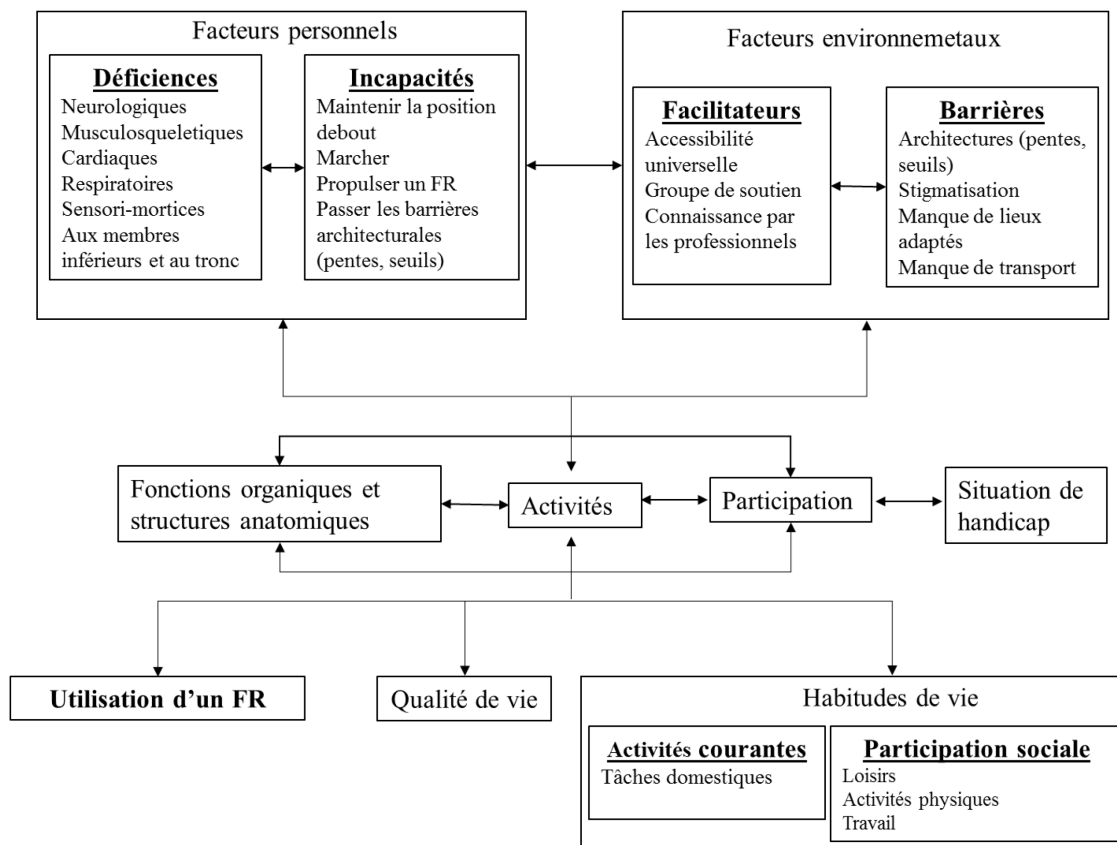


Figure 2.3 Résumé selon le modèle de la CIF, des déficiences, des incapacités et des facteurs environnementaux pouvant limiter la participation sociale et mener à des situations de handicap chez les usagers d'un FR manuel.

## 2.4. La propulsion d'un fauteuil roulant manuel

L'analyse de la biomécanique des membres supérieurs et du tronc lors de la propulsion d'un FR manuel dans différentes conditions a permis de comprendre l'exigence biomécanique de cette tâche et de l'impact sur les membres supérieurs (Gangelhoff, Cordain, Tucker et Sockler, 1988; Hintzy et al., 2002; van der Woude, Botden, Vriend et Veeger, 1997). D'abord les différentes composantes de la biomécanique des membres supérieurs pendant le cycle de propulsion ainsi que les patrons les plus communs parmi les usagers seront présentés.

Enfin, cette section discutera des paramètres de propulsion recommandés pour réduire la charge transmise aux membres supérieurs et ainsi limiter les risques de blessures.

### **2.4.1. Paramètres spatio-temporels**

Tout d'abord, le cycle de propulsion comprend une phase de propulsion (ou phase de poussée) durant laquelle les mains suivent la trajectoire des cerceaux et leur appliquent une force pour les faire tourner. S'en suit une phase de récupération (ou de recouvrement) lorsque les mains quittent les cerceaux afin de retourner à leur position initiale (Boninger et al., 2002; Newsam et al., 1999). Le cycle recommence alors avec une nouvelle phase de poussée lorsque les mains font à nouveau contact avec les cerceaux du FR.

Lors de la phase de poussée, il y a une phase précoce de poussée durant laquelle les mains tirent le cerceau vers le haut jusqu'à ce qu'elles arrivent sur le point le plus haut du cerceau (Newsam et al., 1999). Par la suite, les mains se retrouvent à pousser sur les cerceaux vers le bas. La phase de poussée correspond à environ 35% de la durée totale du cycle durant laquelle les mains parcourent environ 75-90° dépendamment du patron de propulsion utilisé (Figure 2.4) (Kwarciak, Turner, Guo et Richter, 2012; Newsam et al., 1999). Durant la phase de récupération, il y a une grande variabilité de la trajectoire des mains entre les individus. Cependant, quatre patrons les plus courants ont été identifiés soit le patron en boucle unique, le patron en arc, le patron en doubles boucles et le patron semi-circulaire (Boninger et al., 2002; Kwarciak et al., 2012). Ces patrons de propulsion sont illustrés à la Figure 2.5. Les paramètres spatio-temporels tels que la cadence de poussée, le temps de poussée, l'angle de poussée, l'angle de début et de fin de la poussée diffèrent entre les patrons de propulsion (Boninger et al., 2002; de Groot, Veeger, Hollander et van der Woude, 2004; Kwarciak et al., 2012) et selon les conditions de vitesse (Vanlandewijck et al., 1994) et de pente (Gagnon, Babineau, Champagne, Desroches et Aissaoui, 2014).

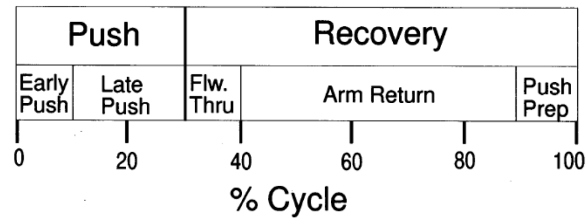


Figure 2.4 Cycle de propulsion d'un fauteuil roulant manuel. Tirée de Newsam (1999).



Figure 2.5 Les quatre patrons de propulsion les plus communs sont en arc (AR), en simple boucle (SL), en double boucle (DL) et le patron semi-circulaire (SC). Les lignes pleines représentent la phase de poussées alors que les lignes pointillées représentent la phase de récupération. Tirée de Slowik, Requejo, Mulroy et Neptune (2016).

## 2.4.2. Muscles clés de la propulsion

Lors de la propulsion d'un FR manuel, les muscles des membres supérieurs sont grandement sollicités. Lors de la phase précoce de poussée, les biceps sont majoritairement impliqués afin de tirer les cerceaux vers le haut (Spaepen, Vanlandewijck et Lysens, 1996; Vanlandewijck et al., 1994). Le moment de flexion aux épaules est produit par les biceps, l'infra-épineux et le supra-épineux (Veeger, Rozendaal et van der Helm, 2002). L'activité musculaire des triceps, quant à elle, augmente graduellement pour atteindre des valeurs maximales lors du retrait des mains des cerceaux. Pendant la phase de poussée, il y a également une synergie d'activation entre les pectoraux majeurs, les deltoïdes antérieurs et les grands dorsaux (Spaepen et al., 1996; Vanlandewijck et al., 1994). Une activité importante du dentelé antérieur est aussi présente (Mulroy, Gronley, Newsam et Perry, 1996). La synergie d'activation musculaire aux épaules pendant la phase de poussée est composée d'une flexion de l'épaule et de la protraction de la scapula (Mulroy et al., 1996). Il y a également une rotation externe de l'humérus.

Durant la phase de récupération, les deltoïdes médiaux et postérieurs ainsi que les trapèzes postérieurs ont une activité musculaire importante contribuant au déplacement des membres supérieurs (Spaepen et al., 1996; Vanlandewijck et al., 1994; Veeger et al., 2002). Les muscles supra-épineux et sous-scapulaires sont également grandement impliqués durant cette phase (Mulroy et al., 1996). Les synergies dominantes lors de la phase de récupération sont l'extension et l'abduction au niveau de l'épaule ainsi que la rétraction de la scapula (Mulroy et al., 1996).

Certains muscles participent aux mouvements des segments articulaires alors que d'autres créent des moments compensatoires de stabilisation des articulations. Aux épaules, les muscles de la coiffe des rotateurs (sous-scapulaires, infra-épineux et supra-épineux) seront grandement sollicités afin de compenser les moments de rotation et de translation de la tête humérale (Mulroy et al., 1996; van der Woude, Veeger, Dallmeijer, Janssen et Rozendaal, 2001; Veeger et al., 2002). Leurs activités relatives moyenne et maximale sont d'ailleurs plus élevées que les autres muscles comme en témoigne la Figure 2.6 (Veeger et al., 2002). Ces muscles sont donc plus susceptibles à la fatigue et aux blessures (Mulroy et al., 1996; van Drongelen et al., 2005).

Lors de la propulsion chacun des muscles déploiera une force relative à sa force maximale pour accomplir son rôle. Le taux d'utilisation de la force musculaire (TUM) est le ratio, exprimé en pourcentage, de cette force relative sur la force maximale et un indicateur de l'effort fourni (Veeger et al., 2002). Lors de la propulsion d'un FR manuel dans des conditions naturelles (sans pente à vitesse confortable), le TUM moyen des muscles est généralement de moins de 10% sauf pour les muscles de la coiffe des rotateurs (van Drongelen et al., 2005; Veeger et al., 2002). Ces muscles ont également des TUM maximaux très importants atteignant des valeurs qui peuvent aller jusqu'à 50% de la force maximale (Veeger et al., 2002). Plus la force de propulsion requise est grande, plus les TUM moyens et maximaux seront grands. Il importe alors de minimiser la force relative lors des tâches fonctionnelles afin de limiter la fatigue musculaire et la charge imposée aux membres supérieurs dans le but de prévenir les blessures.

$$TUM (\%) = \frac{\text{Force relative pour une tâche}}{\text{Force maximale}} \times 100$$

Équation 2.1 Calcul du taux d'utilisation musculaire d'une tâche.

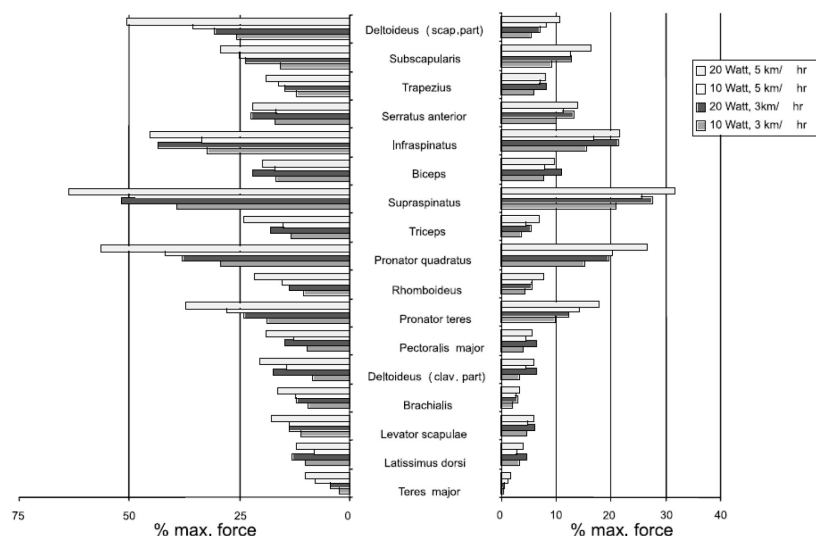


Fig. 5. Peak (left) and mean relative muscle forces (right) during the push phase. Only depicted are those muscles that had mean muscle forces during the push phase larger than 10 N.

Figure 2.6: Pourcentage de la force musculaire maximale déployée lors de la propulsion. Tirée de Veeger et al. (2002).

### 2.4.3. Recommandations pour prévenir les blessures aux membres supérieurs

Afin de prévenir les blessures musculosquelettiques aux membres supérieurs, en particulier aux épaules, il est recommandé de réduire la charge imposée à ceux-ci lors de la propulsion d'un FR manuel (Symonds, Barbareschi, Taylor et Holloway, 2017). Tout d'abord, il est recommandé de réduire la cadence de poussée afin de réduire la puissance totale déployée par les muscles des membres supérieurs (Rankin, Kwarciak, Richter et Neptune, 2012). De plus, l'angle de poussée devrait être augmenté afin de répartir davantage la force lors de la phase de poussée et réduire l'amplitude des TUM maximaux et le taux de croissance de la force (Boninger et al., 2005; Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005; Sawatzky et al., 2015). Un patron de propulsion semi-circulaire avec une cadence d'une poussée par seconde avec des poussées douces (*c.-à-d.*, lent développement de la force) parcourant un arc de cercle entre 85° et 100° serait le plus



adéquat (Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005; Sawatzky et al., 2015; Symonds et al., 2017). La force maximale déployée est également influencée par le poids de l'individu et de son FR, les propriétés inertielles des roues, la résistance de roulement des roues et par l'environnement (*p. ex.*, la présence d'une pente et du vent) (Cooper, 2009; Sawatzky et al., 2015). Ces facteurs de risques peuvent être minimisés en gardant un poids idéal, en réduisant le poids du FR et en faisant la maintenance de ces différentes composantes (Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005).

## **2.5. La condition physique**

La condition physique générale comprend l'intégrité de plusieurs systèmes et structures anatomiques tels que la morphologie, le système musculosquelettique, le système métabolique, le système cardiorespiratoire et les aptitudes motrices (Shields et al., 2010). Dans cette thèse, l'intégrité du système cardiorespiratoire (capacité cardiorespiratoire) ainsi que les aptitudes musculaires seront davantage étudiées.

### **2.5.1. Capacité cardiorespiratoire**

La capacité cardiorespiratoire ou l'aptitude aérobie est une composante importante de la santé. Elle représente la capacité fonctionnelle du cœur, des vaisseaux sanguins, des poumons et des muscles à effectuer un certain niveau de travail. L'intégrité du système cardiaque, circulatoire et respiratoire aura donc un impact direct sur la capacité cardiorespiratoire. Une capacité cardiorespiratoire diminuée est associée à un risque accru de maladies cardiovasculaires et même de morts prématurées (Blair et al., 1996; American College of Sport Medicine, 1993), alors qu'une augmentation est associée à de nombreux bienfaits sur la santé (Kodama et al., 2009).

La capacité cardiorespiratoire est mesurée de façon directe à l'aide de la consommation maximale en oxygène, également appelée volume maximal d'oxygène ( $VO_{2max}$ ). Ce concept a été initialement proposé par Hill et Upton en 1923 et correspond à un plateau de la  $VO_2$ . Ce

plateau est défini par une cessation de l'augmentation de la  $VO_2$  malgré une augmentation de l'intensité d'un exercice (Ferretti, 2014; Hill et Lupton, 1923). La  $VO_{2max}$  représente la capacité du système cardiovasculaire et du système respiratoire à transporter l'oxygène à travers le corps afin de répondre aux besoins énergétiques de celui-ci (DeFina et al., 2015). La  $VO_2$  est exprimée en termes absolus (ml/min ou L/min) ou en termes relatifs prenant en considération le poids des individus (ml/kg/min ou L/kg/min) permettant ainsi une meilleure comparaison entre eux (American College of Sport Medicine, 2013). La  $VO_{2max}$  dépend du sexe, de l'âge, de la condition physique de l'individu et de certains facteurs génétiques (Costill, Wilmore et W.L., 2009).

Dans la littérature, plusieurs auteurs utilisent le terme de consommation en oxygène de pointe ( $VO_{2pointe}$ ) de façon interchangeable avec le terme  $VO_{2max}$ . Or, il y a une distinction à faire entre les deux termes. Certains auteurs considèrent la  $VO_{2pointe}$  comme la consommation d'oxygène maximale obtenue au cours d'un test donné et pourrait donc différer entre deux tests différents (Whipp, 2010). D'autres auteurs l'emploient pour spécifier le résultat obtenu lors d'une épreuve limitée par symptômes lorsqu'aucun plateau de  $VO_2$  n'a été atteint (Day, Rossiter, Coats, Skasick et Whipp, 2003). Le terme  $VO_{2max}$  est utilisé pour désigner la plus grande valeur de  $VO_2$  atteignable physiologiquement (Day et al., 2003). Le terme  $VO_{2max}$  est également utilisé lorsqu'un plateau de la  $VO_2$  est atteint puisqu'aucune augmentation de la  $VO_2$  n'est possible au-delà de ce point. Cependant, un plateau de  $VO_2$  n'est pas observable chez tous les individus malgré l'atteinte d'un effort maximal (Gordon et al., 2012; Snoza, Berg et Slivka, 2016). Le terme  $VO_{2pointe}$  sera employé dans cette thèse afin de représenter la consommation maximale d'oxygène obtenue lors d'une épreuve donnée.

Tel que mentionné plus haut, le critère principal pour déterminer l'atteinte de la  $VO_{2pointe}$  est la présence d'un plateau (changement  $< 2,1$  ml/kg/min) malgré l'augmentation de l'intensité (Duncan, Howley et Johnson, 1997). Cependant, d'autres critères ont été également établis afin de déterminer l'atteinte d'un effort maximal (Duncan et al., 1997; Snoza et al., 2016). Les critères les plus fréquemment utilisés sont les suivants : FC maximale atteinte =  $\pm 10$  battements de la FC maximale théorique ( $220 - \text{âge}$ ); lactate sanguin  $\geq 8$ mmol/L; quotient respiratoire  $> 1.1$

et la perception de l'effort  $> 17$  sur l'Échelle de Borg (Fahs, Heffernan, Ranadive, Jae et Fernhall, 2010; Snoza et al., 2016; Ziogas, Patras, Stergiou et Georgoulis, 2011).

### **2.5.2. Force musculaire**

Selon l'American College of Sport Medicine (ACSM), la capacité musculaire comprend la force, l'endurance et la puissance (American College of Sport Medicine, 2013). La force musculaire est la capacité d'un muscle à exercer une force qui se mesure habituellement en newton-mètre, en kilogrammes ou en livres (Martins, da Silva, da Silva et Bevilaqua-Grossi, 2017; American College of Sport Medicine, 2013). Elle peut être évaluée de façon statique lorsqu'il n'y a pas de mouvement du muscle ni du segment articulaire. Ce type de force est dit isométrique ou statique et est généralement mesuré avec un dynamomètre. La force musculaire maximale dynamique est mesurée lors du mouvement complet du muscle. Le test de répétition maximale (1-RM) sert à mesurer la charge maximale pouvant être déplacée à une seule reprise (Levinger et al., 2009). La force musculaire dynamique peut également être évaluée à une vitesse de rotation de l'articulation déterminée et constante. Cette force est appelée la force isocinétique. L'endurance musculaire est la capacité du muscle à effectuer des contractions répétées ou à maintenir un certain pourcentage du 1-RM sur une certaine période de temps avant l'apparition de fatigue. Finalement, la puissance musculaire est le produit de la force musculaire déployée et de la vitesse de contraction (Bogey et Barnes, 2017).

### **2.5.3. Autres composantes de la condition physique**

La condition physique est dépendante également des aptitudes motrices qui se mesurent, par exemple, par la rapidité, l'agilité et la coordination. Pour sa part, le système métabolique comprend entre autres la tolérance au glucose, la sensibilité à l'insuline ainsi que le profil des lipides sanguins (Shields et al., 2010). Pour ce qui est de la morphologie, celle-ci comprend le poids, l'indice de masse corporelle (IMC) et la circonférence de la taille. L'IMC est habituellement mesuré afin de quantifier la graisse corporelle. Cependant, chez les individus ayant une LM, l'IMC peut sous-estimer la quantité de masse grasse puisque celle-ci est plus importante suite à la paralysie et la réduction de la masse musculaire (Jones, Legge et Goulding,

2003). Les autres outils de mesure de la masse grasse soit la méthode DEXA (absorption biphotonique à rayons X) (Cragg, Ravensbergen, Borisoff et Claydon, 2015) et la mesure de la bioimpédance (Cirnigliaro et al., 2013) ne sont pas facilement accessibles. Ce sont également des mesures invasives.

$$IMC = \frac{\text{poids (kg)}}{\text{grandeur (m)}^2}$$

Équation 2.2 Calcul de l'indice de masse corporelle.

## 2.6. L'évaluation de la capacité cardiorespiratoire

Une évaluation systématique de la  $VO_{2\text{pointe}}$  devrait être effectuée avant d'entreprendre un programme d'entraînement cardiorespiratoire dans le but de déterminer adéquatement les paramètres d'entraînement et de permettre l'évaluation de son efficacité. Dans la littérature, nous retrouvons différents protocoles d'évaluation de la  $VO_{2\text{pointe}}$  pouvant mener à des valeurs et à des interprétations différentes de la capacité cardiorespiratoire maximale. Ces tests sont appelés épreuves d'effort ou test d'effort. Les différents types d'épreuves seront présentés ci-dessous et comparés entre eux.

### 2.6.1. Protocoles discontinus ou continus

#### 2.6.1.1. Protocoles discontinus

Un protocole de type discontinu est composé habituellement de paliers de deux à trois minutes, voire même de dix minutes, entrecoupés par des périodes de repos (Ferretti, 2014; Whiting, Dreisinger et Hayden, 1984). Ces protocoles sont généralement d'une durée de plus de 30 minutes (Tenan, McMurray, Blackburn, McGrath et Leppert, 2011). La charge de travail est augmentée à chaque palier. Les périodes de repos permettent de mesurer la pression artérielle et le taux de lactate sanguin (Ferretti, 2014; Wezenberg, de Haan, van der Woude et Houdijk, 2012; Whiting et al., 1984). Finalement, certains auteurs avancent que la diminution de la pression intramusculaire lors de ces périodes permettrait une meilleure élimination des

métabolites et réduirait la sensation de fatigue locale habituellement ressentie au cours d'une épreuve d'effort notamment quand celle-ci implique les membres supérieurs (Wezenberg et al., 2012; Whiting et al., 1984).

### **2.6.1.2. Protocoles continus**

Une épreuve de type continu consiste en un effort progressif par une augmentation graduelle de la charge de travail à chaque palier sans période de repos jusqu'à l'obtention de la  $VO_{2\text{pointe}}$ . Les paliers de ce type d'épreuve peuvent être de différentes durées allant de quelques secondes à quelques minutes. Selon certains auteurs, une épreuve d'effort continue devrait avoir idéalement une durée comprise entre huit et douze minutes (Arena et al., 2007; Yoon, Kravitz et Robergs, 2007). En effet, une épreuve de moins de six minutes peut mener à une relation non linéaire entre le  $VO_2$  et la charge de travail considérant l'inertie initiale de l'adaptation du système cardiorespiratoire. Un test de plus de 12 minutes, pour sa part, pourrait être limité par la fatigue musculaire plutôt que par des facteurs cardiorespiratoires (Arena et al., 2007). Puisque les résultats obtenus sont similaires lors de tests discontinus ou continus, le critère de sélection repose principalement sur la durée du test. Ainsi, les protocoles continus sont davantage privilégiés dans les milieux cliniques (Ferretti, 2014; Whiting et al., 1984)). Cependant, les protocoles discontinus sont plus adéquats lorsque les mesures de la pression artérielle ou du taux de lactate sanguin sont requises.

### **2.6.2. Protocoles continus en rampe versus par paliers**

Les premiers protocoles utilisés étaient des protocoles par paliers d'une durée de 2 à 3 minutes avec de grands écarts d'intensité entre les paliers tels que le protocole de Bruce (Lear, Brozic, Myers et Ignaszewski, 1999; American College of Sport Medicine, 2013). Cependant, de plus en plus de protocoles par paliers ont des augmentations d'intensité plus petites, et ce, à des intervalles plus courts (*c.-à-d.*, < 60 secondes). D'autres protocoles, dits en rampe, permettent l'augmentation progressive constante de la charge de travail.

### **2.6.2.1. Protocoles par paliers**

Les protocoles en paliers produisent une augmentation de la charge à chaque période de temps prédéterminée. Les paliers peuvent être de plusieurs minutes à quelques secondes. Des protocoles ayant des paliers de deux à trois minutes permettent au système cardiorespiratoire d'atteindre un état stable lors des premiers paliers. Cependant, l'état stable n'est plus atteint lors des derniers paliers et ce n'est qu'à ce moment qu'on retrouve une relation linéaire entre la  $VO_2$  et la charge (Robergs et Keteyian, 2003). D'ailleurs, plusieurs études ont démontré que des protocoles avec des paliers de plus de trois minutes pouvaient compromettre l'atteinte de la  $VO_{2\text{pointe}}$  (Bentley, Newell et Bishop, 2007; Froelicher et al., 1974a; Froelicher et al., 1974b). De plus, les protocoles avec de grandes augmentations de charge ou de longues durées de paliers ont une relation entre la  $VO_2$  et la charge généralement plus faible que ceux à paliers plus courts (< 60 secondes) et augmentation progressive de la charge (Myers et al., 1991; Robergs et Keteyian, 2003). L'estimation de la capacité cardiorespiratoire maximale serait alors moins précise lorsque ces protocoles sont sous-maximaux (Arena et al., 2007; Myers et al., 1991). Ces protocoles ont également tendance à surestimer la capacité cardiorespiratoire maximale lorsqu'elle est estimée par le temps ou la charge (Lear et al., 1999; Silva, Monteiro et Farinatti, 2011). Cependant, certains protocoles par paliers ont des durées très courtes (15 secondes) qui s'apparentent à certains protocoles en rampe (Fairshter et al., 1983).

### **2.6.2.2. Protocoles en rampe**

Lors de protocoles en rampe, l'intensité est augmentée constamment ou à des intervalles courts (entre 4 secondes et 20 secondes) permettant d'uniformiser l'augmentation des réponses hémodynamiques et physiologiques à l'exercice (Kaminsky et Whaley, 1998; American College of Sport Medicine, 2013; Silva et al., 2011). On obtient donc une augmentation plus linéaire de la  $VO_2$  avec l'augmentation de l'effort tout au long du test jusqu'à l'atteinte de la  $VO_{2\text{pointe}}$  comparativement avec un test par paliers de plus d'une minute (Kaminsky et Whaley, 1998; Myers et al., 1991; Silva et al., 2011; Zuniga et al., 2012). Il n'y aurait cependant pas de différence de  $VO_{2\text{pointe}}$  entre les deux types de protocoles si le taux de croissance de la charge

est la même (Viale, Ranggeh, Nana-Ibrahim, Martin et Laschet, 2007; Zhang, Johnson, Chow et Wasserman, 1991; Zuniga et al., 2012).

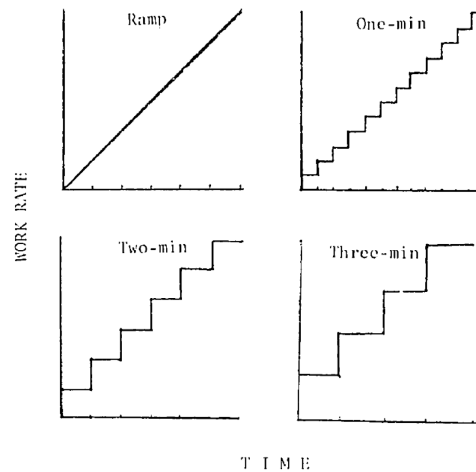


Figure 2.7 Protocole en rampe et protocoles par paliers de 1, 2 et 3 minutes. Tirée de Zhang et al. (1991).

## 2.6.3. Types de modalités

### 2.6.3.1. Modalités d'évaluation pour les membres inférieurs

Le choix du mode d'exercice utilisé pour mesurer la  $VO_{2\text{pointe}}$  aura également un effet sur la mesure, car chaque mode d'exercice sollicite une masse musculaire plus ou moins grande propre à celui-ci. Chez les individus ayant la capacité de marcher, les protocoles d'évaluation se font généralement sur un tapis roulant motorisé ou sur un vélo stationnaire. Cependant, les valeurs obtenues lors d'un test sur tapis roulant sont généralement plus élevées que lors d'un test sur vélo stationnaire (Arena et al., 2007; Hambrecht et al., 1992; Jehn et al., 2009; Maeder et al., 2008; Myers et al., 1991; Williford, Sport, Wang, Olson et Blessing, 1994). Il y aurait une différence de 9% et 15% entre les deux modes d'exercice due à la plus grande masse musculaire sollicitée lors de la course (Boileau, Bonen, Heyward et Massey, 1977; Hambrecht et al., 1992; Shephard, 1984; Williford et al., 1994). L'utilisation d'un vélo stationnaire est cependant préférable chez les individus ayant des incapacités de marche ou d'équilibre, de l'obésité sévère ou des limitations musculosquelettiques (Arena et al., 2007).

### **2.6.3.2. Comparaison entre membres inférieurs et supérieurs**

Il y a une différence significative de  $VO_{2\text{pointe}}$  entre un test impliquant les membres supérieurs comparativement aux membres inférieurs. Des valeurs entre 12,5 ml/kg/min et 18,6 ml/kg/min plus élevées sont d'ailleurs obtenues pour ce dernier (Bulthuis, Drossaers-Bakker, Oosterveld, van der Palen et van de Laar, 2010; Larsen et al., 2016). Ainsi la valeur de  $VO_{2\text{pointe}}$  obtenue lors d'un test avec les membres supérieurs correspond à environ 70% de la valeur attendue avec les membres inférieurs (Larsen et al., 2016). Cette différence est principalement due à la masse musculaire plus petite et moins entraînée sollicitée lors d'un test pour les membres supérieurs (Balady, Weiner, McCabe et Ryan, 1985; Bulthuis et al., 2010; Schrieks, Barnes et Hodges, 2011). Les valeurs obtenues avec ces deux modes d'exercice seraient cependant corrélées entre elles (Bulthuis et al., 2010; Schrieks et al., 2011). Une épreuve avec les membres supérieurs est une option intéressante avec une population souffrant de maladies cardiovasculaires et présentant un risque plus élevé d'incidents cardiorespiratoires puisqu'elle est moins exigeante (Schrieks et al., 2011). Finalement, les individus ayant des déficiences physiques de leurs membres inférieurs et utilisant un FR devront obligatoirement être évalués avec ce mode d'exercice (Bulthuis et al., 2010).

### **2.6.3.3. Modalités d'évaluation pour les usagers d'un fauteuil roulant**

Il existe également différents types de modalité d'évaluation pour les usagers d'un FR manuel tels que l'ergomètre pour FR manuel (Martel, Noreau et Jobin, 1991), la propulsion d'un FR sur un tapis roulant motorisé (Gass, Harvey et Gass, 1995; Gass et Camp, 1984; Schrieks et al., 2011), la propulsion au sol (Arabi, Vandewalle, Kapitaniak et Monod, 1999; Décary, Gagnon, Brosseau et A, 2014; Vanlandewijck, Daly et Theisen, 1999) et finalement l'ergomètre pour les membres supérieurs (Arabi, Vandewalle, Pitor, de Lattre et Monod, 1997; Bulthuis et al., 2010; Décary et al., 2014). Ce dernier est cependant non spécifique à la tâche de propulsion d'un FR et sollicite une synergie musculaire différente (Gass et al., 1995; Gass et Camp, 1984; Hintzy et al., 2002). Les études ayant comparé des épreuves d'effort en propulsion d'un FR manuel et en pédalage d'un ergocycle pour les membres supérieurs rapportent des résultats contradictoires. En effet, certaines ne rapportent pas de différence significative de  $VO_{2\text{pointe}}$  entre



les deux modes d'exercice (Arabi et al., 1997; Gass et al., 1995; Martel et al., 1991; McConnell, Horvat, Beutel-Horvat et Golding, 1989; Torhaug, Brurok, Hoff, Helgerud et Leivseth, 2016) alors que d'autres rapportent des valeurs plus grandes lors de la propulsion (Gass et Camp, 1984) ou avec un ergocycle pour les membres supérieurs (Hintzy et al., 2002). Une seule étude a comparé les réponses cardiorespiratoires entre la propulsion sur un ergomètre pour FR, sur un tapis roulant et au sol, cependant les valeurs obtenues n'étaient pas maximales (Mason, Lenton, Leicht et Goosey-Tolfrey, 2014). Cette étude a tout de même permis de déterminer que la propulsion sur un tapis roulant motorisé à 0° et un ergomètre pour FR manuel ne représentaient pas la même demande énergétique que la propulsion au sol pour une même vitesse.

En conclusion, le choix d'utiliser un mode d'exercice comparativement à un autre doit être justifié principalement en fonction des caractéristiques de l'individu évalué. Lors de l'interprétation des résultats, il faut cependant prendre en compte ce mode d'exercice et utiliser le même protocole lors d'évaluations subséquentes visant à évaluer l'évolution de la capacité cardiorespiratoire.

## **2.7. Les qualités psychométriques d'un instrument de mesure**

Les principales propriétés que doit posséder un instrument de mesure sont la fidélité, la validité et la sensibilité (Currell et Jeukendrup, 2008). De plus, la standardisation est un élément important d'un test, car elle permet de reproduire les tests dans les mêmes conditions, de réduire les sources d'erreur et d'améliorer la comparaison entre les tests (Beltz et al., 2016; Lear et al., 1999). Les approches statistiques utilisées pour évaluer les qualités psychométriques des protocoles d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire ainsi que les moyens de standardisation seront présentées dans la prochaine section.

### **2.7.1. Fidélité des protocoles d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire**

Tout d'abord, un instrument de mesure se doit d'être fidèle, c'est-à-dire donner la même mesure entre deux tests si aucun changement réel ne s'est produit (Andresen, 2000; Jewell,

2011). Cependant, plusieurs sources d'erreurs peuvent faire varier deux mesures entre elles. Il existe différentes formes de fidélité pouvant être mesurées dépendamment des sources d'erreur possibles. Dans le cas de protocoles d'évaluation cardiorespiratoire, c'est la fidélité test-retest ou la reproductibilité des mesures prises sur un même sujet à deux occasions différentes qui est la plus pertinente (Currell et Jeukendrup, 2008; Jewell, 2011; Stoller et al., 2014).

#### **2.7.1.1. Mesures de la fidélité**

Le coefficient de corrélation intra-classe (CCI) est utilisé dans la majorité des études sur la fidélité des tests d'effort afin de déterminer l'accord entre les mesures (Darter, Rodriguez et Wilken, 2013) et est considéré par certains auteurs comme la meilleure mesure de fidélité (Andresen, 2000; Hopkins, 2000). La classification suivante proposée par Fleiss et al. est régulièrement utilisée afin de déterminer le niveau de fidélité : CCI  $\geq 0,75$  représente une excellente fidélité, un CCI entre 0,75 et 0,40 représente une fidélité bonne à moyenne alors qu'un CCI plus petit que 0,40 correspond à une faible fidélité (Andresen, 2000; Fleiss, 1981). Cependant, selon Portney et Watkins (2000), un CCI supérieur à 0,75 correspond à une bonne fidélité, un CCI entre 0,50 et 0,75 correspond à un niveau de fidélité modéré et un CCI inférieur à 0,5 correspond à une fidélité faible (Portney et Watkins, 2000). Les CCI des variables mesurées lors d'épreuves d'effort effectuées par les membres supérieurs diffèrent beaucoup entre les études, mais sont en général bons à excellents. (Leicht, Sealey et Sinclair, 2009). Le coefficient de corrélation de Pearson (r) est également calculé dans certaines études sur la fidélité afin de déterminer la relation entre deux mesures (Currell et Jeukendrup, 2008). Une étude de Vickers (2003) ayant répertorié les résultats de fidélité de 39 échantillons sur la mesure de  $VO_{2\text{pointe}}$  a rapporté un coefficient de fidélité moyen de 0,89 et des valeurs minimale et maximale de 0,62 et 0,970, respectivement.

Le coefficient de variation (CV) est également utilisé pour juger de la variabilité relative entre différentes mesures (Darter et al., 2013). Le CV permet de comparer l'amplitude de variation entre deux protocoles différents, ce qui n'est pas possible avec les autres mesures de fidélité (Currell et Jeukendrup, 2008).

Par la suite, l'erreur standard de la mesure (ESM) peut être mesurée et permet de calculer le changement minimal détectable (MDC). Le MDC représente un changement dû à une réelle modification et non simplement le résultat d'une variation aléatoire ou d'une erreur de mesure (Darter et al., 2013). Vickers (2003) a rapporté des ESM variant entre 1,30 et 5,00 ml/kg/min avec une valeur moyenne de 2,64 ml/kg/min.

Finalement, certaines études mesurent les limites d'accord entre deux mesures à l'aide de la méthode de Bland et Altman (Bland et Altman, 1999; Gorman, Geigle, Chen, York et Scott, 2014; Langeskov-Christensen, Langeskov-Christensen, Overgaard, Moller et Dalgas, 2014; Leicht et al., 2009). À l'aide de cette méthode, la moyenne des différences entre les deux tests ainsi que les limites supérieure et inférieure d'accord ( $\pm 1,96$  fois l'écart-type) sont calculées et rapportées sur un graphique (Gorman et al., 2014; Langeskov-Christensen et al., 2014).

Cependant, peu d'études ont quantifié la fidélité test-retest des valeurs mesurées lors d'épreuves d'effort. De plus, ces études rapportent des mesures de la fidélité différentes rendant la comparaison des protocoles difficile. Le Tableau 2.4 répertorie les indices de fidélité test-retest pour la  $VO_2$  mesurée lors d'épreuves d'effort maximales et sous-maximales avec les membres supérieurs et avec les membres inférieurs chez les adultes et les enfants. Parmi ces études, seules les études de Leicht, Tolfrey, Lenton, Bishop et Goosey-Tolfrey (2013) et Hartung, Lally et Blancq (1993) portent sur des usagers d'un FR manuel adultes.

**Tableau 2.4 Résumé de la fidélité test-retest et du CMD de la VO<sub>2</sub> lors d'épreuves pour membres supérieurs et pour membres inférieurs.**

Études		CCI (IC)	CV	LOA	EM	Autres mesures
<b>Membres supérieurs</b>						
Jack, Purcell, Allan et Hunt (2010)	ER					r=0,96
Bloemen, de Groot, Backx, Westerveld et Takken (2015)	FR	0,93 (0,83-0,97)			1,87 ml/kg/min	CMD = 5,18 ml/kg/min
Leicht et al. (2013)	FR		3,3%-9,3%			
Leicht et al. (2009)	ER	0,873	7,6%	-0,02 +/- 0,57 L/min	0,2 L/min	
Bar-Or et Zwiren (1975)	ER					r = 0,94
Hol, Eng, Miller, Sproule et Krassioukov (2007)	ER	0,81		-0,44 +3- 2,07 ml/kg/min	1,61 ml/kg/min	
Keyser, Rodgers et Rasch (2001)	FR					r=0,95
Hartung et al. (1993)	FR					r = 0,76-0,98
<b>Pour membres inférieurs</b>						
Darter et al. (2013)	Sol	0,85-0,96	2,0%-7,3%			CMD = 0,75 - 1,27ml/kg/min 6,9-35,5%
Duffield, Dawson, Pinnington et Wong (2004)	TR	0,53-0,87			4,01%-12,06%	
Saengsuwan, Nef, Laubacher et Hunt (2015)	ER	0,98 (0,94-1,00)	3,3%	0,056 (-0,238- 0,342) L/min		
	TR	0,99 (0,95-1,00)	2,4%	0,013 (-0,271-0,305) L/min		
Vickers (2003)						r=5,68 ml/kg/min CMD =2,64 ml/kg/min CMD=5,6 ml/kg/min
Stoller et al. (2014)	TR	0,72	0,25%	-6,6-8,6 ml/min/kg et	2,0 ml/kg/min	36%
Vancampfort et al. (2014)		0,92 (0,85-				
	ER	0,95)				CMD=6,5 ml/kg/min

ER = ergocycle; TR = tapis roulant; CCI=coefficient de corrélation intra-classe; CMD = changement minimal détectable; EM = erreur de mesure; IC = intervalle de confiance; LOA = limite d'accord; r = coefficient de fidélité

## **2.7.2. Validité**

La validité d'un instrument de mesure est sa capacité à mesurer ce pour quoi il est conçu (Jewell, 2011). Il existe plusieurs types de validité pour déterminer la pertinence des instruments de mesure. Dans le cas d'une épreuve d'effort, la validité de critère concomitante est mesurée (Currell et Jeukendrup, 2008). Elle consiste à vérifier la capacité d'un test à mesurer une valeur se rapprochant d'une valeur de référence. Pour ce faire, elle vérifie l'association entre les résultats obtenus avec un certain test et ceux obtenus avec un test standard.

### **2.7.2.1. Mesures de la validité**

Afin de mesurer le niveau d'accord entre une valeur mesurée à l'aide d'un test d'intérêt et une valeur standard, les coefficients de corrélation de Pearson ( $r$ ) sont habituellement utilisés pour les données paramétriques alors que les coefficients de corrélation de Spearman sont utilisés pour les données non paramétriques. Les tests de Student et les analyses de variance (ANOVA) pour les données paramétriques et les tests U de Mann-Whitney et Kruskal-Wallis pour les données non paramétriques peuvent également être utilisés pour mesurer l'amplitude de la différence entre les différentes mesures (Jewell, 2011). Finalement, la méthode de Bland et Altman permet de mesurer la limite d'accord entre les mesures prises par les différents tests (Bland et Altman, 1999). L'association entre les tests peut être interprétée selon cette classification: mauvaise ( $r < 0.20$ ), acceptable (0.21–0.40), modérée (0.41–0.60), bonne (0.61–0.80) et très bonne association (0.81–1.00) (Bland et Altman, 1999).

## **2.7.3. Sensibilité**

La sensibilité d'un test ou d'un instrument de mesure est sa capacité à détecter un changement de la valeur de mesure. Tout d'abord, l'ESM permet de calculer le changement minimal détectable (CMD) qui est calculé selon la formule suivante :  $MDC = SEM * z_{90\%} * \sqrt{2}$  (Jewell, 2011). Le CMD représente l'amplitude de changement pouvant être attribuée à un vrai changement et non à une erreur de mesure. Le CMD peut être exprimé en pourcentage afin d'être facilement interprétable en milieu clinique. Le tableau 2.4 répertorie les quelques valeurs

de CMD retrouvées dans la littérature pour la  $VO_2$ . La sensibilité au changement peut également être quantifiée par la réponse moyenne standardisée qui est définie par le changement moyen du résultat divisé par l'écart-type du changement de ce résultat (Gagnon, Roy, et al., 2016).

## 2.8. L'entraînement cardiorespiratoire

Les effets d'un entraînement sont spécifiques à ses caractéristiques. Il convient donc de prendre en considération les objectifs de réadaptation lors de la prescription d'un programme d'entraînement. Dans la littérature, nous retrouvons deux types d'entraînement cardiorespiratoire fréquemment étudiés soit l'entraînement à intensité modérée continu (CMIT) et l'entraînement par intervalles à haute intensité (high-intensity interval training (HIIT)). Dans cette section, les fondements et les effets attendus de chacun de ces programmes seront discutés et comparés. Tout d'abord, voici un tableau de référence des différentes unités de mesure utilisées pour décrire l'intensité de l'exercice proposée par l'ACSM (2013) (Tableau 2.5).

Tableau 2.5 Intensités d'exercice selon l'American College of Sport Medicine (2013).

Intensité	% FCR	% FC <sub>max</sub>	% VO <sub>2max</sub>	Borg (6-20)	Borg (0-10)
Très légère	<30	<57	<36	<9	0-1
Légère	30-<40	57-<64	37-<45	9-11	2-3
Modérée	40-<60	64-<76	46-<64	12-13	4-5
Haute	60-<90	76-<96	64-<91	14-17	6-8
Très haute ou maximale	≥90	≥96	≥91	≥18	≥9

% = pourcentage; Borg = Échelle de perception de l'effort; FCR = Fréquence cardiaque de réserve; FC = Fréquence cardiaque; VO<sub>2max</sub> = consommation d'oxygène maximale

### 2.8.1. Entraînement continu à intensité modérée

Le CMIT est caractérisé par un exercice à une intensité constante, soit légère, ou modérée pour une période de plus de 10 minutes (Zwinkels, Verschuren, Janssen, Ketelaar et Takken, 2014). L'ACSM recommande d'ailleurs de faire ce type d'exercice pour des périodes de plus de 30 minutes, et ce cinq fois par semaine ou pour un total de 150 heures par semaine (American College of Sport Medicine, Garber et al., 2011; 2013).

## **2.8.2. Entraînement par intervalle à haute intensité**

Contrairement au CMIT, le HIIT est caractérisé par des séquences d'effort à haute intensité ou maximales de durée courte à modérée (soit 10 secondes à 5 minutes) alternées avec des séquences d'effort d'intensité très légère à légère ou de repos (Gibala, Little, Macdonald et Hawley, 2012; Gibala et al., 2006; Laursen et Jenkins, 2002). Le HIIT est de plus en plus étudié chez plusieurs populations notamment en réadaptation, car il présente une alternative intéressante à l'entraînement continu qui demande beaucoup de temps. En effet, l'ACSM recommande de faire de l'activité physique à haute intensité pour des périodes de plus de 30 minutes, et ce trois fois par semaine ou pour un total de 75 heures par semaine (Garber et al., 2011; American College of Sport Medicine, 2013). Cela représente la moitié du temps recommandé pour l'entraînement à intensité modérée. De plus, le HIIT aurait des effets sur la capacité physique supérieurs au CMIT (Freyssin et al., 2012; Guiraud et al., 2012; Helgerud et al., 2007; Laursen et Jenkins, 2002).

### **2.8.2.1. Fondements du HIIT**

L'entraînement en HIIT fut utilisé principalement par les athlètes d'endurance de haut niveau afin d'augmenter leur performance (Laursen et Jenkins, 2002). L'objectif de ce type d'entraînement est de stresser l'organisme afin d'induire des changements adaptatifs supérieurs qui améliorèrent par la suite l'endurance (Laursen et Jenkins, 2002). Le HIIT permet ainsi de s'entraîner à plus haute intensité et de stimuler le métabolisme aérobie ainsi que le métabolisme anaérobie (Buchheit et Laursen, 2013; Chilibeck, Bell, Farrar et Martin, 1998; Linossier, Denis, Dormois, Geysant et Lacour, 1993; MacDougall et al., 1998). En effet, lors des périodes de haute intensité, le métabolisme anaérobie est davantage sollicité alors que dans les périodes de repos le métabolisme aérobie répond aux besoins énergétiques notamment pour refaire les réserves et éliminer les métabolites. Le HIIT est particulièrement intéressant puisque ce type d'entraînement permet de s'entraîner à des intensités supérieures (*c.-à-d.*, près du  $VO_{2\text{pointe}}$ ), et ce, pour une période totale plus longue (Guiraud et al., 2012; Laursen et Jenkins, 2002). D'ailleurs, il est bien reconnu que l'intensité de l'exercice est le principal responsable des

changements adaptatifs (de Groot et al., 2003; Laursen et Jenkins, 2002; O'Donovan et al., 2005; Wisloff et al., 2007).

### **2.8.3. Comparaison entre entraînement continu et par intervalles à haute intensité**

Le HIIT améliore davantage certains paramètres physiologiques et métaboliques comparativement au CMIT. De plus, le HIIT requiert moins de temps qu'un entraînement continu pour un même volume d'entraînement ce qui est intéressant dans un contexte de réadaptation où le temps est souvent limité (Koufaki, Mercer, George et Nolan, 2014). Les différents avantages de l'entraînement en HIIT seront présentés dans cette section.

#### **2.8.3.1. Avantages pour le système cardiorespiratoire**

Tout d'abord, plusieurs études rapportent que le HIIT permet d'augmenter le  $VO_{2\text{pointe}}$  davantage que le CMIT (de Groot et al., 2003; Esfandiari, Sasson et Goodman, 2014; Gibala et al., 2012; Helgerud et al., 2007; Rognmo, Hetland, Helgerud, Hoff et Slordahl, 2004; Wisloff et al., 2007; Zwinkels et al., 2014). De plus, cette augmentation du  $VO_{2\text{pointe}}$  est significativement plus rapidement avec le HIIT (Gibala et al., 2012; Laursen et Jenkins, 2002). Le HIIT augmente le volume d'éjection du cœur plus que le CMT (Helgerud et al., 2007) ainsi que la fonction diastolique du ventricule gauche (Amundsen, Rognmo, Hatlen-Rebhan et Slørdahl, 2008; Esfandiari et al., 2014; Guiraud et al., 2012). Le HIIT diminue la FC de repos et à l'effort sous-maximal plus que le CMT (Meyer, Lehmann, Sunder, Keul et Weidemann, 1990). Avec un volume d'entraînement significativement plus petit (*c.-à-d.*, environ 90% plus petit), le HIIT occasionne des changements cardiovasculaires similaires en comparaison avec le CMT (Gibala et al., 2012). Les fonctions endothéliales (Guiraud et al., 2012), la régulation autonome du cœur et la variabilité de la FC (Koufaki et al., 2014; Munk, Butt et Larsen, 2010) sont également améliorées par le HIIT.



### **2.8.3.2. Avantages pour le système musculaire**

Pour ce qui est des changements périphériques, la densité des capillaires est également supérieure (Burgomaster et al., 2008; Gibala et al., 2012; Gibala et al., 2006; Guiraud et al., 2012). Une augmentation de la concentration de myoglobine musculaire est aussi observée suite au HIIT (Laursen et Jenkins, 2002). Le HIIT augmente la capacité d'oxydation des lipides davantage que le CMIT (Chilibeck et al., 1998; Gibala et al., 2012). De plus, l'expression de fibres musculaires de type I est plus grande suite au HIIT ainsi que l'augmentation du nombre de capillaires et de l'activité des enzymes oxydatives (Laursen et Jenkins, 2002). L'oxydation des graisses est davantage augmentée lors du HIIT que du CMT (Laursen et Jenkins, 2002).

### **2.8.3.3. Avantages généraux**

Le HIIT permet de brûler plus de calories favorisant davantage la diminution de la graisse sous-cutanée et la perte de poids générale (Lussier et Toussaint, 2012). Il améliore significativement le profil lipidique en diminuant le taux de triglycérides et en favorisant le bon cholestérol (HDL) au détriment du mauvais cholestérol (LDL) (de Groot et al., 2003). Il améliore la sensibilité à l'insuline et par le fait même le contrôle du glucose sanguin (Guiraud et al., 2012). La tension artérielle est aussi davantage diminuée suite au HIIT. Tous ces facteurs sont associés avec les maladies cardiovasculaires, le diabète et l'obésité, donc le HIIT est plus efficace dans la prévention de ces maladies (Bartlett et al., 2011; Guiraud et al., 2012; O'Donovan et al., 2005). Il augmente également la qualité de vie (Guiraud et al., 2012; Weston et al., 2014). Finalement, le HIIT est considéré plus motivant et plus intéressant que le CMIT (Bartlett et al., 2011) permettant d'augmenter l'adhérence au programme d'entraînement (Guiraud et al., 2012).

## **2.8.4. Caractéristiques d'un entraînement en HIIT**

Nous retrouvons une multitude de protocoles différents dans la littérature puisque chaque paramètre de l'entraînement peut être modifié (*c.-à-d.*, niveau d'effort à haute intensité, type de repos (actif ou passif), différence entre haute intensité et repos, nombre de cycle, durée des séquences, durée totale de l'entraînement, etc. Chacun des paramètres déterminés a un impact

sur la performance et les gains obtenus par l'entraînement. Il est donc possible de personnaliser les séances d'entraînement en HIIT en fonction de l'individu et de ses objectifs d'entraînement. Dans cette section, seuls les paramètres choisis pour la population étudiée dans cette thèse, soit les usagers d'un FR manuel, seront discutés.

#### **2.8.4.1. Période à haute intensité**

Tout d'abord, la période de HIIT est caractérisée par des séquences de hautes intensités (6 à 8 sur 10 sur l'échelle de Borg modifiée (Wilson et Jones, 1989)) pour une durée de 30 secondes suivies d'un repos actif très léger de 60 secondes (Little et al., 2011). Une durée de 30 secondes pour la période à haute intensité a été choisie, car elle est plus efficace dans le temps (Gibala et al., 2006) et représente davantage les efforts relativement courts effectués dans la vie quotidienne. De plus, la perception d'effort est plus petite pour des durées d'effort plus courtes ce qui permet de soutenir un effort intense plus longtemps et aussi d'augmenter l'adhérence à l'entraînement (Kilpatrick et Greeley, 2014; Kilpatrick et al., 2014). Des intervalles de 30 secondes et plus permettent de plus grandes réponses cardiovasculaires aiguës alors que les sprints (<30 secondes) créent davantage de dommages tissulaires et de douleur (Wiewelhove et al., 2015).

#### **2.8.4.2. Période de repos**

Un repos passif permet de limiter la perception d'effort ressenti et d'augmenter le temps à haute intensité (Guiraud et al., 2012). Cependant, un repos actif permet d'accélérer l'élimination du lactate, qui lorsque s'accumule, interfère avec les contractions musculaires diminuant les performances et induisant de la fatigue musculaire (Hinzpeter, Zamorano, Cuzmar, Lopez et Burboa, 2014; Martin, Zoeller, Robertson et Lephart, 1998). Afin de tenter de combiner les effets des deux types de repos et d'en éviter leurs inconvénients, un repos actif de très faible intensité (<30% de la FCR) semble un compromis acceptable.

## **2.9. L'entraînement cardiorespiratoire pour les usagers d'un FR manuel**

Une revue systématique sur les effets d'un programme d'entraînement sur les aptitudes physiques des individus ayant une LM (Hicks et al., 2011) a répertorié seulement six études proposant un programme d'entraînement cardiorespiratoire aux usagers d'un FR manuel pendant la période de réadaptation (Bizzarini et al., 2005; de Groot et al., 2003; Duran, Lugo, Ramirez et Eusse, 2001; Hjeltnes et Wallberg-Henriksson, 1998; Le Foll-de Moro et al., 2005; Sutbeyaz, Koseoglu et Gokkaya, 2005). Quatre de ces études ont utilisé un ergocycle pour les membres supérieurs alors que les deux autres (Bizzarini et al., 2005; Le Foll-de Moro et al., 2005) ont proposé un programme d'entraînement en FR manuel. Seul Le Foll-de Moro et al. (2005) se sont intéressés à un programme par intervalles. Tous les programmes ont rapporté des améliorations de la  $VO_{2\text{pointe}}$  suite à des entraînements de six semaines et à raison de plus de trois séances par semaines.

Des recommandations générales d'exercice pour les individus ayant une LM et ayant terminé leur période de réadaptation ont récemment été publiées (Tableau 2.6) (Evans et al., 2015; Ginis et al., 2011). Ces recommandations ne mentionnent cependant pas le type d'entraînement à privilégier entre le HIIT et le MICT. Cela peut être expliqué par le fait que les études comparant ces deux types d'entraînement chez les individus ayant une LM sont trop peu nombreuses et de qualité méthodologique trop faible pour permettre des recommandations (de Groot et al., 2003). De plus, peu d'études ont évalué l'efficacité d'un programme HIIT chez des usagers d'un FR manuel. Le Tableau 2.7 résume les programmes d'entraînement étudiés auprès des individus ayant terminé leur période de réadaptation. Parmi ces études, seulement deux ont utilisé un entraînement HIIT en FR manuel (Bougenot et al., 2003; Tordi et al., 2001). Elles ont d'ailleurs rapporté une amélioration significative de la  $VO_{2\text{pointe}}$ , et ce, après seulement quatre semaines d'entraînement (Bougenot et al., 2003; Tordi et al., 2001). Tous ces programmes d'entraînement ont été effectués sous supervision d'un professionnel dans un établissement de recherche ou de santé. Il est important de noter que la taille d'échantillon (n) de ces études est généralement petite et qu'elles ne comprennent pas de groupe contrôle. De plus, la plupart datent

de plusieurs années. Des études cliniques randomisées plus récentes sont donc nécessaires afin de confirmer le type d'entraînement ainsi que leurs paramètres à privilégier afin d'obtenir des changements significatifs des aptitudes physiques des usagers d'un FR manuel.

**Tableau 2.6 Recommandations d'activité physique pour les individus ayant une LM. Traduit de Evans et al. (2015).**

	Santé cardiovasculaire	Force et endurance musculaire	Flexibilité et amplitude articulaire
<b>Fréquence</b>	Minimum 2 jours/semaine	Minimum 2 jours/semaine	Tous les jours
<b>Intensité</b>	Modérée à élevée	8-10 répétitions	30-60 secondes/étirements; doux, lent, sans douleur
<b>Durée</b>	20-30 minutes/session	3 séries; 1-2 minutes de repos entre les séries (30-60 minutes au total)	2 séries; 5-15 minutes
<b>Activités</b>	Propulsion de FR, ergocycle, activités nautiques, vélo, stimulation électrique fonctionnelle, circuit d'entraînement, elliptique	Poids libres, bandes élastiques, machines d'entraînement, stimulation électrique fonctionnelle	Verticalisateur; étirements passifs et actifs en statique

**Tableau 2.7 Résumé des programmes d'entraînements cardiorespiratoires pour les usagers d'un FR manuel ayant une LM. Tiré de Hicks et al. (2011)**

Études	LM	Mode d'exercice	Type	Intensité	Temps (min)	Fréquence (séances par semaine)	Durée (semaines)	Effet sur la VO <sub>2</sub> pointe	
Bougenot et al. (2003)	7	T6-L5	Ergomètre pour FR	HIIT	4 min modérée et 1 min élevée	45 (9x5min)	3	6	↑
Tordi et al. (2001)	5	T6-L4	Ergomètre pour FR	HIIT	4min modérée et 1min élevée	30	3	4	↑
Whiting et al. (1984)	2		Ergomètre pour FR			20	3	8	
Fukuoka et al. (2006)	8	T7-L1	FR	MCIT	50% FC de réserve	30	3	8	↑
Gass et al. (1980)	7	C5-T4	FR sur TR		jusqu'à l'épuisement		5	7	↑
Hooker et Wells (1989)	11	C5-T9	Ergomètre pour FR	1) MCIT 2) LCIT	1) 70-80% FC <sub>max</sub> 2) 50-60% FC <sub>max</sub>	20	3	8	1) ↑ 2) ↑
Rodgers, Keyser, Rasch, Gorman et Russell (2001)	19	T3-L5	Ergomètre pour FR	MCIT	60% FC <sub>max</sub>		3	6	↑
DiCarlo (1988)	8	C5-C7	Ergomètre pour MS	MCIT	60-80% FC <sub>max</sub>	5-35	3	8	↑
DiCarlo, Supp et Taylor (1983)	4	C4-T8	Ergomètre pour MS	MCIT	60-80% FC <sub>max</sub>	30	3	5	↑
El-Sayed, Younesian, Rahman, Ismail et El-Sayed Ali (2004)	5	caudale à T10	Ergomètre pour MS	MCIT	60-65% VO <sub>2</sub> pointe	30	3	12	↑
Nilsson, Staff et Pruett (1975)	7	C6-T12	Ergomètre pour MS	HIIT	sous-maximale et maximale	12 (3x4min)	3	7	↑
Taylor, McDonell et Brassard (1986)	10		Ergomètre pour MS	MCIT	80% FC <sub>max</sub>	30	3	8	↑

FC = Fréquence cardiaque; FR = fauteuil roulant; HIIT = entraînement par intervalles à haute intensité; LM = lésion médullaire; MCIT = entraînement continu à intensité modérée; MS = membres supérieurs; LCIT = entraînement continu à intensité légère; TR = Tapis roulant; ↑ augmentation.

## **2.10. Barrières et facilitateurs à l'entraînement en FR manuel**

### **2.10.1. Barrières à l'entraînement en FR**

Quelques études ont porté leur attention sur les barrières spécifiques à l'activité physique chez les usagers d'un FR (Ginis et Hicks, 2007; Rimmer et al., 2004; Scelza, Kalpakjian, Zemper et Tate, 2005; Williams et al., 2014). Parmi les obstacles relevés par ces études, le manque de lieux d'entraînement accessibles et adaptés a été souvent rapporté (Ginis et al., 2011; Rimmer et al., 2004; Williams et al., 2014). Même lorsque des endroits d'entraînement sont accessibles dans leur communauté, plusieurs usagers ne peuvent s'y rendre suite à des problèmes de transport ou de la difficulté à payer les frais d'accès (Ginis et al., 2011; Rimmer et al., 2004). De plus, certains environnements extérieurs comme les pentes abruptes, les routes et trottoirs mal entretenus et le manque de rampe d'accès peuvent leur poser un défi. L'hiver représente également un obstacle important pour les déplacements en FR. Le manque de connaissances tant des usagers eux-mêmes que des professionnels concernant les recommandations relatives à l'entraînement ainsi que les ressources disponibles dans la communauté est également une barrière fréquemment rapportée (Ginis et al., 2011; Scelza et al., 2005; Williams et al., 2014). Le manque de connaissances sur leur aptitude physique suite à leur lésion peut mener les individus à développer des craintes de blessures (Ginis et Hicks, 2007). S'ajoute à cela, les mêmes barrières que pour la population générale, à savoir, le manque de motivation, de temps et d'énergie (Bartlett et al., 2011; Ginis et al., 2011; Laure, 2007; Stutts, 2002). Par ailleurs, les personnes présentant des déficiences physiques peuvent également avoir des préoccupations liées à leurs incapacités telles que la peur de l'échec, la peur de se mettre en évidence et le manque de confiance en soi (Ginis et al., 2011; Rimmer et al., 2004). Ces déficiences peuvent réduire le sentiment d'efficacité personnel qui est une des composantes importantes de la motivation et est positivement corrélé avec la pratique de l'activité physique (Stutts, 2002; Van Der Horst, Paw, Twisk et Van Mechelen, 2007).

### **2.10.2. Facilitateurs à l'entraînement en FR**

Adresser les barrières architecturales des lieux d'entraînement soit leur accessibilité et leur adaptation permet d'améliorer l'accessibilité à la pratique de l'activité physique (Rimmer et al., 2004). Les groupes de soutien sont également un moyen efficace pour surmonter certaines

barrières telles que le manque de motivation, la peur de l'échec et le manque de connaissances. De plus, davantage de connaissances des professionnels encadrant les usagers d'un FR leur permettraient d'offrir un meilleur soutien. Le soutien par les pairs ainsi que l'aide des professionnels de réadaptation à la transition des programmes de réadaptation aux programmes de communautaire permettent de réduire la réticence des personnes ayant des déficiences physiques à s'entraîner dans des lieux publics (Rimmer et al., 2004). Des interventions visant l'augmentation du sentiment d'efficacité personnelle et l'amélioration de la cognition sociale face à l'entraînement s'avèrent efficaces pour améliorer l'adhérence à l'activité physique (Arbour-Nicitopoulos, Ginis et Latimer, 2009; Arbour-Nicitopoulos, Tomasone, Latimer-Cheung et Martin Ginis, 2014). Finalement, des services téléphoniques offrant de conseils concernant la pratique de l'activité physique disponible dans leur milieu ont permis d'améliorer l'adhérence à l'activité physique (Arbour-Nicitopoulos et al., 2014). Cette approche est particulièrement intéressante, car elle adresse la barrière de l'accessibilité en permettant à plus de personnes d'obtenir des services de professionnels.

## Chapitre 3. Objectifs et hypothèses

---

### 3.1. Objectifs et hypothèses généraux de la thèse

La capacité cardiorespiratoire est un élément important de la condition physique et a un impact majeur sur la santé générale des individus. Dans la littérature, de nombreuses études portent sur l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire des individus sains alors que très peu d'études portent sur les individus ayant des déficiences physiques. Malgré que ces derniers, notamment les usagers d'un FR, ont une capacité cardiorespiratoire grandement diminuée, peu d'outils sont disponibles pour évaluer et entraîner adéquatement la capacité cardiorespiratoire de ces individus. C'est pourquoi les objectifs généraux de cette thèse étaient s'articulent autour de deux composantes principales : 1) étudier la réponse cardiorespiratoire lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé afin de proposer un protocole d'évaluation standardisé de la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé et 2) étudier la faisabilité et l'efficacité d'un entraînement cardiorespiratoire par intervalles à haute intensité en FR manuel effectué dans la communauté sous supervision indirecte d'un physiothérapeute. Ces deux objectifs généraux s'arriment avec trois hypothèses générales vérifiées dans cette thèse :

- 1) Lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé, il est attendu que l'augmentation de la pente et de la vitesse du tapis roulant motorisé créera une augmentation de la réponse cardiorespiratoire et que la pente aura un impact plus grand que la vitesse sur la réponse cardiorespiratoire.
- 2) Il est attendu que le protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel sur un tapis roulant motorisé proposé en se basant sur la réponse cardiorespiratoire en fonction de la pente et de la vitesse du tapis aura de bonnes qualités psychométriques (*c.-à-d.*, validité, fidélité et changement minimalement détectable).
- 3) Il est attendu qu'un programme d'entraînement cardiorespiratoire par intervalles à haute intensité en FR manuel effectué directement dans la communauté sous la supervision indirecte d'un physiothérapeute sera faisable, sécuritaire et efficace pour améliorer la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel.



## **3.2. Objectifs spécifiques**

Cette thèse comprend cinq articles dont les objectifs spécifiques visent à répondre aux objectifs généraux. Les objectifs et hypothèses spécifiques de chacun de ces articles sont davantage détaillés dans le chapitre 5 portant sur les résultats. Cependant, voici un résumé des différents objectifs spécifiques.

### **3.2.1. Article # 1**

- 1) Quantifier les réponses cardiorespiratoires résultant de l'augmentation de la vitesse et de la pente du tapis roulant présentée de façon aléatoire lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé par des usagers expérimentés d'un FR manuel.
- 2) Quantifier la relation entre les réponses cardiorespiratoires (mesures objectives) et la perception de l'effort (mesures subjectives) durant la propulsion d'un FR manuel sur le tapis roulant motorisé.
- 3) Déterminer une équation de prédiction de la consommation d'oxygène lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé basée sur les vitesses et pentes étudiées afin de proposer un protocole standardisé d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel.

### **3.2.2. Article # 2**

- 4) Quantifier la fidélité test-retest et le changement minimalement détectable d'un nouveau test d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel sur un tapis roulant motorisé chez des usagers d'un FR manuel.

### **3.2.3. Article # 3**

- 5) Quantifier la validité d'un nouveau test d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel sur un tapis roulant motorisé en comparant les résultats à ceux obtenus lors d'un test sur ergomètre pour membres supérieurs chez des usagers d'un FR manuel.

### **3.2.4. Article # 4**

- 6) Déterminer la faisabilité, la sécurité, l'efficacité et la satisfaction d'un entraînement cardiorespiratoire par intervalles à haute intensité en FR manuel effectué à domicile sous supervision indirecte et comparer ce programme d'entraînement avec un entraînement continu à intensité modérée.

## Chapitre 4. Méthodologie

---

Cette thèse met en commun trois projets de recherche ayant des participants différents ainsi qu'une méthodologie distincte. Dans un premier temps, le déroulement du doctorat ainsi que la démarche scientifique seront présentés. Par la suite, les éléments importants de la méthodologie spécifique des différents projets de recherche ainsi que les éléments supplémentaires n'étant pas dans les articles scientifiques seront présentés. Finalement, les outils de mesures communs aux différents projets de recherche seront détaillés.

### 4.1. Plan du déroulement du doctorat

Un premier projet de recherche portant sur la comparaison des stratégies de mouvements, des efforts aux membres supérieurs et des exigences cardiorespiratoires lors de la propulsion du FR manuel sur un tapis roulant chez des individus ayant une LM (Projet #1) a été effectué par l'équipe de recherche du Laboratoire de pathokinésiologie dirigée Dr. Dany Gagnon. Pour ce projet, j'ai contribué aux collectes en laboratoire pour la partie portant sur les exigences cardiorespiratoires puis j'ai effectué le traitement et l'analyse des données. À l'aide de ces dernières, j'ai publié un article sur la quantification des réponses cardiorespiratoires lors de la propulsion d'un FR manuel sur différentes pentes et vitesse sur un tapis roulant motorisé chez des usagers d'un FR manuel (Article #1). Dans cet article, un nouveau protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire maximale des usagers d'un FR manuel est proposé.

Par la suite, j'ai préparé une demande d'éthique pour un deuxième projet de recherche portant sur l'évaluation des qualités psychométriques (*c.-à-d.*, validité, fidélité et changement minimal détectable) du protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire proposé dans l'Article #1 (Projet #2). Suite à la réception de l'approbation éthique en avril 2014, j'ai effectué toutes les parties de ce projet de recherche de façon autonome sous la supervision de Dr Dany Gagnon. Durant les étés 2014 et 2015, j'ai eu sous ma supervision une stagiaire d'été en recherche qui m'a assistée lors des collectes en laboratoire.

En juillet 2015, l'approbation d'éthique pour un projet de recherche portant sur l'effet de l'ajout d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire lors de la réadaptation fonctionnelle

intensive de nouveaux usagers d'un FR manuel a été obtenue. Ce projet de recherche avait pour objectif de mesurer et de comparer un programme d'entraînement cardiorespiratoire HIIT à un programme d'entraînement MCIT en FR manuel sur un tapis roulant motorisé. Chacun des programmes d'entraînement avait une durée de quatre semaines avec trois séances d'entraînement par semaine. Les évaluations initiale et finale effectuées avant et après les programmes d'entraînement étaient divisées sur deux jours consécutifs pour éviter la fatigue. Cependant, suite à des changements importants au niveau des services de réadaptation de l'IRGLM et de la réduction importante des temps de séjour, aucun participant recruté n'a complété le projet de recherche. Les critères d'inclusion ont été modifiés afin d'inclure également des participants ayant terminé leur réadaptation pour augmenter le recrutement malgré que cela changeait les objectifs initialement déterminés. Cependant, les participants vivant à domicile éprouvaient des problèmes de transport et de disponibilité pour se rendre à l'IRGLM trois fois par semaine.

La décision fut donc prise en avril 2016 d'apporter des modifications importantes au projet de recherche initialement proposé afin de pallier aux différentes contraintes rencontrées tant par les participants en réadaptation que ceux vivant dans la communauté. Les programmes d'entraînement allaient donc s'effectuer directement dans la communauté sous la supervision indirecte d'un physiothérapeute qui ferait un suivi hebdomadaire. La durée des programmes d'entraînement fut également augmentée à six semaines puisque cette durée est davantage recommandée dans la littérature. La collecte de données pour le projet #3 a été terminée en janvier 2017, s'en est suivi le traitement des données, l'écriture des articles scientifiques et de cette thèse.

Voici un schéma du déroulement de mon projet général de doctorat à la Figure 4.1.

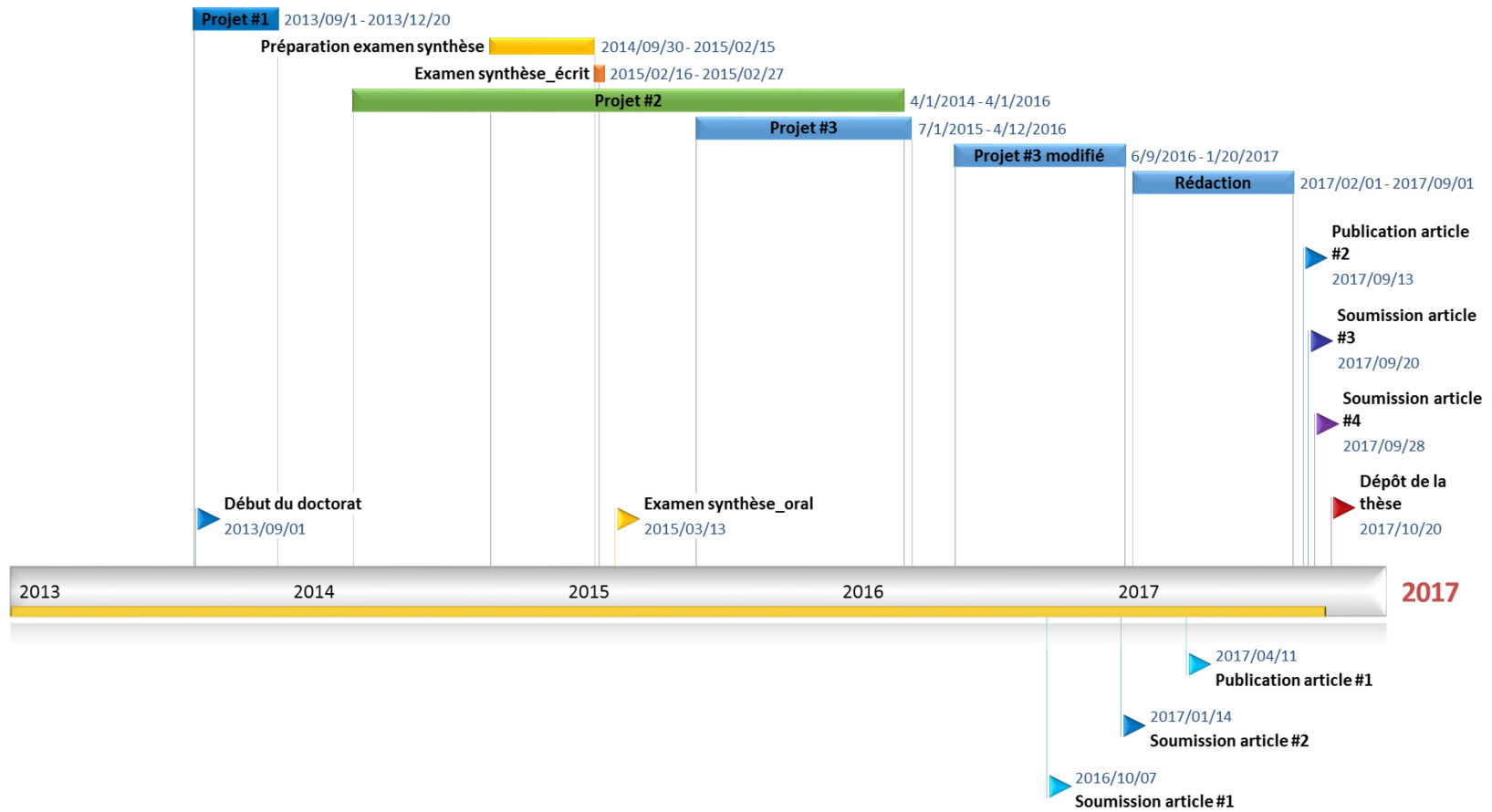


Figure 4.1 Schéma de la progression du doctorat.

## **4.2. Projet #1 : exigences cardiorespiratoires lors de la propulsion du FR manuel**

Ce projet faisait partie d'un projet de plus grande ampleur pour lequel les participants devaient effectuer des tâches expérimentales additionnelles lors de collectes de données distinctes. La méthodologie et l'instrumentation utilisées lors des collectes de données ne concernant pas l'étude sur les exigences cardiorespiratoires, ces dernières ne seront pas détaillées dans cette thèse. Gagnon et al. (2015) a cependant publié les détails de la méthodologie ainsi que les résultats de ce projet (Gagnon et al., 2015).

### **4.2.1. Les participants à l'étude**

Les critères d'inclusion pour ce projet étaient : 1) être âgé de plus de 18 ans, 2) avoir une lésion médullaire en dessous de T6 avec un AIS A, B ou C, 3) utiliser un FR manuel de façon autonome comme principale source de mobilité (> 4hrs/jour). Les critères d'exclusion étaient les suivants : 1) avoir un historique de maladie cardiorespiratoire, 2) présenter des douleurs ou des déficiences musculosquelettiques importantes ou toutes autres conditions (ex. un déficit cognitif ou visuel) pouvant entraver l'exécution des tâches expérimentales, 3) avoir répondu plus de 5/10 aux questions 5 («Pousser votre FR pour plus de 10 minutes?») et 6 («pousser votre FR sur une rampe ou un sol incliné à l'extérieur?») du questionnaire Wheelchair User's Shoulder Pain Index (WUSPI) (Curtis et al., 1995b).

### **4.2.2. Le recrutement des participants**

Avant de débiter le recrutement pour cette étude, l'approbation éthique a été accordée par le comité d'éthique de la recherche du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) (voir Annexe I). Les participants de ce projet ont été recrutés à partir d'un registre d'individus ayant accepté d'être sollicités de nouveau suite à une participation dans le passé à un projet de recherche dirigé par Dany Gagnon au Laboratoire de pathokinésiologie. Les participants potentiels étaient donc appelés par un membre de l'équipe de recherche afin de leur présenter le projet et de confirmer leur intérêt. Lorsque les individus

étaient intéressés à participer au projet, leur admissibilité selon les critères d'inclusion et d'exclusion était vérifiée par téléphone. Les participants étaient par la suite invités pour l'évaluation au Laboratoire de pathokinésiologie situé au CIUSS Centre-Sud-de-l'île-de-Montréal\_site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal.

### **4.2.3. L'évaluation clinique**

Une évaluation clinique a été effectuée par un physiothérapeute comprenant la cueillette de certaines informations personnelles (âge, taille, masse corporelle, condition de santé, etc.) afin de confirmer l'admissibilité des participants au projet. Les participants devaient remplir le questionnaire portant sur les douleurs aux épaules lors d'activités fonctionnelles, le WUSPI. La version originale du WUSPI en anglais présente une fiabilité test-retest et une cohérence interne élevées ainsi qu'une bonne validité (Curtis et al., 1995a, 1995b). Cependant, puisque la majorité des participants des différentes études étaient francophones, une version en français traduite par les membres de l'équipe de recherche a été utilisée.

#### 4.2.4. L'évaluation en laboratoire

Tout d'abord, les participants étaient équipés d'un cardiofréquencemètre et d'un analyseur portatif de gaz qui seront décrits dans la section 4.5. Les participants étaient ensuite installés dans leur propre FR au centre d'un tapis roulant motorisé à double-courroies (largeur = 0.84 m; longueur = 1.84 m) spécialisé pour les FR manuels (Bertec, Columbus, OH É.-U.). Le tapis roulant est muni d'un système de sécurité bilatéral auquel le FR manuel est ancré à l'aide de bandes élastiques afin de limiter les mouvements antéro-postérieurs et de rotation de ce dernier (Figure 4.2).

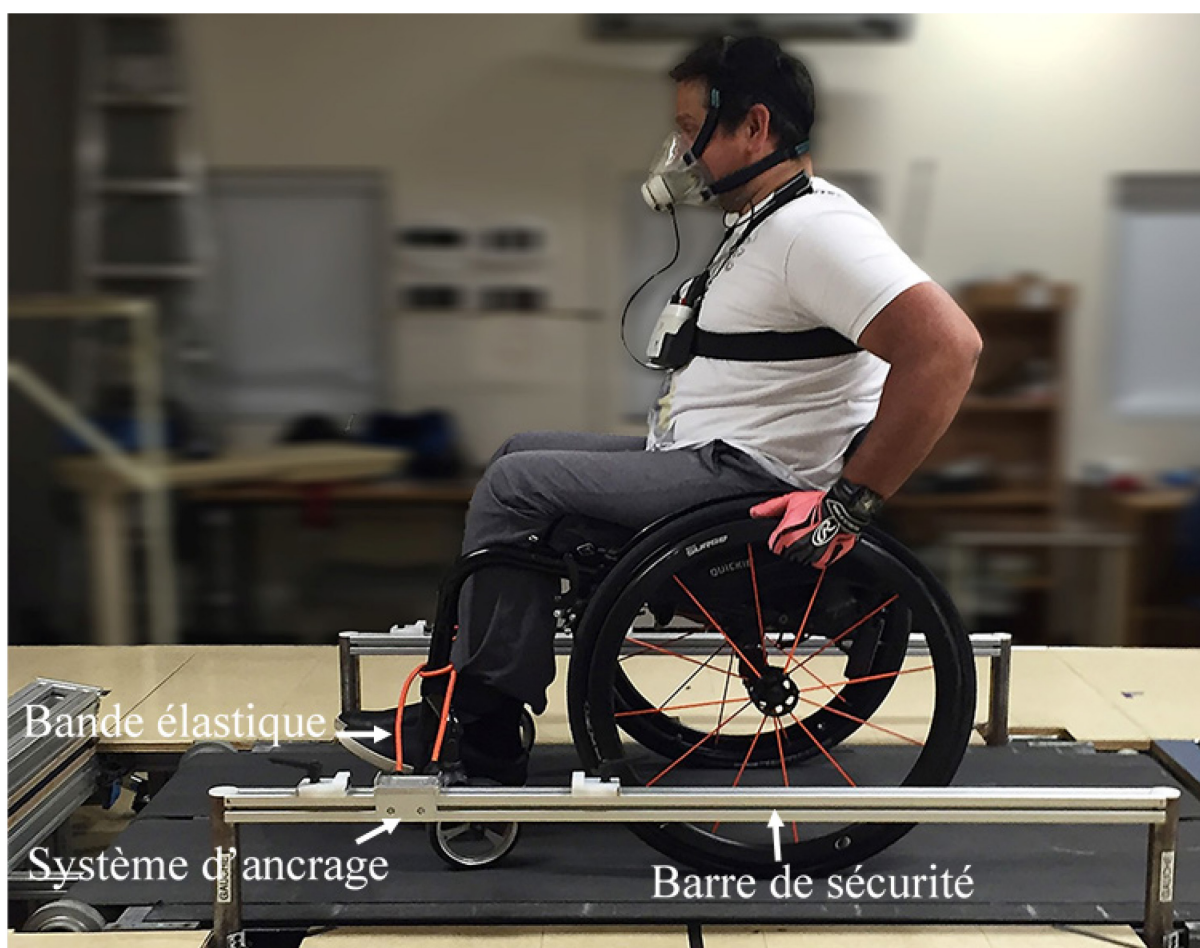


Figure 4.2 Système de sécurité sur le tapis roulant



Avant de débiter les essais de propulsion sur le tapis roulant, les participants devaient maintenir une position de repos confortable dans leur FR manuel pendant au moins deux minutes afin de permettre l'enregistrement des paramètres cardiorespiratoires de repos. Les participants devaient ensuite propulser leur FR manuel sur le tapis roulant sans inclinaison ( $0^\circ$ ) à une vitesse confortable de 0.6 m/s pendant 2 minutes afin de se familiariser avec la propulsion du FR manuel sur le tapis roulant et de s'échauffer.

Une fois la période de familiarisation et d'échauffement terminée, les participants devaient effectuer des essais de propulsion de deux minutes entrecoupés par des périodes de repos de 2 minutes (tapis à l'arrêt). Une période de deux minutes de propulsion a été sélectionnée afin de permettre l'atteinte d'un état stable pour la plupart des essais de propulsion. Cependant, pour les essais représentant un effort important, il est possible que l'état stable n'a pas été atteint après seulement deux minutes. Une période de repos de deux minutes était également considérée suffisante pour revenir à des valeurs cardiorespiratoires près des valeurs de base mesurées lors de la période de repos initial. La récupération était plus lente vers la fin des essais et les valeurs restaient parfois élevées. Cependant, afin de ne pas causer davantage de fatigue aux participants, ni le temps d'essai ni le temps de repos ne furent augmentés. À chaque essai de propulsion, une inclinaison ( $0^\circ$ ,  $2,7^\circ$ ,  $3,6^\circ$  ou  $4,8^\circ$ ) et une vitesse différente (0,6 m/s, 0,8 m/s ou 1 m/s) étaient testées. De sorte qu'à la fin de l'expérience, chaque inclinaison a été testée pour chaque vitesse, représentant un nombre total de douze essais. L'ordre des essais était déterminé au hasard à l'aide d'un programme informatique permettant de balancer la randomisation des différentes combinaisons de vitesse et de pente. Pendant le test, un membre de l'équipe de recherche est resté à proximité des participants afin de surveiller l'ensemble de leurs paramètres cardiorespiratoires et d'assurer leur sécurité.

#### **4.2.5. Le traitement de données**

Afin de déterminer la réponse cardiorespiratoire spécifique pour chaque combinaison de pente et de vitesse, la moyenne des 30 dernières secondes des essais de deux minutes a été calculée pour chaque variable à l'étude. Tel qu'expliqué plus haut, l'état stable était considéré comme étant atteint après deux minutes pour la majorité des essais.

## **4.3. Projet #2 : Qualités psychométriques du test cardiorespiratoire**

### **4.3.1. Les participants à l'étude**

Pour ce projet, des participants ont été recrutés dans la communauté et lors de leur séjour en réadaptation fonctionnelle intensive à l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal (IRGML) du Centre intégré universitaire de santé et services sociaux (CIUSSS) Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal. Tous les participants étaient des adultes utilisant un FR manuel comme principal moyen de mobilité. Les critères d'inclusion étaient les suivants : 1) être âgé entre 18 et 65 ans; 2) utiliser un FR manuel de façon autonome comme principale source de mobilité (> 4hrs/jour). Les critères d'exclusion étaient les suivants : 1) présenter des contre-indications médicales à l'évaluation et l'entraînement cardiorespiratoire selon les normes de l'ACSM (American College of Sport Medicine, 2014), 2) avoir répondu positivement à une des questions du questionnaire Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) (Thomas, Reading et Shephard, 1992) et ne pas avoir l'accord de son médecin pour effectuer un test d'effort cardiorespiratoire, 3) présenter des douleurs ou des déficiences musculosquelettiques importantes ou tout autres conditions (ex. un déficit cognitif ou visuel) pouvant entraver l'exécution des tâches expérimentales.

### **4.3.2. Le recrutement des participants**

Avant de débiter le recrutement pour cette étude, l'approbation éthique a été accordée par le comité d'éthique de la recherche du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) (voir Annexe I). Seize participants de ce projet ont été recrutés à partir d'un registre d'individus ayant accepté d'être sollicités de nouveau suite à une participation dans le passé à un projet de recherche dirigé par Dany Gagnon au Laboratoire de pathokinésiologie. De plus, le recrutement a également été effectué directement à l'IRGLM par le biais des physiothérapeutes traitant les individus en réadaptation. Les physiothérapeutes

faisaient une première sélection des participants potentiels selon les critères d'inclusion et d'exclusion et s'assuraient qu'ils acceptaient d'être contactés par un membre de l'équipe de recherche. Par la suite, un membre de l'équipe de recherche rencontrait le participant potentiel afin de lui expliquer plus en détail le projet de recherche et de s'assurer de son éligibilité. Lorsque le participant donnait son accord à participer au projet, l'accord du physiatre traitant était demandé. Cette méthode a permis de recruter 11 participants. De ces 11 participants, cinq avaient initialement été recrutés pour le projet #3. Trois participants ont été recrutés par l'entremise de participants ayant déjà pris part au projet de recherche. De plus, une lettre présentant le projet #2 et invitant les individus intéressés à contacter l'équipe de recherche a été envoyée par la poste à une liste d'individus utilisant un FR manuel et ayant fait un séjour en réadaptation à l'IRGLM au cours des cinq dernières années. Au total, 180 lettres ont été envoyées, mais de nombreuses lettres nous ont été retournées puisque les individus avaient déménagé. Aucun participant ne fut recruté par cette méthode.

Avant leur participation au projet, un membre de l'équipe de recherche discutait avec les participants potentiels pour confirmer leur admissibilité au projet de recherche et leur expliquer la nature du projet en question ainsi que l'étendue de leur participation. Tous les participants ont donné leur consentement libre et éclairé et ont signé le formulaire de consentement.

### **4.3.3. Déroulement du projet**

Ce projet de recherche avait deux objectifs distincts soient 1) quantifier la fidélité test-retest et le changement minimalement détectable et 2) quantifier la validité du nouveau test d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel sur un tapis roulant motorisé. Les participants de ce projet étaient invités à participer à deux séances d'évaluation à l'intérieur d'une période d'une semaine (2-7 jours) au Laboratoire de pathokinésiologie (Figure 4.3). La première séance d'évaluation comprenait tout d'abord l'évaluation clinique effectuée par un physiothérapeute, puis l'évaluation cardiorespiratoire en laboratoire. Pour l'étude de la validité, les participants devaient lors de la première séance d'évaluation compléter l'épreuve d'effort sur le tapis roulant et une épreuve d'effort avoir à l'aide d'un ergomètre pour membres supérieurs. Ces deux tests étaient séparés d'une période de repos d'au moins deux heures. Afin

de compléter l'étude sur la fidélité test-retest, les participants étaient invités à une deuxième séance d'évaluation où ils devaient effectuer une à nouveau l'épreuve d'effort sur le tapis roulant. Lors de cette séance, l'activité musculaire de certains muscles des membres supérieurs a été mesurée par électromyographie (EMG). De plus, la cinématique et la cinétique des membres supérieurs ont été mesurées pour une étude différente qui ne sera pas discutée dans cette thèse. Les séances d'évaluation en laboratoire étaient effectuées par au moins trois membres de l'équipe de recherche comprenant toujours un physiothérapeute et des assistants de recherche.

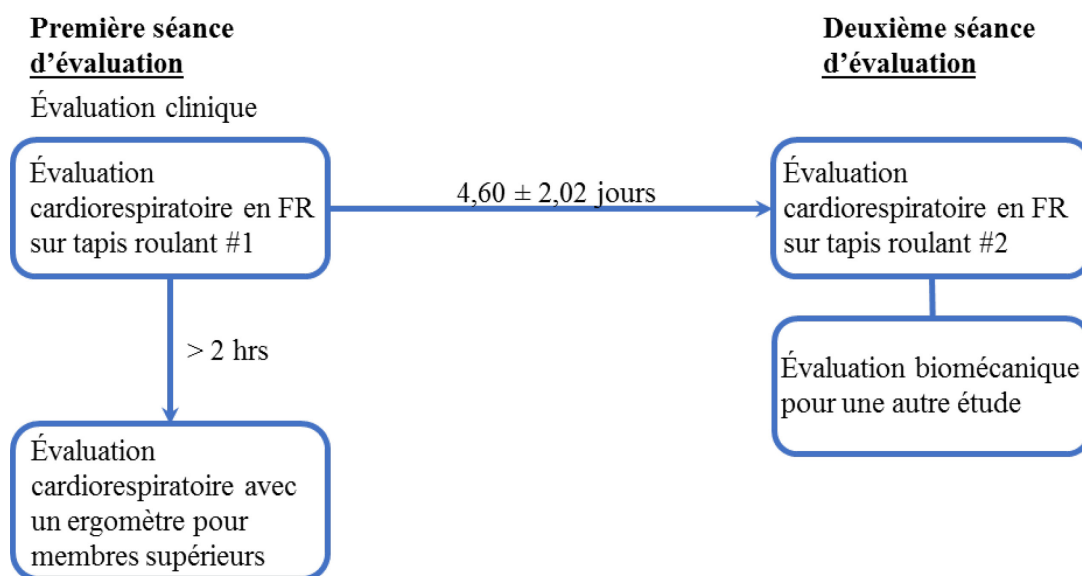


Figure 4.3 Schéma du projet de recherche #2

#### 4.3.4. Évaluation clinique

##### 4.3.4.1. Données démographiques et caractéristiques des participants

Tout d'abord, les données démographiques ainsi que les informations sur la condition médicale des participants ont été extraites de leur dossier médical à l'IRGLM (âge, type de lésion, niveau de la lésion, date de la lésion et grandeur). Pour les participants n'ayant pas fait de séjour en réadaptation à l'IRGLM, ses informations leur étaient directement demandées.

Tous les participants furent pesés à l'aide d'une balance pouvant accueillir un FR afin de connaître leur poids exact. De plus, l'amplitude articulaire des membres supérieurs ainsi que l'équilibre assis étaient sommairement évalués en observant les mouvements actifs.

#### **4.3.4.2. Questionnaires**

Les participants devaient répondre au questionnaire WUSPI afin de confirmer leur éligibilité au projet de recherche. Un seuil arbitraire de 5 cm sur l'échelle visuelle analogue de 10 cm a été utilisé pour les deux questions portant sur les douleurs ressenties directement lors de la propulsion d'un FR manuel soit la question 5 (propulser pendant 10 minutes et plus) et la question 6 (propulser au-dessus d'une rampe ou d'une pente à l'extérieur). Les participants ayant une perception de douleur supérieure à ce seuil lors de ces activités étaient exclus de l'étude afin de s'assurer que les tâches expérimentales n'affectent pas leur habilité fonctionnelle ou que la douleur n'altère pas les résultats de l'étude.

#### **4.3.5. Évaluation en laboratoire**

##### **4.3.5.1. Évaluation cardiorespiratoire en FR manuel sur tapis roulant motorisé**

Avant de débiter l'évaluation cardiorespiratoire, les participants étaient équipés de l'appareil portatif analyseur de gaz Cosmed K4b<sub>2</sub>, d'un cardiofréquencemètre et d'un oxymètre de pouls. Ils étaient par la suite installés sur le tapis roulant motorisé sur lequel leur FR était ancré au système de sécurité bilatéral tel que décrit plus haut. Les valeurs de repos des mesures cardiorespiratoires étaient mesurées sur une période de deux minutes durant laquelle les participants étaient assis au calme dans leur FR manuel. La pression artérielle de repos était également mesurée durant cette période afin de s'assurer que les participants puissent débiter l'évaluation cardiorespiratoire sans danger.

Une période d'échauffement et de familiarisation avec la propulsion sur le tapis roulant motorisé de deux minutes était complétée avant de débiter l'évaluation cardiorespiratoire. Durant cette période, les participants ont essayé les différentes vitesses et pentes incluses dans le protocole. Directement à la fin de la période de familiarisation et d'échauffement, le test

d'effort était débuté. Durant ce test, les participants devaient propulser leur FR manuel sur le tapis roulant paramétré selon différentes combinaisons d'inclinaison et de vitesse. Chaque combinaison représentait un palier d'une minute et l'ordre préalablement établi à partir des résultats du projet de recherche #1 permettait d'augmenter progressivement l'intensité (Tableau 4.1) (Gauthier, Grangeon, Ananos, Brosseau et Gagnon, 2017). L'inclinaison du tapis roulant variait entre 0°, 1,7°, 2,9°, 3,6°, 4,8°, 5,8° et 7,1° et les vitesses sélectionnées étaient de 0,6m/s, 0,8m/s ou 1m/s. Notons que l'angle 2,7° a été changé pour 2,9° entre le projet #1 et le projet #2 afin d'obtenir une meilleure linéarité de la courbe de VO<sub>2</sub>. Tous les participants ont débuté le test au premier palier. Les paliers se succédaient sans interruption jusqu'à ce que les participants n'arrivent plus à suivre la vitesse imposée par le tapis roulant. Il était alors considéré qu'ils avaient atteint leur niveau d'effort maximal. Le test était également cessé à la demande du participant ou à l'apparition de critères d'intolérance à l'effort selon l'American College of Sports Medicine. et al. (2014).

Paliers (1 min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pentes (°)	0°	0°	0°	1,7°	1,7°	2,9°	2,9°	3,6°	4,8°	4,8°	4,8°	5,8°	5,8°	7,1°	7,1°
Vitesses (m/s)	0,6	0,8	1,0	0,6	0,8	0,6	0,8	0,8	0,6	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0

Tableau 4.1 Protocole d'épreuve d'effort en FR manuel sur un tapis roulant motorisé Protocole d'évaluation cardiorespiratoire en fauteuil roulant manuel sur un tapis roulant motorisé

À la fin de chaque palier, les participants devaient coter le niveau de leur perception d'effort sur l'échelle de Borg modifiée. Cette échelle allant de 0 (aucun effort) à 10 (effort maximal) permet de quantifier la perception de l'effort et de dyspnée durant un exercice physique (Borg, 1990; Wilson et Jones, 1989). Les participants devaient coter leur niveau d'effort musculaire et cardiorespiratoire de façon distincte.

#### 4.3.6. Le traitement de données et variables à l'étude

Pour ce qui est des réponses cardiorespiratoires, les données mesurées à chaque inspiration étaient tout d'abord lissées en utilisant des moyennes sur 20 secondes. Par la suite, la valeur moyenne maximale était considérée comme la valeur maximale atteinte. Les valeurs

de perception de l'effort musculaire et cardiorespiratoire déterminées à la fin du test étaient considérées comme les valeurs maximales. La durée du test a été déterminée en soustrayant le temps correspondant au début du test au temps correspondant à la fin du test à l'aide du fichier de données du Cosmed. Finalement, le dernier palier complété par les participants correspondait au nombre de paliers atteints.

## **4.4. Projet #3 : Entraînement par intervalle à haute intensité en FR manuel**

### **4.4.1. Les participants à l'étude**

Les critères d'inclusion pour ce projet étaient les suivants : 1) être âgé entre 18 et 65 ans; 2) utiliser un FR manuel de façon autonome comme principale source de mobilité (> 4hrs/jour); 3) habiter dans un rayon de 75 km de l'île de Montréal. Les individus présentant une contre-indication médicale à l'évaluation et l'entraînement cardiorespiratoire selon les normes de l'ACSM (2014) étaient exclus de ce projet. Les contre-indications sont 1) un changement récent à l'électrocardiogramme, 2) une angine instable, 3) arythmies cardiaques incontrôlées, 4) sténose aortique sévère, 5) insuffisance cardiaque incontrôlée, 6) embolie pulmonaire aiguë ou infarctus pulmonaire, 7) myocardite ou péricardite aiguë, 8) anévrisme de dissection suspecté ou connu et 9) infection systémique aiguë, accompagnée de fièvre, de douleurs corporelles ou de ganglions lymphatiques gonflés. Les autres critères d'exclusion étaient : 1) avoir répondu positivement à une des questions du Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique pour tous (Q-AAP +) (Bredin, Gledhill, Jamnik et Warburton, 2013; Jamnik et al., 2011), 2) avoir une lésion cérébrale (*c.-à-d.*, accident vasculaire cérébral et traumatisme crânien), 3) présenter des douleurs ou des déficiences musculosquelettiques importantes ou tout autres conditions (ex. un déficit cognitif ou visuel) pouvant entraver la propulsion du FR manuel ou être augmentés pendant la propulsion, 4) avoir des épisodes de dysrèflexie autonome, 5) avoir un déficit cognitif, visuel ou de communication qui pourrait empêcher la participation au programme d'entraînement et 6) avoir des amplitudes articulaires des membres supérieurs très limités.

#### **4.4.2. Le recrutement**

Au total, onze participants ont été recrutés pour le projet #3. Cinq participants ont été recrutés à partir du registre de participants ayant déjà participé à des projets de recherche avec notre équipe et ayant accepté d'être contactés à nouveau pour des projets de recherche. Six participants furent recrutés à l'aide d'une lettre d'invitation envoyée à une liste d'utilisateurs d'un FR manuel suite à une LM ayant eu congé de l'IRGLM au cours des cinq dernières années et qui ont accepté d'intégrer le Registre Rick Hansen et d'être informés des futurs projets initiés par notre équipe de recherche.

#### **4.4.3. Déroulement du projet de recherche**

Les participants répondant aux critères d'inclusion et ayant accepté de participer au projet de recherche étaient rencontrés directement à leur domicile pour l'évaluation clinique ainsi que l'évaluation de la capacité cardiorespiratoire maximale et de la force musculaire isométrique maximale. Par la suite, les participants étaient assignés au hasard à l'un des deux groupes expérimentaux soit 1) le groupe d'entraînement par intervalles à haute intensité ou 2) le groupe d'entraînement continu à intensité modérée. Ils devaient par la suite compléter le programme d'entraînement de six semaines auquel ils étaient assignés. Pendant ce programme, un suivi téléphonique hebdomadaire était effectué afin d'assurer la compliance au programme et de le modifier au besoin. À la fin du programme d'entraînement, une évaluation finale était effectuée au domicile du participant. Un suivi téléphonique durant lequel les participants devaient répondre à un sondage sur leur satisfaction et leur perception du programme d'entraînement qu'ils avaient complété a été effectué trois mois après la fin de leur programme d'entraînement.



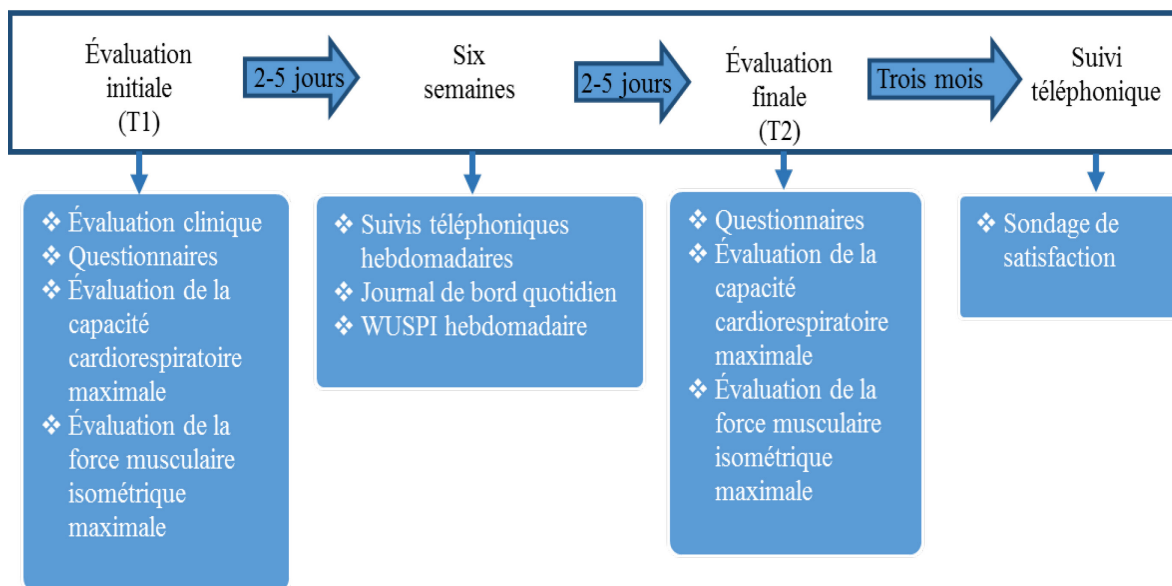


Figure 4.4 Schéma du déroulement du projet de recherche #3

#### 4.4.4. L'évaluation clinique

##### 4.4.4.1. Données démographiques et caractéristiques des participants

Certaines données démographiques ainsi que certaines informations sur la condition médicale des participants ont été prises à partir de leur dossier médical à l'IRGLM lorsque celles-ci étaient disponibles (âge, type de lésion, niveau de la lésion, date de la lésion et grandeur). Pour les participants n'ayant pas fait de séjour en réadaptation à l'IRGLM ou pour les données manquantes, les informations étaient directement demandées aux participants.

##### 4.4.4.2. Mesures anthropométriques et amplitudes articulaires

Pour ce projet, il n'a pas été possible de mesurer de façon précise le poids des participants puisque nous ne disposions pas d'une balance portative pouvant peser un FR. Leur poids a été cependant mesuré en utilisant quatre pèse-personnes électroniques sous chacune des roues du FR. Une mesure a été prise avec les participants et leur FR et une avec seulement le FR. La masse du FR a été soustraite de la masse des participants et de leur FR afin de connaître leur masse. Cette mesure de la masse a été utilisée davantage à titre informatif sur le poids approximatif des participants. De plus, la circonférence des hanches, de la taille et de la poitrine

a été mesurée à l'aide d'un ruban à mesurer lorsque les participants étaient en décubitus dorsal. Finalement, l'amplitude articulaire des membres supérieurs ainsi que l'équilibre assis au FR était sommairement évalués afin de confirmer que les participants pouvaient débiter un programme d'entraînement en FR manuel sans risque accru de blessure.

#### **4.4.5. Questionnaires**

##### **4.4.5.1. Wheelchair Users Shoulder Pain Index (WUSPI)**

Les participants devaient répondre au questionnaire WUSPI afin de confirmer leur éligibilité au projet de recherche. Un seuil de cinq cm sur l'échelle visuelle analogue de 10 cm a été utilisé pour la question portant sur les douleurs ressenties directement lors de la propulsion d'un FR manuel pour une durée de plus de 10 minutes (*c.-à-d.*, question #5). Les participants ayant une perception de douleur supérieure à ce seuil étaient exclus de l'étude afin de s'assurer que le programme d'entraînement n'augmente pas leur douleur ou n'affecte pas leur habilité fonctionnelle. De plus, les participants ont répondu au questionnaire avant, pendant et à la fin des programmes d'entraînement afin d'évaluer l'évolution de la douleur aux épaules pendant et suite aux entraînements.

##### **4.4.5.2. Classification du niveau d'activité physique**

Les participants devaient indiquer la fréquence chaque semaine à laquelle ils prenaient part à des séances d'au moins 20 minutes d'activité physique. Ils étaient ensuite classifiés dans trois catégories distinctes soient : (a) physiquement inactif car prenant part à moins d'une séance, (b) modérément ou irrégulièrement actif (entre deux et trois séances) et (c) physiquement actif (plus de trois séances par semaine) (Irazusta et al., 2006).

#### 4.4.6. Évaluation de la capacité cardiorespiratoire maximale

Les participants devaient compléter une évaluation cardiorespiratoire à l'aide d'un ergomètre pour les membres supérieurs. L'appareil utilisé était le Monark rehab trainer 881E qui est un ergomètre portatif avec résistance mécanique. L'ergomètre était déposé sur une surface stable par exemple une table de cuisine et la hauteur de la manivelle était ajustée afin que le centre de rotation soit aligné avec l'acromion. Le FR des participants était positionné afin que leurs coudes soient à environs 10-15° de flexion à leur position la plus étendue (Figure 4.5).



Figure 4.5 Position des participants sur l'ergomètre pour les membres supérieurs

Avant de débiter le test, les participants devaient pédaler sans résistance pendant deux minutes afin de se familiariser avec l'appareil et de s'échauffer. Le test commençait ensuite sans résistance puis la résistance était augmentée de 10 watts toutes les minutes jusqu'à l'atteinte de l'effort maximal. Les participants devaient pédaler en continu à une cadence de 50 rpm puisque l'appareil est calibré pour cette cadence. Le test était cessé lorsque les participants n'arrivaient plus à maintenir une cadence de plus de 40 rpm ou que ceux-ci demandaient à arrêter le test. De plus, le test était cessé dès l'apparition de signes et symptômes d'intolérance à l'effort (American College of Sports Medicine. et al., 2014).

#### 4.4.7. Évaluation de la force musculaire isométrique maximale

La force isométrique maximale des principaux groupes musculaires des membres supérieurs (*c.-à-d.*, fléchisseurs et extenseurs des épaules, abducteurs et adducteurs des épaules, rotateurs internes et externes des épaules et fléchisseurs et extenseurs des épaules) a été mesurée

à l'aide d'un dynamomètre manuel de type Medup (Medup®, Québec, Canada). Tous les groupes musculaires ont été évalués en position décubitus dorsal afin d'assurer la stabilité du tronc des participants. Avant de prendre une mesure, le bras de levier (*c.-à-d.* la distance entre le centre du dynamomètre et le centre de l'axe de rotation) était mesuré à l'aide d'un ruban à mesurer. Par la suite, deux essais séparés par une période de repos de 30 secondes ont été effectués pour chacun des groupes musculaires. Un troisième essai était effectué lorsqu'il y avait une différence de plus de 20% entre les deux premières mesures. La force maximale isométrique de chacun des groupes musculaires a été calculée à l'aide de la formule suivante :

$$\begin{aligned} & \textit{Force musculaire maximale (Nm)} \\ & = \textit{Force appliquée sur le dynamomètre (N)} * \textit{longueur du bras de levier (m)} \end{aligned}$$

Équation 4.1 Force maximale isométrique

La mesure de résultat était la valeur la plus grande parmi les essais et était exprimée en newton mètre (NM).

#### **4.4.8. Intervention**

##### **4.4.8.1. Répartition des participants dans les groupes**

Suite à l'évaluation initiale, les participants étaient répartis de façon randomisée dans un des deux groupes expérimentaux : 1) entraînement de type HIIT et 2) entraînement de type MICT. La randomisation fut effectuée par blocs de 10 participants donc cinq participants dans chacun des groupes afin d'assurer une répartition égale des participants. Des enveloppes scellées et opaques furent utilisées pour la randomisation.

##### **4.4.8.2. Vidéo sur les conseils pour la propulsion d'un FR manuel**

Une vidéo faite par notre équipe de recherche d'environ cinq minutes démontrant les techniques de propulsion recommandées ainsi que celles à éviter était visionnée par tous les participants avant de débiter leur programme d'entraînement (Consortium for Spinal Cord Medicine, 2005; Rice, Pohlig, Gallagher et Boninger, 2013). De cette façon, il fut possible de

s'assurer que les participants avaient les mêmes connaissances concernant la propulsion d'un FR manuel et la prévention des blessures.

Dans cette vidéo, les activités pouvant engendrer des blessures aux membres supérieurs ainsi que l'incidence de ces blessures étaient présentées. Par la suite, les points importants à considérer pour réduire la charge sur les membres supérieurs lors de la propulsion, soit réduire la cadence et augmenter l'angle de poussée, furent expliqués. Quelques conseils d'entraînement furent démontrés à l'aide de séquences vidéo. Les techniques fréquemment rencontrées à éviter furent également démontrées et expliquées.

#### **4.4.8.3. Enseignement sur la gestion de l'intensité de l'effort**

Avant de débiter le programme d'entraînement, une échelle de Borg modifiée en version papier fut donnée et expliquée aux participants. Ils ont eu l'opportunité également de la mettre en pratique lors de l'évaluation cardiorespiratoire sur l'ergomètre pour les membres supérieurs. De plus, les trajets potentiels disponibles dans la communauté étaient analysés avec les participants en fonction de leur difficulté. Par exemple, afin d'augmenter l'intensité sans augmenter la vitesse, les pentes et le gazon étaient utilisés alors que les pistes cyclables représentaient un endroit sécuritaire pour propulser à plus grande vitesse. Un membre de l'équipe pouvait accompagner les participants lors de leurs premières séances d'entraînement afin de vérifier le trajet si ceux-ci le désiraient.

#### **4.4.8.4. Programmes d'entraînement**

Chaque programme d'entraînement est d'une durée de six semaines et comprend trois séances d'entraînement de 40 minutes chacune. Les participants devaient avoir complété au moins 75% (*c.-à-d.*, 13/18 séances) pour être considérés comme ayant complété avec succès le programme d'entraînement. Les programmes d'entraînement étaient effectués de façon autonome par les participants directement dans la communauté sous la supervision indirecte d'un physiothérapeute. En effet, un suivi téléphonique était effectué à toutes les semaines auprès des participants afin de s'assurer que leur programme d'entraînement était adéquat et se déroulait bien.

#### 4.4.8.4.1. Séances d'entraînement HIIT

Tous d'abord, les participants devaient débiter leur séance d'entraînement par une période d'échauffement de cinq minutes à faible intensité donc à une perception de l'effort entre 2 (léger) et 3 (modéré) sur l'échelle de Borg modifiée (American College of Sports Medicine. et al., 2014; Wilson et Jones, 1989). Les participants devaient par la suite alterner des séquences de 30 secondes de propulsion à haute intensité soit à une perception de l'effort entre 6 et 8 (très difficile) avec des séquences de 60 secondes de propulsion à intensité faible soit à une perception de l'effort entre 1 (très léger) et 2 (léger). Ce cycle devait être répété un maximum de 20 fois pour un total de 30 minutes d'entraînement de type HIIT. Suite à la période de HIIT, il y avait une période de retour au calme de 5 minutes de propulsion à faible intensité (2-3 sur l'échelle de Borg modifiée) afin de permettre à la FC et à la pression artérielle de revenir graduellement à la normale (American College of Sport Medicine, 2013).

#### 4.4.8.4.2. Séances d'entraînement continu à intensité modérée

Les séances d'entraînement continu à intensité modérée débutaient par une période d'échauffement de cinq minutes à une perception d'effort entre 2 et 3 sur l'échelle de Borg modifiée. Par la suite, les participants devaient propulser leur FR manuel pendant un maximum de 30 minutes à une intensité modérée entre 4 (un peu difficile) et 5 (difficile). À la fin, une période de retour au calme de cinq minutes de propulsion à une intensité entre 2 et 3 devait être complétée.

#### 4.4.8.5. Suivi de l'activité physique

Les participants pouvaient poursuivre leur entraînement et/ou leur activité physique habituelle pendant leur programme d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel. Cependant, ils devaient remplir un journal de bord de l'activité physique qu'ils faisaient. Ainsi, ils devaient noter pour chaque jour le type d'activité physique de type aérobie auquel ils prenaient part ainsi que la durée et l'intensité (faible, modérée ou élevée) de ces activités. Ils devaient également noter leurs activités de renforcement musculaire en indiquant les groupes musculaires entraînés, le nombre de séries, le nombre de répétitions par série et le poids/résistance ou l'intensité, si

applicable. Le journal de bord se trouve à l'Annexe Les participants pouvaient continuer de participer aux activités physiques

#### **4.4.9. Suivi après la fin du programme d'entraînement**

Un suivi téléphonique fut effectué plus de trois mois après la fin de leur programme d'entraînement afin de connaître leurs impressions sur le programme d'entraînement qu'ils avaient complété. Une période de plus de trois mois a été choisie afin que les participants aient suffisamment de recul pour évaluer les bienfaits apportés par l'entraînement et également afin de savoir s'ils avaient continué leur programme suite à leur participation au projet de recherche. Pour ce faire, ils devaient répondre à un sondage sur la satisfaction et la perception du programme d'entraînement. Ce sondage, construit par notre équipe de recherche, comprenait 17 questions réparties dans cinq domaines distincts soient : la satisfaction générale (2 questions), le déroulement du programme d'entraînement (5 questions), les bienfaits perçus sur la santé (6 questions), les risques perçus pendant l'entraînement (3 questions) et la motivation à poursuivre l'activité physique (1 question). Une échelle de Likert en sept points allant de 1 (en total désaccord) à 7 (totalement d'accord) fut utilisée pour tous les domaines sauf pour les bienfaits sur la santé. Pour ce domaine, une échelle sémantique différentielle d'Osgood fut utilisée afin de déterminer s'il y a eu des détériorations ou des améliorations ainsi que le niveau de ceux-ci. L'échelle allait de 1 (détériorations importantes) à 7 (améliorations importantes) en passant par 4 (pas de changement).

Les participants répondaient au sondage directement à un membre de l'équipe de recherche lors d'une entrevue au téléphone. Il était donc possible de discuter de leurs réponses et de mieux comprendre leur expérience en définissant les facilitateurs et les obstacles à leur participation au programme d'entraînement. Les différents lieux d'entraînement utilisés par les participants ont également été identifiés. Finalement, les participants étaient invités à donner leurs commentaires afin d'améliorer les programmes d'entraînement.

## **4.5. Évaluation de la capacité cardiorespiratoire**

### **4.5.1. Instrumentation et outils de mesure**

#### **4.5.1.1. Analyseur de gaz Cosmed K4b<sup>2</sup>**

Lors des tests d'effort maximal, les participants étaient équipés d'un appareil portatif analyseur des gaz respiratoires, le Cosmed K4b<sup>2</sup> (Cosmed K4b<sup>2</sup>; Cosmed, Rome, Italy). Cet appareil permet la mesure en continu de la consommation d'oxygène (VO<sub>2</sub>, ml/min), la production de gaz carbonique (VCO<sub>2</sub>, ml/min), la ventilation minute (VE, l/min), le volume courant (VT, l) la fréquence respiratoire (FR, batt./min) et le quotient respiratoire (QR). Cet appareil permet également la mesure d'autres variables qui ne sont pas prises en compte dans cette thèse. Une mesure de toutes ces variables est prise et enregistrée à chaque respiration donc plus la fréquence respiratoire augmente avec l'augmentation de l'effort, plus la fréquence de prise de mesures augmente. La fiabilité et la validité de cet appareil pour mesurer les échanges gazeux ont été reconnues dans la littérature lors de différents protocoles d'évaluation cardiorespiratoires. (Duffield et al., 2004; McLaughlin, King, Howley, Bassett et Ainsworth, 2001; Schrack, Simonsick et Ferrucci, 2010)

Les principaux éléments de cet appareil portatif pesant environ 0,8 kg incluent un masque facial étanche placé sur la bouche et le nez, une batterie et un boîtier contenant l'analyseur de gaz (Figure 4.6). Les participants portaient un harnais sur lequel la batterie était accrochée à l'arrière et le boîtier contenant l'analyseur à l'avant. Un tube souple reliait le masque étanche au boîtier d'analyse. Les données recueillies par le boîtier analyseur de gaz sont transmises par télémetrie à un ordinateur ayant le programme du Cosmed. Les données sont également enregistrées directement dans le boîtier, ce qui permet d'utiliser l'appareil sans utiliser l'ordinateur.



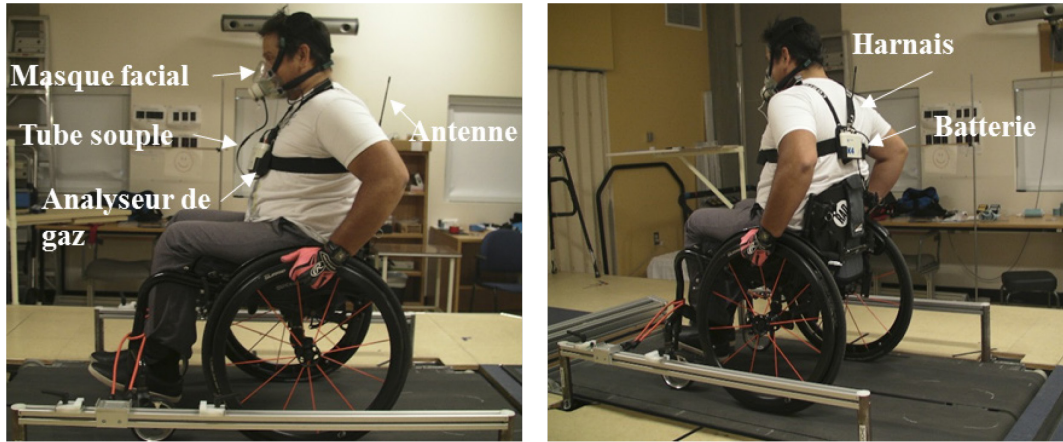


Figure 4.6 Différentes composantes du Cosmed K4b2

#### 4.5.1.1.1. Calibration

Afin d'augmenter la précision des données prises par le Cosmed K4b2, celui-ci était calibré selon les recommandations du fabricant moins de 30 minutes avant chaque utilisation. Tout d'abord, la composition de l'air ambiant était mesurée. Ensuite, un mélange de gaz de référence dont les concentrations étaient prédéterminées (*c.-à-d.*,  $O_2 = 16\%$ ,  $CO_2 = 5\%$  et  $N_2 = 79\%$ ) était utilisé afin de calibrer l'analyseur de gaz et s'assurer de son bon fonctionnement. Le débit mesuré par la turbine était calibré en utilisant une seringue de trois litres. Finalement, le délai entre les gaz était calibré en imposant une fréquence respiratoire à l'utilisateur à l'aide d'un signal sonore. En cas de mauvais fonctionnement d'une des composantes de l'appareil, la calibration ne pouvait se terminer adéquatement et un message indiquant l'erreur ou le problème présent apparaissait sur l'appareil. Ce processus de calibration du Cosmed K4b2 permettait de s'assurer que celui-ci fonctionne correctement. Une vérification visuelle des données mesurées était également effectuée avant le début des tâches expérimentales afin de confirmer le bon fonctionnement de l'appareil et éviter la prise de données aberrantes.

#### 4.5.1.2. Cardiofréquencemètre

Les participants portaient également un cardiofréquencemètre Polar® (Polar FT4; Polar, Lachine, Canada) afin de mesurer la fréquence cardiaque (FC, batt./min). La courroie souple contenant le cardiofréquencemètre était préalablement humidifiée afin de permettre la

conduction et était installée directement sur la peau des participants au niveau de leur poitrine. La FC mesurée par le cardiofréquencemètre était transmise au boîtier du Cosmed K4b<sub>2</sub> et également à l'ordinateur de contrôle si celui-ci était utilisé. La FC a été donc mesurée en continu lors de chaque respiration.

#### **4.5.1.3. Autres mesures**

Un oxymètre de pouls était porté à l'oreille afin de mesurer le pourcentage de saturation d'oxygène (SatO<sub>2</sub>, %). Cette variable était simplement utilisée par mesure de sécurité afin de s'assurer qu'il n'y ait pas de désaturation, signe d'un trouble respiratoire. Le test était cessé lorsque la saturation en oxygène atteignait une valeur inférieure à 88% (American College of Sport Medicine, 2013).

La pression artérielle était mesurée avant le test afin de s'assurer que le participant pouvait effectuer le test d'effort cardiorespiratoire. Les participants devaient être au repos pendant deux minutes assis dans leur FR manuel lors de la mesure de la pression artérielle. Lorsque les participants avaient des valeurs de pression systolique supérieures à 150 mmHg au repos, leur test était annulé. Une attention particulière et étroite était portée aux réponses à l'effort lorsque la pression systolique se trouvait entre 140-150 mmHg au repos ou lorsqu'elle était plus basse que 100 mmHg. La pression artérielle était également mesurée après les tests jusqu'au retour à la normale afin de s'assurer que les participants récupèrent adéquatement suite au test d'effort.

La perception de l'effort était mesurée à l'aide de l'échelle de Borg modifiée (/10) à chaque augmentation de palier (Wilson et Jones, 1989).

## **4.6. Analyses statistiques**

Les différentes analyses statistiques utilisées afin de répondre aux objectifs de chacun des articles sont clairement détaillées dans ceux-ci. Elles ne sont donc pas répétées dans cette section.

## Chapitre 5. Résultats

---

### **5.1. Article #1: Quantifying cardiorespiratory responses resulting from speed and slope increments resulting from motorized treadmill propulsion among manual wheelchair users**

Cindy Gauthier<sup>1,2</sup>, Murielle Grangeon<sup>1,2</sup>, Ludivine Ananos<sup>2,3</sup>, Rachel Brosseau<sup>1,4</sup>, Dany H. Gagnon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> École de réadaptation ([www.umontreal.readap.ca](http://www.umontreal.readap.ca)), Université de Montréal, QC, Canada

<sup>2</sup> Laboratoire de pathokinésiologie ([www.pathokin.ca](http://www.pathokin.ca)), Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, CIUSSS Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> UFR-STAPS, University of Paris Ouest Nanterre Defense, France

<sup>4</sup> Institut de cardiologie de Montréal, Montreal, QC, Canada

Article publié dans *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* (2017) 60(5):281-288.

En tant qu'auteure principale, je confirme mon apport considérable et majoritaire à chacune des étapes ayant mené à la rédaction de cet article, ce qui inclut la collecte de données, le traitement et l'analyse des données, l'interprétation finale des résultats et la rédaction du manuscrit. L'élaboration du protocole de recherche ayant mené à ce manuscrit a été faite par Dr Dany Gagnon dans le cadre d'un vaste projet portant sur l'étude de la propulsion d'un fauteuil roulant manuel sur un tapis roulant motorisé. Dr Dany Gagnon a également encadré et supervisé chacune des étapes de l'étude et a contribué à l'analyse et à l'interprétation des données ainsi qu'à la révision de cet article. Ludivine Ananos et Dre Murielle Grangeon ont eu une implication importante dans les collectes de données et le traitement des données. Dre Murielle Grangeon a également participé à la révision finale de l'article.

### 5.1.1. Abstract

**Background:** Cardiorespiratory fitness assessment and training among manual wheelchair (MW) users are predominantly done with an arm-crank ergometer. However, arm-crank ergometer biomechanics differ substantially from MW propulsion biomechanics. This study aimed to quantify cardiorespiratory responses resulting from speed and slope increments during MW propulsion on a motorized treadmill and to calculate a predictive equation based on speed and slope for estimating peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ) in MW users.

**Methods:** In total, 17 long-term MW users completed 12 MW propulsion periods (PP), each lasting 2 min, on a motorized treadmill, in a random order. Each PP was separated by a 2-min rest. PPs were characterized by a combination of 3 speeds (0.6, 0.8 and 1.0 m/s) and 4 slopes ( $0^\circ$ ,  $2.7^\circ$ ,  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$ ). Six key cardiorespiratory outcome measures ( $VO_2$ , heart rate, respiratory rate, minute ventilation and tidal volume) were recorded by using a gas-exchange analysis system. Rate of perceived exertion (RPE) was measured by using the modified 10-point Borg scale after each PP.

**Results:** For the 14 participants who completed the test, cardiorespiratory responses increased in response to speed and/or slope increments, except those recorded between the  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$  slope, for which most outcome measures were comparable. The RPE was positively associated with cardiorespiratory response ( $r_s \geq 0.85$ ). A  $VO_2$  predictive equation ( $R^2 = 99.7\%$ ) based on speed and slope for each PP was computed. This equation informed the development of a future testing protocol to linearly increase  $VO_2$  via 1-min stages during treadmill MW propulsion.

**Conclusions:** Increasing speed and slope while propelling a MW on a motorized treadmill increases cardiorespiratory response along with RPE. RPE can be used to easily and accurately monitor cardiorespiratory responses during MW exercise. The  $VO_2$  can be predicted to some extent by speed and slope during MW propulsion. A testing protocol is proposed to assess cardiorespiratory fitness during motorized MW propulsion.

### 5.1.2. Introduction

Assessing cardiorespiratory fitness among manual wheelchair (MW) users is challenging in clinical practice. In this population, cardiorespiratory fitness is typically assessed by tests performed with an arm-crank ergometer [4-6] or a stationary roller while the participant manually propels a MW [7-9]. These tests allow rehabilitation professionals to impose a gradual increase in workload (i.e., increased speed or resistance) over a relatively short period of time, during which MW users are expected to reach exhaustion. The specificities of MW propulsion are better duplicated when cardiorespiratory fitness tests are performed on a stationary roller than with an arm-crank ergometer [10]. In fact, MW propulsion biomechanics (i.e., muscular activation sequences, movement strategies, as well as force application magnitude and orientation linked to cyclical bilateral upper-limb movements) is more specific when propelling on a stationary roller than when turning an arm crank [10, 11]. However, despite limited inertial effects, propelling on a stationary roller predominantly mimics linear level-ground propulsion because no real-time inclination option is usually available.

Many authors now suggest that cardiorespiratory fitness testing protocols should incorporate performance of a motor task with which tested individuals are highly familiar [12, 13]. When testing long-term MW users, relying on MW propulsion overground would appear logical and should be prioritized whenever possible. However, developing structured overground MW propulsion tests to be completed in a natural environment remains challenging, particularly when the workload needs to be precisely estimated and progressively increased. Hence, precisely controlling workload via speed increments during overground propulsion, for example, is difficult, and increasing speed in a clinical environment could rapidly become hazardous. As an alternative to increasing speed, the use of slopes or increased rolling resistance (e.g., carpeted floor) could be considered to increase workload safely. However, slopes found in clinical settings, such as ramps that usually meet building code requirements, are typically not long or steep enough to expect a maximal cardiorespiratory response.

Over the past decade, there has been a growing interest in motorized treadmill MW propulsion because it closely duplicates overground MW propulsion [2, 3, 14]. Furthermore, it

allows clinicians and researchers to control key testing or training parameters in real time (e.g., speed and inclination angle). Eventually, because workload can easily and precisely be manipulated with these parameters, a cardiorespiratory fitness MW propulsion test on a motorized treadmill could be developed. Such a test would overcome the main limits linked to arm-crank and roller ergometers while also offering unique and diversified training opportunities (e.g., high-intensity interval training).

The main objective of this study was to quantify the cardiorespiratory response resulting from increments of speed (i.e., 0.6, 0.8 and 1 m/s) and slope (i.e., 0°, 2.7°, 3.6°, 4.8°) presented in a random order during motorized treadmill MW propulsion by long-term MW users. The secondary objectives were to 1) investigate the relationship between cardiorespiratory response (i.e., objective measures) and the rate of perceived exertion (i.e., subjective measure) during motorized treadmill propulsion and 2) calculate a predictive equation based on the tested speed and slope increments for estimating peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ) during motorized treadmill propulsion in MW users. We anticipated that an increase in speed or slope would augment cardiorespiratory demand measures, the slope having a greater impact on these measures than speed. We also expected that the rate of perceived exertion would be positively correlated with cardiorespiratory demand measures during MW propulsion over a treadmill. Finally, we expected that  $VO_2$  (i.e., main cardiorespiratory outcome measure) would be predictable in great part ( $R^2 \geq 50\%$ ) with speed and slope parameters. To address these objectives, cardiorespiratory responses and rate of perceived exertion (RPE) were recorded during MW propulsion on a motorized treadmill set at different combinations of speed and slope and the relationship between those measures and slopes and speeds was analyzed. Ultimately, the study will inform the development of a future testing protocol to assess cardiorespiratory fitness via a motorized treadmill-based incremental wheelchair propulsion test in MW users.

### **5.1.3. Methods**

#### **5.1.3.1. Participants**

In total, 17 people (16 males) who used a MW as their primary source of mobility (i.e., > 4 hr per day) volunteered to participate in this study after meeting the inclusion criteria. All

participants had a spinal cord injury (American Spinal Injury Association Injury Scale A, B or C) affecting vertebral levels distal to T6 (**Tableau 5.1**). None reported a history of cardiorespiratory disease, secondary musculoskeletal impairments affecting the trunk or upper extremities or any other complications that might have limited their ability to perform the experimental tasks. The Wheelchair User’s Shoulder Pain Index (WUSPI) [15] with a threshold of 5/10 for Question 5 (“Pushing your chair for 10 minutes or more?”) and Question 6 (“Pushing up ramps or inclines outdoors?”) was used to ensure that the experimental tasks did not affect functional abilities or hamper the results of this study. The study was conducted at the Pathokinesiology Laboratory at the Institut de readaptation Gingras-Lindsay-de-Montreal, Montreal, QC, Canada. Ethical approval was obtained from the Research Ethics Committee of the Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal (CRIR-#715-0312). All participants read and signed the informed consent form before initiating the study.

**Tableau 5.1 Characteristics of participants**

Participant	Sex	Age	Height (m)	Weight (kg)	Time since injury (years)	ASIA		WUSPI <sup>1</sup> /20
						Lesion level	AIS*	
1	M	19.8	1.82	55.5	0.3	T11	A	0.7
2	M	39.7	1.67	99.4	3.4	T10	A	7.6
3	M	32.9	1.90	97.0	6.0	T10	A	0.0
4	M	22.3	1.89	65.9	0.1	L3	C	6.3
5	M	37.1	1.88	77.0	1.9	T10	A	7.6
6	M	31.1	1.70	78.6	10.1	T12	B	4.7
7	M	34.0	1.95	78.0	8.6	T12	C	0.0
8	M	29.1	1.85	71.7	11.3	T12	A	1.5
9	M	60.7	1.88	100.0	5.7	T10	A	2.6
10	M	43.6	1.78	97.0	11.1	T8	A	2.0
11	M	36.6	1.80	83.8	12.3	T7	C	2.3
12	M	33.8	1.65	68.0	6.1	T6	A	2.6
13	M	56.8	1.73	86.0	24.7	T12	A	1.2
14	M	35.9	1.80	75.0	10.4	T12	A	1.2
15	M	45.3	1.81	83.0	11.7	T10	A	0.0
16	F	61.2	1.64	63.0	21.2	T10	A	6.2
17	M	53.6	1.75	70.0	0.2	T10	C	0.8
Mean±SD		39.62±12.4	1.79±0.09	79.35±13.34	8.54±6.92			2.77±2.66

\*A, so motor or sensory function preserved below neurological level; B, sensory function preserved but motor function not preserved below neurological level; C, motor and sensory functions preserved below neurological level; AIS, American Spinal Injury Association Injury Scale; ASIA, American Spinal Injury Association; F, female; M, male; T, thoracic; WUSPI, Wheelchair User’s Shoulder Pain Index, total score for question 5 (/10) and 6 (/10).



### 5.1.3.2. Experimental tasks

Following a 2-min MW propulsion familiarization period on the motorized treadmill (slope 0°, speed 0.8 m/s), participants were asked to perform 12, 2-min MW treadmill propulsion periods (PPs) with their own MW in a pre-determined random order generated via a computer program. Each PP was characterized by a slope (i.e., 0°, 2.7°, 3.6°, 4.8°) with three different speeds (i.e., 0.6, 0.8 and 1 m/s). These parameters were defined based on the ramps usually encountered in daily life or tested in previous studies on MW propulsion [2, 16]. Each PP was followed by a 2-min passive rest period. The motorized dual-belt instrumented treadmill (Bertec Corp., Columbus, OH, USA) was adapted for safe MW propulsion. The MW was anchored with elastic bands to a bilateral frictionless gliding safety system that prevents excessive movements of the MW without altering the natural propelling strategies (**Fig. 5.1**). Additionally, one research associate stood next to the participant to ensure optimal safety.

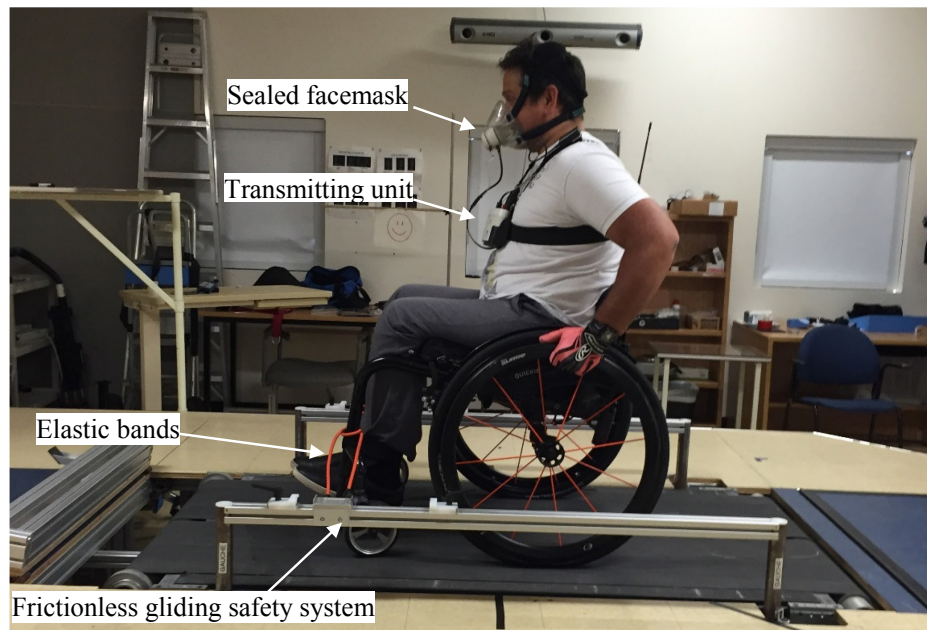


Figure 5.1 Experimental set-up.

### 5.1.3.3. Instrumentation and data processing

A Cosmed K4b<sup>2</sup> (Cosmed, Rome, Italy) portable gas exchange measurement system was used to continuously record cardiorespiratory parameters. This wireless system (weight 0.8 kg)

incorporates a sealed facemask placed over the mouth and nose, a transmitting unit containing O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> gas and a battery placed on the thorax of the participant (**Fig. 5.1**). The K4b<sup>2</sup> system has been proven to have good psychometric properties [17].

Additionally, a Polar heart rate (HR) monitor (Polar, Lachine, QC, Canada) combined with the Cosmed K4b<sup>2</sup> system was fastened around the chest of each participant for continuous HR monitoring. Blood pressure and peripheral oxygen saturation (O<sub>2</sub>Sat) were measured immediately after each PP to monitor vital signs. Finally, level of perceived exertion was assessed with the modified 10-point Borg RPE scale (0 = no exertion at all; 10 = maximal exertion) immediately after each PP [18].

#### **5.1.3.4. Outcome measures**

The main outcome measure was VO<sub>2</sub> averaged over the last 30 sec of each PP. Secondary outcome measures were HR, respiratory ratio (R), respiratory rate (RR), minute ventilation (V<sub>e</sub>) and tidal volume (V<sub>t</sub>) averaged over the last 30 sec and RPE measured at the end of each PP. Resting values were measured during the last 30 sec of a 2-min rest period before the beginning of the experimental task.

#### **5.1.3.5. Statistical analysis**

Descriptive statistics were calculated for all participant characteristics and outcome measures. The Shapiro-Wilk test with significance level  $p < 0.05$  was used to assess non-normal distribution. Then, to determine the effect of slope and speed changes, 4 x 3 ANOVA tests for repeated measures were used with a typical linear model for all outcome measures. In the absence of an interaction between variables, main effects were analyzed by post-hoc Bonferroni test with an adjusted family-wise alpha value. Each time an interaction was confirmed, single contrasts were analyzed by one-way ANOVA for each independent variable (slope and speed) and Student *t* test with an adjusted alpha value. To avoid removing participants from the study, missing values were estimated by imputation method based on a multiple regression analysis of each outcome measure for participants who completed all experimental tasks. Spearman rank correlation coefficients were then computed to determine the association between

cardiorespiratory measures and RPE for each PP. A correlation coefficient  $> 0.90$  was considered a very strong association. Finally, a stepwise multiple linear regression analysis based on  $VO_2$  measured across all slope and speed combinations was used to propose a set of stages for a future cardiorespiratory fitness test. All statistical analyzes involved use of IBM SPSS v24.0 for Windows.

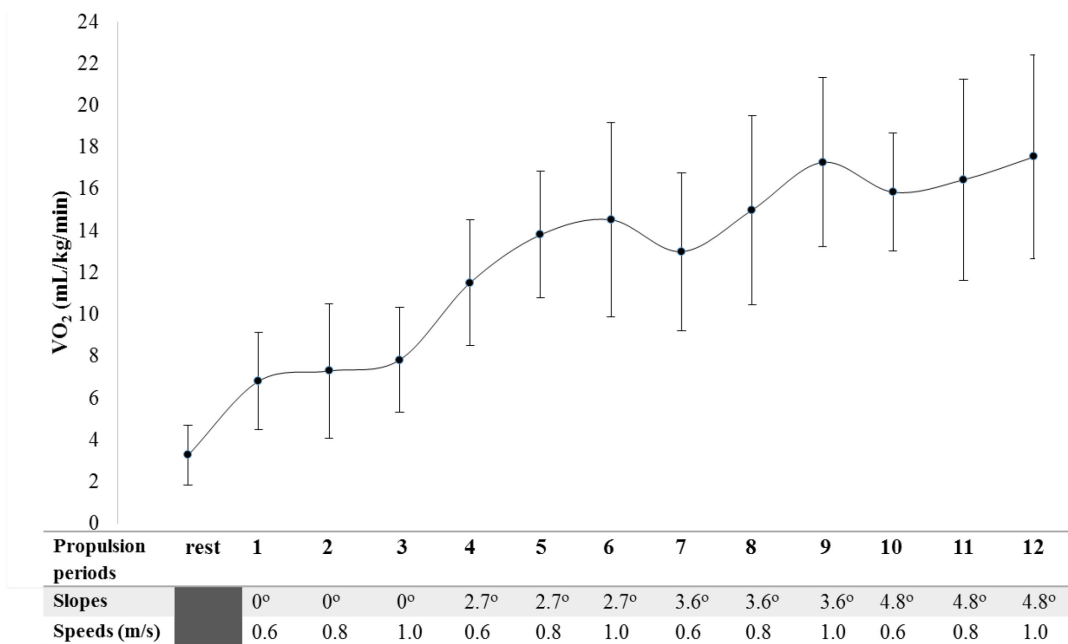
### 5.1.4. Results

In total, 14 participants (all males) successfully completed all 2-min PPs. Three participants had missing values for one or more PPs, for which estimated values were calculated. Data for cardiorespiratory measures are in **Tableau 5.2**, and the trajectory of changes in  $VO_{2peak}$  by speed and slope increments is illustrated in **Figure 5.2A**.

**Tableau 5.2** Cardiorespiratory measures for participants.

	$VO_{2peak}$ (ml/min/kg)	HR (pulses/min)	Respiratory rate (breaths/min)	R	Ve (l/min)	Vt (l)
Slope degree/ speed (m/s)	3.41±1.36	81±16	15.94±4.10	0.85±0.09	10.57±2.57	0.72±0.22
0°/0.6	7.09±2.05	108±25	22.93±7.48	0.95±0.11	23.41±8.16	1.04±0.24
0°/0.8	7.55±3.11	109±24	24.18±9.44	0.89±0.10	24.27±11.91	1.02±0.31
0°/1.0	8.05±2.40	115±21	26.78±9.25	0.95±0.09	28.52±9.77	1.11±0.19
2.7°/0.6	11.90±2.62	126±25	29.80±9.61	0.91±0.14	37.60±12.54	1.30±0.28
2.7°/0.8	14.27±2.38	137±22	31.90±12.19	0.94±0.10	44.09±15.96	1.46±0.38
2.7°/1.0	14.97±4.36	143±25	36.27±13.86	0.98±0.16	50.83±19.34	1.44±0.33
3.6°/0.6	13.29±3.66	136±23	34.00±11.84	0.93±0.10	43.80±14.22	1.31±0.23
3.6°/0.8	15.34±4.39	147±22	37.01±11.78	1.00±0.15	53.78±17.12	1.50±0.26
3.6°/1.0	17.70±3.73	151±20	40.85±14.36	1.09±0.16	63.97±22.24	1.61±0.30
4.8°/0.6	16.13±2.64	148±24	36.64±14.43	1.02±0.17	54.85±19.39	1.54±0.29
4.8°/0.8	16.70±4.81	150±19	39.22±15.53	1.07±0.19	57.22±18.94	1.55±0.28
4.8°/1.0	17.80±4.89	157±20	46.52±13.78	1.11±0.10	63.48±10.59	1.50±0.40

**A**



**B**

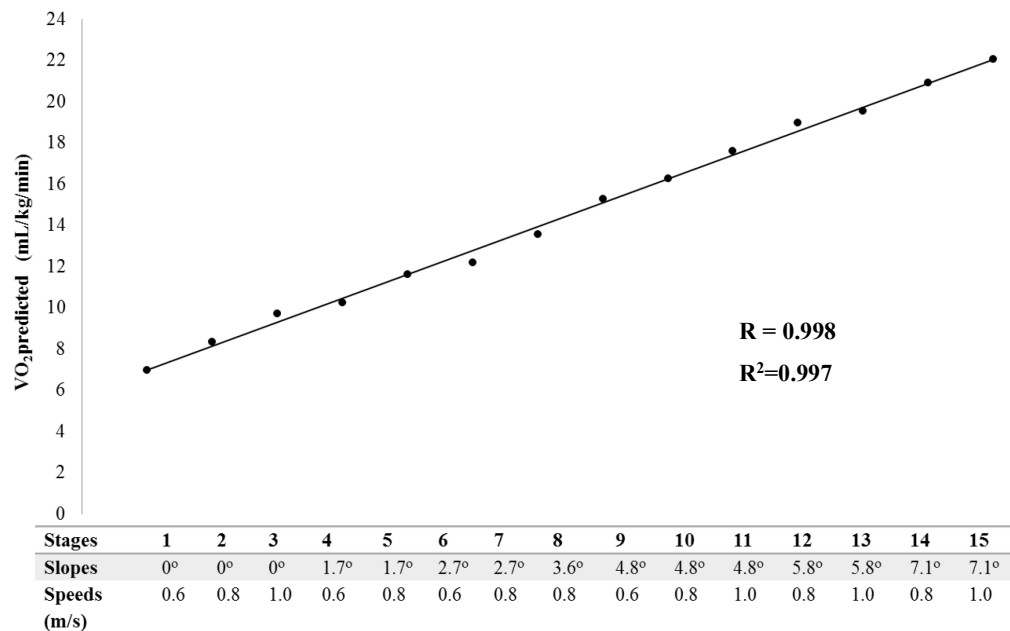


Figure 5.2 A: Evolution of VO<sub>2</sub> (mL/kg/min) during each trial. B: Proposed set of combinations of speed and slope for the new graded cardiorespiratory fitness assessment protocol.

#### 5.1.4.1. Effect of slope and speed on cardiorespiratory measures

Effect of slope and speed on  $\text{VO}_2$ , HR, RR, R,  $\text{Ve}$  and  $\text{Vt}$  are shown in **Figure 5.3**. For  $\text{VO}_2$ , a significant main effect of speed ( $F_{(2,17)}=29.992$ ,  $p<0.001$ ) and slope ( $F_{(3,17)}=86.295$ ,  $p<0.001$ ) was confirmed, with no interaction found ( $F_{(6,17)}=2.519$ ,  $p=0.136$ ). Specifically,  $\text{VO}_2$  significantly increased by speed ( $p<0.001$ ) and by slope from  $0^\circ$  to  $2.7^\circ$  and to  $3.6^\circ$  ( $p\leq 0.002$ ) but not between  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$  ( $p=0.105$ ). HR showed a significant main effect by speed ( $F_{(2,17)}=13.121$ ,  $p=0.000$ ) and slope ( $F_{(3,17)}=77.664$ ,  $p=0.000$ ), with no interaction ( $F_{(6,17)}=1.301$ ,  $p=0.279$ ). Specifically, HR significantly increased by speed ( $p<0.030$ ) and by between slope from  $0^\circ$  to  $2.7^\circ$  and  $3.6^\circ$  ( $p<0.000$ ) but not between  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$  ( $p=0.05$ ). RR showed a significant main effect by speed ( $F_{(2,17)}=21.449$ ,  $p=0.000$ ) and slope ( $F_{(3,17)}=24.726$ ,  $p=0.000$ ), with no interaction ( $F_{(6,17)}=0.945$ ,  $p=0.467$ ). Specifically, RR significantly increased only between 0.6 and 1.0 m/s ( $p<0.000$ ) and between 0.8 and 1.0 m/s ( $p=0.002$ ), with no significant difference between 0.6 and 0.8 m/s ( $p=0.071$ ) despite a marked trend. RR significantly increased between slope  $0^\circ$  and all other slopes ( $p\leq 0.001$ ), as well as between  $2.7^\circ$  and  $4.8^\circ$  ( $p=0.010$ ). RR increased but not significantly between  $2.7^\circ$  and  $3.6^\circ$  ( $p=0.055$ ) and between  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$  ( $p=0.057$ ). Finally, significant speed x slope interactions were found for R,  $\text{Ve}$  and  $\text{Vt}$ , ( $p\leq 0.05$ ). Overall, these variables were mainly increased with increased speed at  $3.6^\circ$  slope. Increased values were also observed at 0.6, 0.8 and 1.0 m/s between  $0^\circ$  and the three other slopes, particularly for  $\text{Ve}$  and  $\text{Vt}$ . Slope  $2.7^\circ$  and  $3.6^\circ$  findings did not differ, except for R at 1.0 m/s.

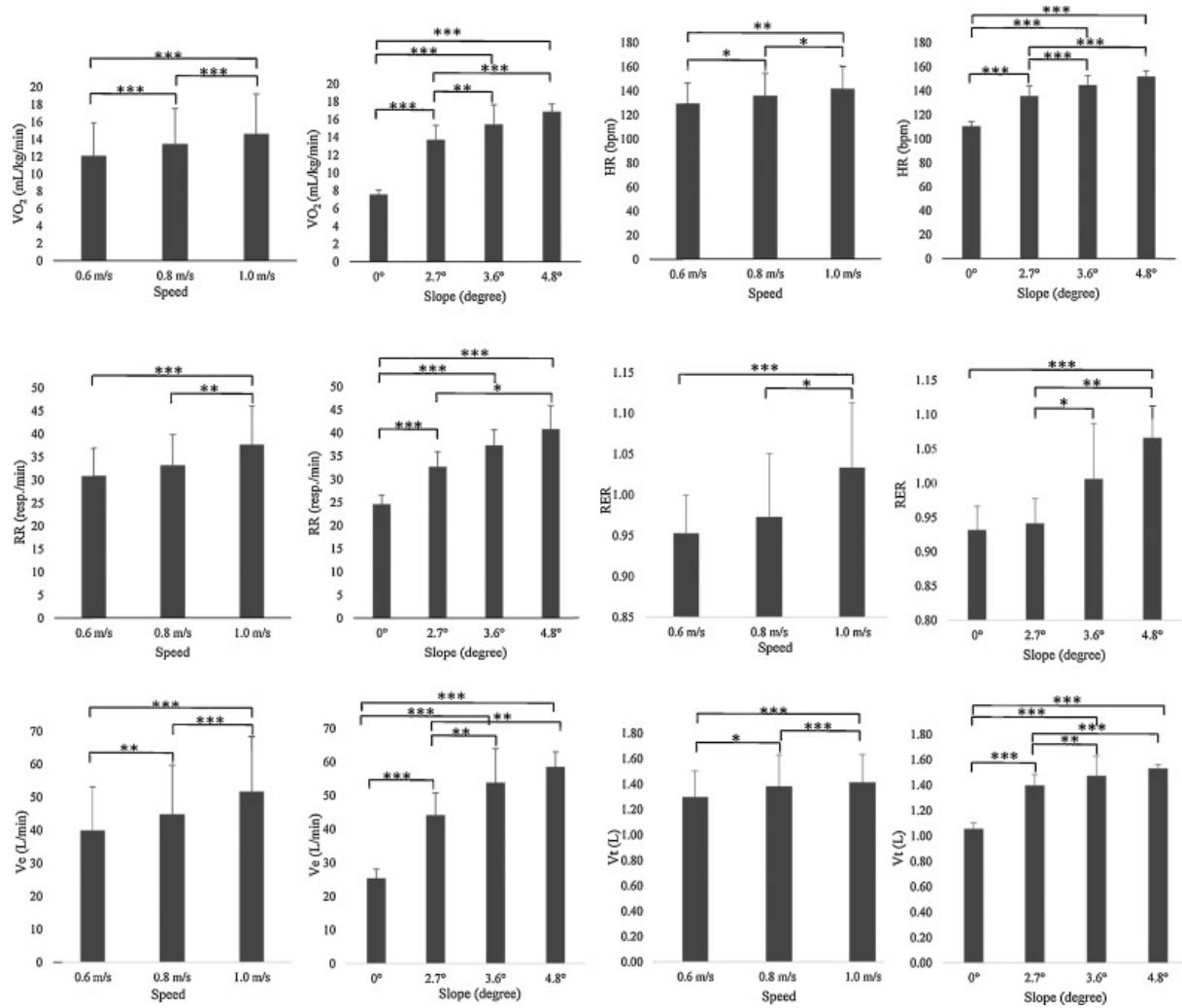


Figure 5.3 Changes in  $VO_2$  (ml/kg/min), HR (pulses/min) and RR (breath/min), R,  $V_e$  (l/min) and  $V_t$  (l) for each speed and slope.  $VO_2$ : oxygen uptake; HR: heart rate; R: respiratory ratio;  $V_e$ : minute ventilation;  $V_t$ : tidal volume. \* $P < 0.05$ , \*\* $P < 0.01$ , \*\*\* $P < 0.001$ .

#### 5.1.4.2. Relationship between main cardiorespiratory measures and RPE

RPE was strongly correlated with  $VO_2$  ( $r_s=0.96$ ;  $p<0.001$ ), HR ( $r_s=0.95$ ;  $p<0.001$ ), RR ( $r_s=0.95$ ;  $p<0.001$ ) and  $V_e$  ( $r_s=0.96$ ;  $p<0.001$ ). Additionally, RPE was strongly correlated with  $V_t$  ( $r_s=0.85$ ;  $p<0.001$ ) and R ( $r_s=0.874$ ;  $p<0.001$ ).

#### **5.1.4.3. Speed and slope as determinants and predictors of VO<sub>2</sub>**

An equation predicting VO<sub>2</sub> was generated on the basis of the results obtained during the tested slopes and speeds while MW users were propelling on the motorized treadmill:  $VO_{2\text{predicted}} = 2.899 + 6.803*\text{speed} + 1.93*\text{slope}$  (R=0.998; R<sup>2</sup>=0.997). The equation was used to simulate different potential speed and slope combinations (i.e., stages) leading to a progressive and linear increase in VO<sub>2</sub>. The potential stages with the greatest correlation are in **Figure 5.2B**. Because VO<sub>2</sub> increased greatly between slope 0° and 2.7° (>75% vs >14.3% between 2.7° and 3.6° and >6.3% between 3.8° and 4.8°), an additional slope, 1.7°, was added to assure progressive workload increments across stages. Moreover, two additional slopes (5.8° and 7.1°) were added to assess cardiorespiratory fitness that could exceed that with the present sample. Finally, certain safety characteristics were considered when the final stages were proposed (i.e., one parameter change at a time whenever possible, speed < 1 m/s and a gradual increase in slope).

#### **5.1.5. Discussion**

This study confirmed that cardiorespiratory measures would increase with slope and/or speed increments. Moreover, RPE was strongly correlated with cardiorespiratory measures, which further supports the use of the RPE for exercise monitoring during MW propulsion over a motorized treadmill. Finally, the study lays a foundation for the development of a test of motorized-treadmill MW incremental propulsion to measure cardiorespiratory fitness among MW users. This test could incorporate the proposed combinations of slopes (0°, 1.7°, 2.7°, 3.6°, 4.8°, 5.8° and 7.1°) and speeds (0.6, 0.8 and 1.0 m/s) to gradually increase the workload during motorized treadmill MW propulsion. Moreover, understanding the effect of these 2 propulsion parameters (i.e., slope and speed) on a motorized treadmill on the cardiorespiratory responses will be useful to develop personalized cardiorespiratory fitness training programs for MW users.

##### **5.1.5.1. Cardiorespiratory responses to exercise**

The cardiorespiratory responses measured in this study gradually increased with the increasing slope and speed of the motorized treadmill, with the greatest effect linked to slope

increments, and fully support our first hypothesis. These results agree with previous studies showing greater HR and  $\text{VO}_2$  with faster speeds and/or steeper slopes [19, 20]. This increase in HR and  $\text{VO}_2$  can be explained in part by the increased muscular demand that occurs with increasing speed and/or slope. Gagnon et al. [2] found increased muscular utilization ratio with steeper slope for most key propulsive muscles during motorized treadmill MW propulsion. Moreover, the authors determined that MW users significantly increased shoulder flexion and forward trunk flexion to adapt to increasing slopes, except for shoulder flexion between  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$  and trunk flexion between  $2.7^\circ$  and  $3.6^\circ$ , which remained similar. These findings agree with our results because our study found no significant difference between  $2.7^\circ$  and  $3.6^\circ$  or between  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$  slope for many of our outcome measures. Gagnon et al. [2] suggested that the increased forward trunk flexion may allow MW users to move their center of mass further anteriorly to prevent backward tilt and falls with increasing slope. Gagnon et al. [2] suggested that the increased shoulder flexion is an adaptation needed to preserve mechanical efficiency linked to the force application at the push rims as the forward trunk flexion increases. Qi et al. reported a significant increase in electromyographic intensity of propulsive muscles at the shoulder during propulsion on a MW ergometer at 1.6 versus 0.9 m/s [21]. The authors suggested that the greater electromyographic activity of the push muscles may contribute to greater propulsive force to meet the high mechanical demand during fast-speed MW propulsion. Their findings agree with those of Koontz et al., who reported higher peak forces and moments at the shoulder during MW propulsion on a MW ergometer at 1.8 versus 0.9 m/s [22].

Mean  $\text{VO}_2$  values were slightly lower (range 13.55–17.86 ml/kg/min) during the most strenuous PP than those reported in previous studies [23-25] targeting maximal physiological responses during arm-cranking (range 12.0–43.1 ml/kg/min), MW ergometer (range 8.9–41.0 ml/kg/min) and treadmill MW propulsion (24.8 ml/kg/min). Those differences are not surprising because the participants in this study completed PPs in a pre-determined random order to avoid cumulative fatigue and to gain a thorough understanding of the effects of slope and speed on cardiorespiratory responses. In this context, a 2-min rest period was also given between each PP to allow the cardiorespiratory measures to return to resting values. The maximal mean values of  $\text{VO}_2$  ( $\text{VO}_2 = 17.80 \pm 4.89$  ml/kg/min) and HR ( $\text{HR} = 157 \pm 20$  pulses/min) measured during this



study were achieved during the most intense workload combinations (i.e., 1.0 m/s on a slope of 4.8°). During this PP, mean R peak value was  $1.1 \pm 0.1$ , indicating maximal exercise. However, only half of the participants (8/17) reached the R threshold for maximal exercise (i.e.,  $R > 1.1$ ). Moreover, only 9 reached the HR threshold for maximal exercise (i.e.,  $HR_{\text{peak}} \geq 90\%$  of predicted  $HR_{\text{peak}}$  with the equation  $HR_{\text{peak}} = 220 - \text{age}$ ) [26].

#### **5.1.5.2. Rate of perceived exertion and exercise monitoring**

As hypothesized, the RPE measured with the modified Borg scale was positively associated with the cardiorespiratory responses. These results agree with previous studies reporting significant correlations between HR and RPE [7, 18]. In this study, the mean RPE for the most strenuous PP (i.e., 1.0 m/s on a slope of 4.8°) was  $7.5/10 \pm 2.3$ , which represents a high exertion level but not a maximal one. This finding is consistent with the fact that only 10 participants reached one of the criteria for maximal exercise during that PP. This result supports the decision to propose additional stages with steeper slopes into a future test for individuals with very good cardiorespiratory fitness to reach their maximal exercise level. Finally, the 10-point modified Borg scale might be a good option for easily and accurately controlling the exercise intensity based on RPE during MW propulsion testing or training.

#### **5.1.5.3. A future testing protocol**

Quantifying cardiorespiratory responses and RPE linked to different slopes and speeds allowed for informing the development of a future testing protocol to assess cardiorespiratory fitness with a treadmill-based incremental wheelchair propulsion test in MW users. The proposed test was developed by using a linear regression equation to achieve maximal values with a continuous ramp test. It includes 15, 1-min stages. A continuous ramp test was chosen over a discontinuous test because the former allows for a stronger linear relationship between RPE and  $VO_2$  [27, 28]. One-minute increments were selected because a short duration and frequent increments in workload are recommended [27]. Moreover, Maher et al. found comparable results using 3- or 1-min stages during an arm ergometer test [29]: MW users

preferred 1- to 3-min stages and the 1-min stage protocol had a smaller margin of error when protocols were individualized (i.e., starting stage).

The slopes initially chosen were similar to ramps encountered in daily life. However, these slopes did not necessarily lead to evenly progressive increases in workload. To overcome this challenge, intermediate slopes need to be added. Because the cardiorespiratory measures predominantly increased between  $0^\circ$  and  $2.7^\circ$ , an intermediate slope of  $1.7^\circ$  could be added in a future protocol. This slope was selected because the linear relationship with the  $VO_2$  was preserved. Because the study found few differences in the outcome measures between PPs with slopes  $3.6^\circ$  and  $4.8^\circ$ , only the  $3.6^\circ$  slope and 0.8 m/s speed combination was retained in the suggested testing protocol. Considering that many participants did not reach the HR or RPE criteria of maximal exertion, additional stages with slopes  $5.8^\circ$  and  $7.1^\circ$  combined with speeds 0.8 and 1.0 m/s were also added.

Speed was not modified from the initial protocol because 1.0 m/s is likely sufficient for MW propulsion on an incline, considering that a typical self-selected speed on a flat ground ranges from 0.94 to 1.17 m/s [3, 30]. Moreover, maximal cardiorespiratory fitness tests for MW users on a treadmill using only increments of speed would require MW users to reach very fast speeds and would greatly compromise safety as well as the propulsion technique. The proposed test is compatible with the conclusion of Hartung et al., who suggest a test that combines speed and slope increments to achieve maximal physiological responses [31]. All tested stages were evaluated in a random order, so a future study should evaluate the cardiorespiratory responses of the proposed stages performed in a progressive and continuous order as typically performed during a cardiorespiratory fitness test. Moreover, future research is needed to investigate the safety, feasibility, accuracy and psychometric properties of the proposed test.

Certain study limitations need to be considered in the context of the present study and for further investigations. The sample size was relatively small and included only MW users with a spinal cord injury with various levels of experience; most were well experienced. Hence, caution is warranted in generalizing the results to other MW user populations, especially new

MW users, and those with a high-level spinal cord injury because the upper extremities and autonomic reflex system may be impaired. Participants using their own MW and strategy to propel themselves may also deserve attention. Although this situation could be considered ecological, the difference in the characteristics of MWs (i.e., weight, friction [32]) and participants' position and type of cushion within their own MW, which influence the upper-limb muscular demand [33, 34], could affect cardiorespiratory values.

### **5.1.6. Conclusions**

Increasing speed and slope while propelling a MW on a motorized treadmill increases  $VO_2$  and other cardiorespiratory responses along with the RPE. The  $VO_2$  can be predicted to some extent by speeds and slopes during MW propulsion. This finding informed the development of a future testing protocol to assess cardiorespiratory fitness during motorized MW propulsion.

### **Acknowledgements**

C.G. is supported by a doctoral scholarship from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR). D.G. co-chairs the Initiative for the Development of New Technologies and Practices in Rehabilitation (INSPIRE) funded by the LRH Foundation and co-led the Rehabilitation Interventions for Individuals with a SCI in the Community research team funded by the Ontario Neurotrauma Foundation and the Quebec Rehabilitation Research Network. The equipment and material required to complete this project were financed in part by the Canada Foundation for Innovation.

### 5.1.7. References

1. Mason, B., et al., *A physiological and biomechanical comparison of over-ground, treadmill and ergometer wheelchair propulsion*. J Sports Sci, 2014. **32**(1): p. 78-91.
2. Gagnon, D., et al., *Trunk and shoulder kinematic and kinetic and electromyographic adaptations to slope increase during motorized treadmill propulsion among manual wheelchair users with a spinal cord injury*. Biomed Res Int, 2015. **2015**: p. 636319.
3. Gagnon, D.H., et al., *Pushrim biomechanical changes with progressive increases in slope during motorized treadmill manual wheelchair propulsion in individuals with spinal cord injury*. J Rehabil Res Dev, 2014. **51**(5): p. 789-802.
4. Schriecks, I.C., M.J. Barnes, and L.D. Hodges, *Comparison study of treadmill versus arm ergometry*. Clin Physiol Funct Imaging, 2011. **31**(4): p. 326-31.
5. Price, M.J., et al., *The effects of an increasing versus constant crank rate on peak physiological responses during incremental arm crank ergometry*. J Sports Sci, 2011. **29**(3): p. 263-9.
6. Torhaug, T., et al., *Arm Crank and Wheelchair Ergometry Produce Similar Peak Oxygen Uptake but Different Work Economy Values in Individuals with Spinal Cord Injury*. Biomed Res Int, 2016. **2016**: p. 5481843.
7. Grange, C.C., et al., *Perceived exertion and rehabilitation with wheelchair ergometer: comparison between patients with spinal cord injury and healthy subjects*. Spinal Cord, 2002. **40**(10): p. 513-8.
8. Bougenot, M.P., et al., *Effects of a wheelchair ergometer training programme on spinal cord-injured persons*. Spinal Cord, 2003. **41**(8): p. 451-6.
9. van den Berg, R., et al., *Physical capacity after 7 weeks of low-intensity wheelchair training*. Disabil Rehabil, 2010. **32**(26): p. 2244-52.
10. Hintzy, F., N. Tordi, and S. Perrey, *Muscular efficiency during arm cranking and wheelchair exercise: a comparison*. Int J Sports Med, 2002. **23**(6): p. 408-14.
11. Faupin, A., P. Gorce, and C. Meyer, *Effects of type and mode of propulsion on hand-cycling biomechanics in nondisabled subjects*. J Rehabil Res Dev, 2011. **48**(9): p. 1049-60.
12. Kaminsky, L.A. and M.H. Whaley, *Evaluation of a new standardized ramp protocol: the BSU/Bruce Ramp protocol*. J Cardiopulm Rehabil, 1998. **18**(6): p. 438-44.
13. Cooper, C.B., et al., *Development and implementation of treadmill exercise testing protocols in COPD*. Int J Chron Obstruct Pulmon Dis, 2010. **5**: p. 375-85.
14. Kwarciak, A.M., et al., *Comparing handrim biomechanics for treadmill and overground wheelchair propulsion*. Spinal Cord, 2011. **49**(3): p. 457-62.

15. Curtis, K.A., et al., *Reliability and validity of the Wheelchair User's Shoulder Pain Index (WUSPI)*. Paraplegia, 1995. **33**(10): p. 595-601.
16. Rousseau, J., R. Assaoui, and D. Bourbonnais, *Measuring the Effort Needed to Climb Access Ramps in a Manual Wheelchair*. Canada Mortgage and Housing Corporation 2003. **60**(05-011).
17. Duffield, R., et al., *Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system*. J Sci Med Sport, 2004. **7**(1): p. 11-22.
18. Borg, G., *Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion*. Scand J Work Environ Health, 1990. **16 Suppl 1**: p. 55-8.
19. Knechtle, B. and W. Kopfli, *Treadmill exercise testing with increasing inclination as exercise protocol for wheelchair athletes*. Spinal Cord, 2001. **39**(12): p. 633-6.
20. Kerk, J.K., et al., *Effect of an abdominal binder during wheelchair exercise*. Med Sci Sports Exerc, 1995. **27**(6): p. 913-9.
21. Qi, L., et al., *Changes in surface electromyography signals and kinetics associated with progression of fatigue at two speeds during wheelchair propulsion*. J Rehabil Res Dev, 2012. **49**(1): p. 23-34.
22. Koontz, A.M., et al., *Shoulder kinematics and kinetics during two speeds of wheelchair propulsion*. J Rehabil Res Dev, 2002. **39**(6): p. 635-49.
23. Theisen, D., *Spinal cord injury physical activity and quality of life*. Science & sports, 2006. **21**(4): p. 221-5.
24. Gass, E.M., L.A. Harvey, and G.C. Gass, *Maximal physiological responses during arm cranking and treadmill wheelchair propulsion in T4-T6 paraplegic men*. Paraplegia, 1995. **33**(5): p. 267-70.
25. Glaser, R.M., et al., *Physiological responses to maximal effort wheelchair and arm crank ergometry*. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1980. **48**(6): p. 1060-4.
26. Neves, C.D., et al., *Cardiorespiratory responses and prediction of peak oxygen uptake during the shuttle walking test in healthy sedentary adult men*. PLoS One, 2015. **10**(2): p. e0117563.
27. Myers, J. and D. Bellin, *Ramp exercise protocols for clinical and cardiopulmonary exercise testing*. Sports Med, 2000. **30**(1): p. 23-9.
28. Myers, J., et al., *Comparison of the ramp versus standard exercise protocols*. J Am Coll Cardiol, 1991. **17**(6): p. 1334-42.
29. Maher, J.L. and R.E. Cowan, *Comparison of 1- Versus 3-Minute Stage Duration During Arm Ergometry in Individuals With Spinal Cord Injury*. Arch Phys Med Rehabil, 2016.
30. Moon, Y., et al., *Variability of peak shoulder force during wheelchair propulsion in manual wheelchair users with and without shoulder pain*. Clin Biomech, 2013. **28**(9-10): p. 967-72.

31. Hartung, G.H., D.A. Lally, and R.J. Blancq, *Comparison of treadmill exercise testing protocols for wheelchair users*. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1993. **66**(4): p. 362-5.
32. van der Woude, L.H., et al., *Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion*. Med Eng Phys, 2001. **23**(10): p. 713-33.
33. Masse, L.C., M. Lamontagne, and M.D. O'Riain, *Biomechanical analysis of wheelchair propulsion for various seating positions*. J Rehabil Res Dev, 1992. **29**(3): p. 12-28.
34. van der Woude, L.H., et al., *Wheelchair racing: effects of rim diameter and speed on physiology and technique*. Med Sci Sports Exerc, 1988. **20**(5): p. 492-500.

## **5.2. Article #2: Reliability and minimal detectable change of a new treadmill-based progressive workload incremental test to measure cardiorespiratory fitness in manual wheelchair users**

Cindy Gauthier<sup>1,2</sup>, Jasmine Arel<sup>1,2</sup>, Rachel Brosseau<sup>1,3</sup>, Audrey L. Hicks<sup>4</sup>, Dany H. Gagnon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> École de réadaptation ([www.umontreal.readap.ca](http://www.umontreal.readap.ca)), Université de Montréal, QC, Canada

<sup>2</sup> Laboratoire de pathokinésiologie ([www.pathokin.ca](http://www.pathokin.ca)), Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR) Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, CIUSSS Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> Institut de cardiologie de Montréal, Montréal, QC, Canada

<sup>4</sup> Department of Kinesiology, McMaster University, Hamilton, ON, Canada

Article publié dans *The Journal of Spinal Cord Medicine* (2017) *Nov*;40(6):759-767.

En tant qu'auteure principale, je confirme mon apport considérable et majoritaire à chacune des étapes ayant mené à la rédaction de cet article, ce qui inclut le développement du protocole, les collectes de données, le traitement et l'analyse des données, l'interprétation finale des résultats et la rédaction du manuscrit. Dr Dany Gagnon a encadré et supervisé chacune des étapes de l'étude et a contribué à l'analyse, à l'interprétation des données ainsi qu'à la révision de cet article. Jasmine Arel a participé aux collectes de données, au traitement des données. Tous les auteurs ont participé à l'interprétation des données et à la rédaction de l'article.

### 5.2.1. Abstract

**Background:** Cardiorespiratory fitness training is commonly provided to manual wheelchair users (MWUs) in rehabilitation and physical activity programs, emphasizing the need for a reliable task-specific incremental wheelchair propulsion test.

**Objective:** Quantifying test-retest reliability and minimal detectable change (MDC) of key cardiorespiratory fitness measures following performance of a newly developed continuous treadmill-based wheelchair propulsion test (WPT<sub>Treadmill</sub>).

**Methods:** Twenty-five MWUs completed the WPT<sub>Treadmill</sub> on two separate occasions within one week. During these tests, participants continuously propelled their wheelchair on a motorized treadmill while the exercise intensity was gradually increased every minute until exhaustion by changing the slope and/or speed according to a standardized protocol. Peak oxygen consumption (VO<sub>2peak</sub>), carbon dioxide production (VCO<sub>2peak</sub>), respiratory exchange ratio (RER<sub>peak</sub>), minute ventilation (VE<sub>peak</sub>) and heart rate (HR<sub>peak</sub>) were computed. Time to exhaustion (TTE) and number of increments completed were also measured. Intra-class correlation coefficients (ICC) were calculated to determine test-retest reliability. Standard error of measurement (SEM) and MDC<sub>90%</sub> values were calculated.

**Results:** Excellent test-retest reliability was reached for almost all outcome measures (ICC=0.91-0.76), except for RER<sub>peak</sub> (ICC=0.58), which reached good reliability. TTE (ICC=0.89) and number of increments (ICC=0.91) also reached excellent test-retest reliability. For the main outcome measures (VO<sub>2peak</sub> and TTE), absolute SEM was 2.27 mL/kg/min and 0.76 minutes, respectively and absolute MDC<sub>90%</sub> was 5.30 mL/kg/min and 1.77 minutes, respectively.

**Conclusion:** The WPT<sub>Treadmill</sub> is a reliable test to assess cardiorespiratory fitness among MWUs. TTE and number of increments could be used as reliable outcome measures when VO<sub>2</sub> measurement is not possible.

**Key words:** wheelchairs; exercise test; rehabilitation; cardiorespiratory fitness



## 5.2.2. Introduction

A large proportion of individuals with neurological or lower limb impairments will use a manual wheelchair (MW) as a primary means of mobility. Independent and functional MW propulsion requires adequate physical capacity including good muscle strength and cardiorespiratory fitness.<sup>1</sup> However, manual wheelchairs users (MWUs) often adopt a sedentary lifestyle and have reduced physical capacity.<sup>2,3</sup> Consequently, most MWUs have an impaired cardiorespiratory fitness level and are exposed to a higher risk of secondary cardiorespiratory or endocrine-metabolic complications than ambulatory individuals.<sup>4-7</sup> Increasing physical capacity is an important objective for new MWUs during rehabilitation and for long-term MWUs living in the community. Thereafter encouraging them to participate in physical activity programs and to remain physically active is crucial.<sup>8,9</sup>

Cardiorespiratory fitness assessments among MWUs are essential to provide a personalized cardiorespiratory fitness training program for this population and to assess their impact. In most clinical and research settings, arm crank ergometers are typically used to test the cardiorespiratory fitness of MWUs.<sup>10,11</sup> However, arm crank ergometer requirements considerably differ from those of MW propulsion. For example, arm crank movements are asynchronous and involve a continuous push and pull application of force, whereas MW propulsion is synchronous and includes push and recovery phases.<sup>12</sup>

Stationary rollers for MW propulsion can also be used to assess cardiorespiratory fitness.<sup>13-15</sup> This device closely replicates the requirements of level-ground propulsion comparatively to the arm crank ergometer. However, the wheelchair is rigidly fixed on the rollers and it allows only for level-ground propulsion so trunk movements and their associated inertial effects are reduced compared to overground propulsion.<sup>16,17</sup> Moreover, MWUs frequently encounter slopes such as access ramps and inclined surfaces in their everyday lives.<sup>18</sup> During propulsion over slopes, the recruitment of the trunk muscles is increased and thus the energy requirements.<sup>19</sup> Hence, using slope increments during the assessment of the cardiorespiratory fitness represents a strategy to increase workload and reach higher values.

A new treadmill-based MW propulsion progressive workload incremental test (WPT<sub>Treadmill</sub>) has recently been developed to assess the cardiorespiratory fitness of MWUs<sup>20</sup>. During this task-specific incremental test, individuals propel their own MW over a motorized treadmill set at different speed and slope combinations. The exercise intensity is gradually increased every minute until exhaustion, by changing the slope or speed according to a standardized protocol. This test allows for an assessment of cardiorespiratory fitness during MW propulsion and closely replicates everyday activity of MWUs.

The objective of this study was to quantify test-retest reliability and minimal detectable change (MDC) of the WPT<sub>Treadmill</sub> in order to verify if MWUs can consistently perform the WPT<sub>Treadmill</sub> and to determine the smallest amount of change required between tests to confirm a true change (i.e., exceeding measurement error). To achieve this objective, the peak oxygen consumption (VO<sub>2peak</sub>) along with other cardiorespiratory responses, time to exhaustion (TTE) and number of increments measured during the performance of two WPT<sub>Treadmill</sub> tests conducted 2-7 days apart were compared. It was expected that the WPT<sub>Treadmill</sub> would be reliable (i.e., intra-class correlation coefficient (ICC)  $\geq 0.75$ ) and detect change (i.e., MDC  $\leq 30\%$ ) when comparing VO<sub>2peak</sub> and other cardiorespiratory responses, TTE, and number of increments between the performance of two WPT<sub>Treadmill</sub> among MWUs.

### **5.2.3. Methods**

#### **5.2.3.1. Participants**

Twenty-five MWUs (21 males and 4 females) participated in this study. The participants were individuals undergoing intensive inpatient functional rehabilitation (n=11) or living in the community (n=14). Participants undergoing rehabilitation were recruited at an installation of the CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal–Site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM). Whereas participants living in the community were recruited from a list of individuals who previously participated in research project(s) and accepted to be contacted again. Each MWU underwent a clinical assessment performed by a physiotherapist to ensure eligibility for this study and to collect personal characteristics (age, type of injury, time since injury, level of physical activity) and anthropometric parameters (mass and height) (Tableau

5.3). Individuals were eligible to participate in this study if they used a MW as a primary means of mobility (i.e., at least 4 hours per day<sup>21</sup>) and were using both upper limbs to propel. Potential participants with medical contraindications to a cardiorespiratory fitness assessment and training according to American College of Sports Medicine (ACSM) standards<sup>22</sup> or individuals who responded positively to at least one item on the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q) and did not have medical clearance for physical activity<sup>23</sup> were excluded from the study. Moreover, each participant completed the Wheelchair User's Shoulder Pain Index (WUSPI)<sup>24</sup> before beginning the experimental task in order to ensure the absence of significant shoulder pain during functional activities such as propelling a MW. Participants were excluded if their shoulder pain was greater than 5/10 for question 5 ("Pushing your chair for 10 minutes or more?") and 6 ("Pushing up ramps or inclines outdoors?") of the WUSPI. In addition, participants with any other type of pain or major musculoskeletal impairment or condition (cognitive or visual impairment) that could limit the performance of the experimental tasks were excluded from the study. The study was conducted at the Pathokinesiology Laboratory of the Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal (CRIR) located at the CIUSSS-IRGLM. Ethical approval was obtained from the Research Ethics Committee of the CRIR (#943-0314). All participants reviewed and signed the informed consent form before entering the study.

**Tableau 5.3 Characteristics of participants**

Participants	Gender	Age (Years)	Height (m)	Mass (Kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Time since injury (Years)	Disorder	ASIA		WUSPI /20
								Neurological level	AIS	
1	M	36.4	1.7	63.6	22.0	7.00	SCI	C7	B	0
2	M	61.3	1.74	64.9	21.4	39.92	SCI	T5	A	0
3	M	23.6	1.81	48.6	14.8	23.58	Charcot- Marie- Tooth	--	--	0
4	M	34.8	1.78	67.6	21.3	10.83	SCI	T4	A	0
5	F	24.9	1.65	66	24.2	24.92	Cerebral Palsy	--	--	0
6	M	37.8	1.77	69	22.0	13.75	SCI	T6	D	1.7
7	M	50.9	1.85	100	29.2	0.17	Cauda equina syndrome	--	--	0
8	M	40.1	1.81	86	26.3	9.67	SCI	T6	C	0
9	M	57.8	1.73	83.5	27.9	25.75	SCI	T12	A	5
10	F	28.4	1.71	52	17.8	0.42	SCI	T12	D	0
11	M	27.5	1.77	47	15.0	0.33	SCI	C6	D	0
12	M	35.4	1.92	82	22.2	10.08	SCI	T12	C	0
13	M	56.7	1.72	78.88	26.7	1.33	SCI	T7	A	3.5
14	F	45.8	1.67	90.5	32.5	0.33	SCI	T4	A	4.4
15	M	38.9	1.85	82.6	24.1	3.75	SCI	T10	A	2.7
16	M	28.8	1.8	70.5	21.8	0.75	SCI	C7	C	0
17	M	62.6	1.74	79.2	26.2	0.58	SCI	C5	D	0
18	M	42.4	1.77	62.4	19.9	0.42	SCI	L5	C	0
19	M	22.3	1.77	73.8	23.6	0.00	SCI	L5	C	0.4
20	M	28.7	1.78	64	20.2	0.08	SCI	T5	B	0.6
21	M	28.6	1.7	77.1	26.7	3.00	SCI	C8	A	2.3
22	M	25.1	1.75	61.3	20.0	0.08	SCI	T12	A	0.1
23	M	18.4	1.83	70.1	20.9	0.08	SCI	L1	D	0
24	F	26.1	1.61	63	24.3	2.42	SCI	D6	A	0
25	M	32.4	1.92	90,2	24.5	8.08	SCI	D6	A	0
Mean		35.3	1.77	71.75	22.96	7.64				0.8
SD		14.9	0.08	13.29	4.18	10.84				1.5

\*A = No motor or sensory function is preserved below neurological level. B = Sensory function is preserved but motor function is not preserved below neurological level. C = Motor and sensory functions are preserved below neurological level. AIS = American Spinal Injury Association Injury Scale. ASIA = American Spinal Injury Association. F = female. M = male. SD = standard deviation. T = thoracic. WUSPI = Wheelchair User's Shoulder Pain Index, total score of question 5 (/10) and 6 (/10).

### **5.2.3.2. Study design**

To assess the test-retest reliability of  $WPT_{Treadmill}$ , participants performed the test on two separate occasions (i.e., first  $WPT_{Treadmill}$  test (T1) and second  $WPT_{Treadmill}$  test (T2)) within two to seven days. Both tests were performed at the same time of the day ( $\pm$  one hour) to limit the impact of the circadian rhythm on the measurement of cardiorespiratory responses.<sup>25</sup> All participants were asked to avoid consuming caffeine or alcohol at least two hours prior to each test and were instructed to refrain from intense exercise the day before the test.<sup>26</sup>

### **5.2.3.3. Treadmill-based wheelchair propulsion test**

The  $WPT_{Treadmill}$  was performed on a dual-belt motorized treadmill (Bertec Corporation, Columbus, Ohio, United States) (width = 0.84 m; length = 1.8 m) adapted for safe MW propulsion. The MW was anchored with elastic bands to a bilateral frictionless gliding safety system to prevent excessive anteroposterior and rotational movements of the MW without altering the natural propelling strategies of each participant (Figure 5.4). In addition, one research associate supervised the participants closely to ensure safety and provide encouragement during the test. Prior to the test, participants had a two-minute warm-up on the motorized treadmill to become familiarized with each speed and slope included in the protocol. During the  $WPT_{Treadmill}$ , the exercise workload gradually intensified by increasing the treadmill slope ( $0^\circ$ ,  $1.7^\circ$ ,  $2.9^\circ$ ,  $3.6^\circ$ ,  $4.8^\circ$ ,  $5.8^\circ$  to  $7.1^\circ$ ) or the speed (0.6m/s, 0.8m/s and 1m/s) every minute in a standardized manner (Tableau 5.4) as determined in a previous study.<sup>27</sup> Participants were asked to propel their own MW until exhaustion. The test ended when the participants were unable to match the treadmill's speed during MW propulsion (i.e., elastic bands were stretched and retain the wheelchair) or if any signs or symptoms for exercise intolerance developed.<sup>28</sup> At the end of the test, heart rate and blood pressure were monitored for at least five minutes to ensure participants returned to clinically acceptable resting values.



Figure 5.4 Experimental setting

Tableau 5.4 Cardiorespiratory fitness wheelchair test protocol

<i>Increments (60 sec)</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Slopes (°)</i>	0°	0°	0°	1.7°	1.7°	2.9°	2.9°	3.6°	4.8°	4.8°	4.8°	5.8°	5.8°	7.1°	7.1°
<i>Speeds (m/s)</i>	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	0.6	0.8	0.8	0.6	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0

#### 5.2.3.3.1. Instrumentation and main outcome measures

During the WPT<sub>Treadmill</sub>, each participant was equipped with a portable gas analysis system (Cosmed K4b<sup>2</sup>; Cosmed, Rome, Italy), previously calibrated according to manufacturer recommendations, in order to measure their cardiorespiratory responses. This system allows breath-by-breath measurement of oxygen uptake (VO<sub>2</sub>, mL/kg/min and mL/min), carbon dioxide production (VCO<sub>2</sub>, mL/min), minute ventilation (VE, L/min) and respiratory exchange ratio (RER). The Cosmed K4b<sup>2</sup> is a valid and reliable system for measuring gas exchange during

exercise.<sup>29</sup> Heart rate (HR, bpm) was monitored using the Polar® Soft Strap heart rate monitor (Polar FT4; Polar, Lachine, Canada) placed around the chest whereas O<sub>2</sub> saturation was monitored using an earlobe pulse oximeter (Nonin model 8500; Nonin, Minnesota, USA). Participants were asked to rate their perceived muscular exertion (RPE<sub>muscle</sub>) and their perceived cardiorespiratory exertion (RPE<sub>cardio</sub>) separately, using the Modified Borg Scale (/10).<sup>30</sup>

Peak values of VO<sub>2</sub> (VO<sub>2peak</sub>), VCO<sub>2</sub> (VCO<sub>2peak</sub>), HR (HR<sub>peak</sub>), RER (RER<sub>peak</sub>) and VE (VE<sub>peak</sub>) were determined using the peak 20-second average over the test. Moreover, RPE<sub>muscle</sub>, RPE<sub>cardio</sub>, time to exhaustion (TTE) expressed in minutes and number of increments completed were measured at the end of each test. Exertion was considered to be maximal if participants had reached RER > 1.1 or if a plateau in VO<sub>2</sub> was reached (change < 2.1 mL/kg/min) with an increase in exercise intensity.<sup>31</sup> VO<sub>2peak</sub> and TTE were defined as the main outcome measures in this study.

#### **5.2.3.4. Statistical analysis**

Descriptive statistics were calculated for demographics, clinical characteristics and outcome measures and were expressed as a mean (standard deviation (SD)). The Shapiro-Wilk test was used to confirm the normal distribution of the data (P < 0.05) prior to performing the student paired t-test (or the Wilcoxon test when appropriate) to compare outcome measures obtained during T1 and T2. To assess the test-retest reliability, intra-class coefficients (ICC) for absolute agreement with a 95% confidence interval were performed. ICC values were considered to be excellent if > 0.75, fair to good between 0.40-0.75 and poor if < 0.40.<sup>32</sup> Standard error of measurements (SEM) were then calculated before determining the MDC of each outcome measure. Absolute MDC (MDC<sub>90%-abs</sub>) was calculated ( $MDC = SEM * z_{90\%} * \sqrt{2}$ ) to determine the magnitude of the absolute change required to detect a difference that would represent a "real" change, exceeding the measurement error between the two trials. In order for the MDC to be easily interpreted from a clinical point of view, it was expressed as a percentage (MDC<sub>90%-rel</sub>). Bland-Altman plots were used to determine the limits of agreement between the main outcome measures obtained during T1 and T2. A P value of < 0.05 was considered

statistically significant. All statistical analyses were performed using SPSS Statistics 23.0 for Windows.

#### **5.2.4. Results**

Of the twenty-five participants, twenty-two participants had a spinal cord injury (SCI), one participant had cauda equine syndrome, one had Charcot-Marie-Tooth disease and one had cerebral palsy. Most participants were men (21/25) and the mean age was  $35.3 \pm 14.9$  years. Eleven participants were physically active (i.e., were participating in physical activity at least three times per week for more than 30 minutes<sup>22</sup>) while the other were not physically active. None of the participants had previously completed a maximal cardiorespiratory fitness test using upper limbs. Participant characteristics are summarized in Tableau 5.3.

All participants performed the WPT<sub>Treadmill</sub> twice within  $4.60 \pm 2.02$  days and no adverse events occurred during the tests. All participants successfully completed the WPT<sub>Treadmill</sub> since they met at least one of the criteria for the maximal exercise test. Actually, all participants reached  $R \geq 1.1$  (mean R for T1 =  $1.49 \pm 0.23$  and mean R for T2 =  $1.46 \pm 0.27$ ), except for one participant during T2 who reached 0.98 but reached a VO<sub>2</sub> plateau (i.e., change in VO<sub>2</sub> with an increase in intensity of less than 2.1 ml/kg/min). During this study, the test was stopped by the research team for only one participant because his oxygen saturation level fell below the threshold of 88%.<sup>22</sup> His results were kept since he had met maximal exertion criteria when the test was stopped. The results obtained during the first WPT<sub>Treadmill</sub> and the second WPT<sub>Treadmill</sub> are shown in Tableau 5.5. Due to equipment issues during the tests, HR was successfully recorded for only 13/25 participants. There were no significant differences between T1 and T2 for any outcomes measures ( $P \geq 0.297$ ) (Tableau 5.5).



**Tableau 5.5 Mean values for T1 and T2**

		T1	T2	P value
VO <sub>2</sub> /kg <sub>peak</sub> (ml/kg/min n = 25		17.90 (5.28)	18.24 (6.00)	0.608
Time to exhaustion (min)	n = 25	8.92 (2.42)	8.99 (2.24)	0.740
VO <sub>2peak</sub> (ml/min)	n = 25	1287.29 (425.55)	1297.92 (424.28)	0.819
VCO <sub>2peak</sub> (ml/min)	n = 25	1663.17 (536.02)	1625.95 (651.74)	0.658
HR <sub>peak</sub> (bpm)	n = 13	167.23 (21.92)	171.00 (17.22)	0.528
RER <sub>peak</sub>	n = 25	1.49 (0.23)	1.46 (0.27)	0.482
VE <sub>peak</sub> (L/min)	n = 25	69.19 (20.62)	70.73 (24.64)	0.584
RPE <sub>muscle</sub> (/10)	n = 25	8.48 (1.48)	8.08 (1.85)	0.179
RPE <sub>cardio</sub> (/10)	n = 25	7.16 (1.99)	7.24 (2.07)	0.784
Increments	n = 25	8.84 (2.46)	8.80 (2.24)	0.846

In order to quantify the reliability of the outcome measures obtained during T1 and T2, ICC values were calculated. ICC for the main outcome measures of VO<sub>2</sub> and the TTE were excellent, with values of 0.835 (95% confidence interval (CI) 0.662-0.924; P < 0.000) and 0.891 (95% CI 0.768-0.950; P < 0,000), respectively (Tableau 5.6). ICC for the secondary outcome measures were good to excellent (ICC 0.583-0.909). SEM and the MDC expressed in absolute and relative values for each outcome measure are shown in Tableau 5.6.

**Tableau 5.6 Intra-class correlation coefficients and minimal detectable change between T1 and T2**

			ICC	P value	SEM	MDC <sub>90%</sub> -abs	MDC <sub>90%</sub> -rel
VO <sub>2</sub> /kg <sub>peak</sub> (mL/kg/min)	All participants	n = 25	0.835 [0.662-0.924]	0.000	2.27	5.30	29.35%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.776 [0.326-0.944]	0.003	2.23	5.21	31.54%
	MWUs-community	n = 14	0.877 [0.617-0.965]	0.000	2.15	5.01	25.27%
TTE (min)	All participants	n = 25	0.891 [0.768-0.950]	0.000	0.76	1.77	19.75%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.931 [0.465-0.986]	0.000	0.41	0.95	12.26%
	MWUs-community	n = 14	0.854 [0.556-0.958]	0.000	0.85	1.99	20.16%
VO <sub>2peak</sub> (ml/min)	All participants	n = 25	0.859 [0.705-0.935]	0.000	157.93	368.52	28.51%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.645 [0.053-0.906]	0.023	175.75	410.10	36.35%
	MWUs-community	n = 14	0.895 [0.671-0.970]	0.000	159.78	372.84	25.56%
VCO <sub>2peak</sub> (mL/min)	All participants	n = 25	0.764 [0.534-0.889]	0.000	287.04	669.80	40.73%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.741 [0.181-0.936]	0.009	333.64	778.53	49.75%
	MWUs-community	n = 14	0.749 [0.329-0.925]	0.002	249.62	582.47	34.15%
HR <sub>peak</sub> (bpm)	All participants	n = 13	0.559 [0.038-0.841]	0.021	12.69	29.62	17.55%
	MWUs-rehabilitation						
	MWUs-community						
RER <sub>peak</sub>	All participants	n = 25	0.583 [0.251-0.792]	0.001	0.16	0.38	25.72%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.850 [0.495-0.963]	0.001	0.11	0.26	17.79%
	MWUs-community	n = 14	0.033 [-0.535- 0.533]	0.544	0.22	0.50	36.41%
VE <sub>peak</sub> (L/min)	All participants	n = 25	0.817 [0.628-0.915]	0.000	9.63	22.46	32.11%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.808 [0.398-0.952]	0.002	10.43	24.34	36.64%
	MWUs-community	n = 14	0.835 [0.517-0.952]	0.000	8.28	19.33	23.84%
RPE <sub>muscle</sub> (/10)	All participants	n = 25	0.619 [0.312-0.810]	0.000	1.03	2.40	28.99%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.415 [-0.269-0.828]	0.117	1.41	3.30	39.54%
	MWUs-community	n = 14	0.913 [0.714-0.976]	0.000	0.48	1.12	14.19%
RPE <sub>cardio</sub> (/10)	All participants	n = 25	0.755 [0.517-0.884]	0.000	0.99	2.32	32.25%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.721 [0.140-0.930]	0.012	1.36	3.18	51.16%
	MWUs-community	n = 14	0.915 [0.715-0.977]	0.000	0.40	0.93	12.39%
Increments	All participants	n = 25	0.909 [0.805-0.959]	0.000	0.70	1.64	18.57%
	MWUs-rehabilitation	n = 11	0.914 [0.478-0.989]	0.000	0.34	0.79	10.33%
	MWUs-community	n = 14	0.876 [0.622-0.965]	0.000	0.74	1.74	17.94%

ICC = intra-class correlation coefficient; SEM = standard error of measurement; MDC<sub>90%</sub>-abs = absolute minimal detectable change; MDC<sub>90%</sub>-rel = relative minimal detectable change; MWUs = manual wheelchair users

VO<sub>2</sub> obtained during T2 tended to be slightly greater ( $+ 0.34 \pm 3.28$  mL/kg/min) on average, but the difference was considerably smaller than the MDC of 5.30, and the 95% limit of agreement (i.e., 1.96 SD) for the difference ranges between 6.77 and -6.09 mL/kg/min (Figure 5.5A). Moreover, all but one data point fell within the limit of agreement and the data points were equally distributed above and below the mean difference line (i.e., absence of systematic error). TTE obtained during T2 tended to be slightly greater ( $+ 0.07 \pm 1.10$  minutes) on average, but was lower than the MDC of 1.77 minutes, and the 95% limit of agreement (2.23 to -2.09 minutes) (Figure 5.5B). All data points fell within the limit of agreement and the data points were equally distributed above and below the mean difference line.

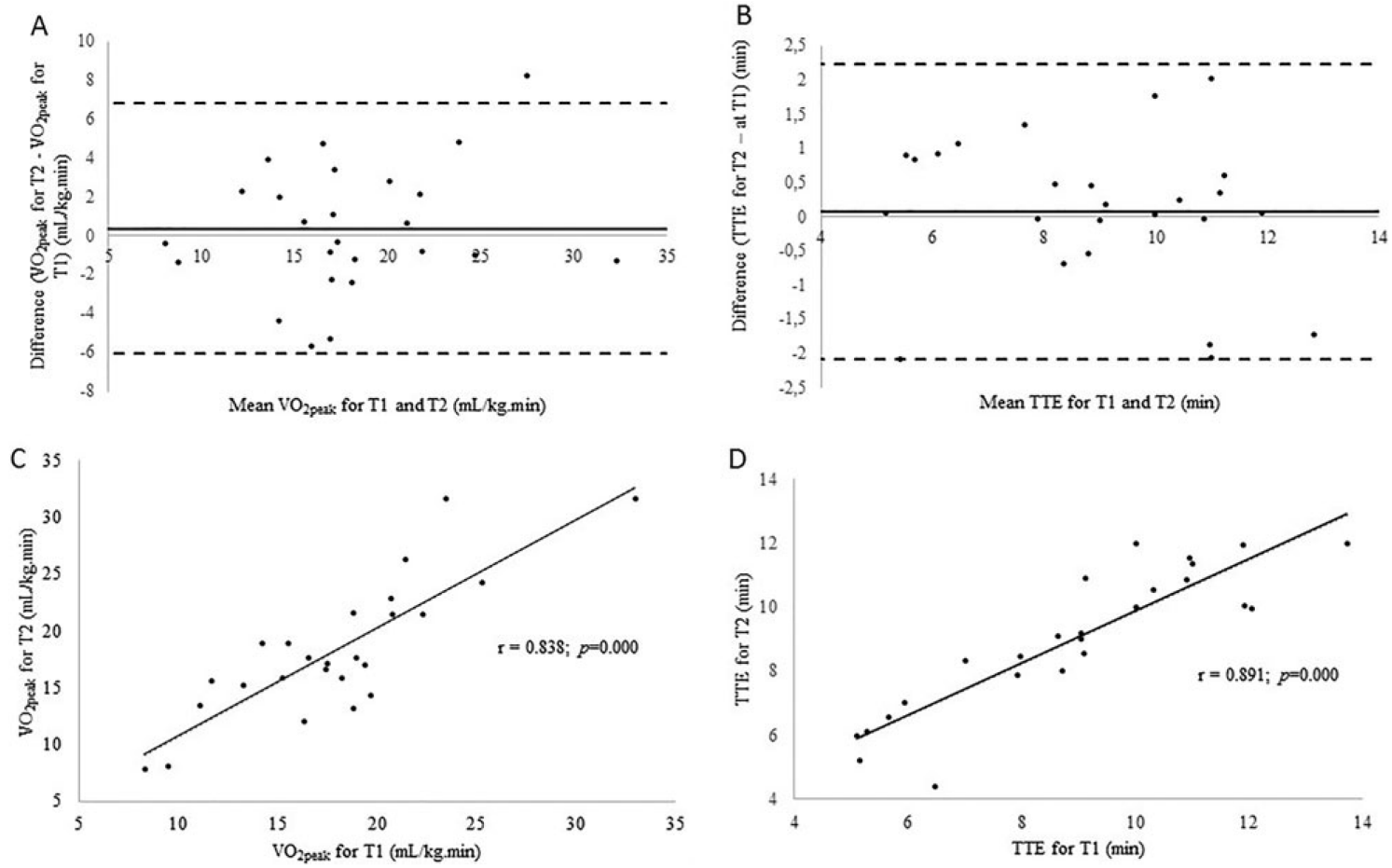


Figure 5.5 Bland-Altman plot graphs for  $VO_{2peak}$  (A) and TTE (B) between T1 and T2 and correlation graphs for  $VO_{2peak}$  (C) and TTE (D).

## 5.2.5. Discussion

The aim of this study was to quantify the test-retest reliability and the MDC of cardiorespiratory fitness outcome measures obtained via a new treadmill-based MW propulsion progressive workload incremental test for MWUs (i.e.,  $WPT_{\text{Treadmill}}$ ). The results of this study suggest that the  $WPT_{\text{Treadmill}}$  is a reliable and accurate test for rehabilitation and physical activity professionals to quantify cardiorespiratory fitness of MWUs and, consequently, to propose personalized rehabilitation or physical activity programs. Furthermore, this test may be useful for measuring or comparing the impact or effectiveness of various rehabilitation or physical activity programs targeting cardiorespiratory fitness.

### 5.2.5.1. Feasibility of the proposed test

All participants have reached maximal exercise intensity since they all have met at least one criteria characterizing  $VO_{2\text{peak}}$ . No participant had to stop the test before reaching their maximal capacity. In our sample, all participants who had a tetraplegia successfully completed the test and had a tendency to reach slightly lower peak values than individuals with paraplegia (i.e., mean  $VO_{2\text{peak}}$  for tetraplegia =  $15.35 \pm 4.68$  ml/kg/min versus  $18.28 \pm 6.01$  ml/kg/min for participants with paraplegia). The experience in MW propulsion don't appear to impact the results of the test since there was no statistical difference between individuals undergoing rehabilitation (i.e., with recent SCI and little experience in MW propulsion) and participants living in the community (i.e., with longer experience in MW propulsion). Moreover, most of the ICC, SEM and MDC values are comparable for individuals in rehabilitation and those living in the community. Hence, the proposed test can be complete by most MWUs, including those with high thoracic or cervical SCI having basic wheelchair skills and with stable cardiovascular and autonomic functions.

### 5.2.5.2. Reliability of the proposed test

As expected, the  $WPT_{\text{Treadmill}}$  is reliable since the main outcome measures yielded excellent reliability coefficients (i.e.,  $ICC \geq 0.75$ ). Moreover, all other outcome measures measured on two separate occasions had good to excellent reliability coefficients. Most outcome measures had a small MDC, except for  $VE_{\text{peak}}$ ,  $RPE_{\text{cardio}}$ , which had a relatively small MDC

(i.e., MDC = 32.11% and 32.25%, respectively) and  $\text{VCO}_{2\text{peak}}$ , which was the outcome measure with the smallest MDC (MDC = 40.73%). Finally, the  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  values found in this study were similar to other findings previously reported in the literature,<sup>1,4,33,34</sup> indicating that this sample was representative of a MWU population with a SCI.

When compared to reliability coefficients for cardiorespiratory fitness tests among MWUs in other studies, the  $\text{WPT}_{\text{Treadmill}}$  had better test-retest reliability. Hol *et al.* studied the reliability of a 6-minute arm crank test among individuals with SCI who were MWUs and found an ICC of 0.81 for  $\text{VO}_2$  at a steady state,<sup>33</sup> whereas Bulthuis *et al.* found a test-retest ICC of 0.76 for  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  during a submaximal arm crank ergometer test.<sup>26</sup>

The small outcome measure differences found between the two tests can be explained in part by measurement errors inherent to the use of the Cosmed K4b<sup>2</sup> system. In fact, measurement error ranges between 1.24% and 12.06%, depending on the variable studied and the protocol used.<sup>29</sup> Moreover, day-to-day variability in strength, coordination, concentration and/or motivation of the participants could have affected their performance during the tests and impacted test-retest reliability to some extent.<sup>35</sup> Other potential factors, such as time of the day, testing protocol and equipment used, were controlled as much as possible to minimize their impact on reliability and measurement error. Since consumption of stimulants such as coffee, tobacco or alcohol can affect  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  and other outcome measures of the test,<sup>36</sup> participants were asked to refrain from taking those substances two hours before the test. However, some factors are still difficult to control such as verbal encouragement, which may have differed between each trial and between participants. Moreover, the reaction of participants to those encouragements could not be controlled and may have differed among participants.<sup>35</sup> Finally, level of fatigue could have affected performance among participants and may have been influenced by many factors such as quality of sleep, level of activity during the day, stress, etc. In order to reduce the effect of fatigue, participants were asked not to exercise at moderate to high intensity the day prior to the trial.

The Bland-Altman plots demonstrated a mean difference close to zero for  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  and TTE (i.e.,  $0.34 \pm 3.28$  mL/kg/min and  $0.07 \pm 1.10$  minutes, respectively). Moreover, no

familiarization effect was observed for  $VO_{2peak}$  and TTE since there was no tendency for either the first test or the second test to have higher values. This can be explained by the familiarization period allowed prior to the test during which participants propelled their own MW at each speed and over each slope included in the test. Moreover, since participants used their own personal MW during the test, a familiarization effect related to the MW or body positioning was less likely to occur.

#### **5.2.5.3. Standard error of measurement and minimal detectable change of the newly developed continuous treadmill-based wheelchair propulsion test**

Only a few studies have reported SEM values for exercise tests developed for MWUs<sup>33,37</sup> and only one has calculated the MDC for  $VO_{2peak}$ .<sup>37</sup> Bloemen *et al.* found a SEM of 1.87 mL/kg/min and a  $MDC_{abs95\%}$  of 5.18 mL/kg/min ( $MDC_{rel95\%} \approx 22.38\%$ ) for a graded wheelchair propulsion test performed on a roller among children with spina bifida.<sup>37</sup> Stoller O. *et al.* found a SEM of 2 mL/kg/min for  $VO_{2peak}$  with a  $MDC_{abs95\%}$  of 5.6 mL/kg/min ( $MDC_{rel95\%}$  of 36%) during a maximal cardiorespiratory test among individuals with early stroke using a feedback-controlled robotics-assisted treadmill exercise.<sup>38</sup> Vancampfort D. *et al.* found a  $MDC_{abs95\%}$  of 6.5 mL/kg/min ( $MDC_{rel95\%} \approx 18.81\%$ ) among ambulatory individuals with schizophrenia during a Astrand–Rhyming cycle ergometer test.<sup>39</sup> Moreover, a study of 39 studies on reliability of  $VO_{2peak}$  measurements using different protocols and exercise models among ambulatory participants reported an average SEM of 2.58 mL/kg/min.<sup>40</sup> All those results are similar to those found in this study since the SEM for  $VO_{2peak}$  was 2.27 mL/kg/min and the  $MDC_{abs90\%}$  was 5.30 mL/kg/min ( $MDC_{rel90\%}$  of 29.35%). However, the relative MDC found in this study was slightly higher than in the other studies, which may be explained by a lower mean  $VO_{2peak}$  in our study (mean  $VO_{2peak} = 18.07 \pm 5.59$  mL/kg/min vs  $22.8 \pm 6.6$  mL/kg/min<sup>37</sup> and  $34.6 \pm 8.7$  mL/kg/min<sup>39</sup>). Finally, no studies have reported SEM or MDC for TTE.

#### **5.2.5.4. Translating outcomes into clinical practice**

Measuring direct  $VO_{2peak}$  using a gas exchange analyser is not often possible in clinical settings since such devices are expensive and require specific user training. Moreover, the time constraints experienced by many rehabilitation or physical activity professionals limits the use

of direct measurements of gas exchange for cardiorespiratory fitness assessments. Interestingly, the results of the present study emphasize that cardiorespiratory fitness can be accurately estimated using only TTE and number of increments completed during the  $WPT_{Treadmill}$  since their test-retest reliability coefficients are excellent. Of course, measurement of direct  $VO_{2peak}$  should be encouraged whenever possible since it is the gold standard for cardiorespiratory fitness<sup>41</sup> and allows for comparison with normative values. Moreover, direct measurement of  $VO_{2peak}$  with a gas exchange analyser allows clinicians and researchers to measure many other valuable outcome measures such as RER, VE and respiration rate. These outcome measures would provide highly relevant comprehensive measures of cardiorespiratory fitness for MWUs.

#### **5.2.5.5. Study limitations**

The first limitation of the present study is its small sample size. According to Altman, a sample size of 50 or more is considered adequate to assess agreement parameters.<sup>42</sup> However, considering the difficulty with recruiting MWUs, our sample of 25 participants appears sufficient, and is greater than previous studies reporting on reliability. Even though participants tried each speed and each slope during the familiarization period, they did not perform the test itself before the measurements were taken as proposed by Currell K and Jeukendrup AE.<sup>35</sup> Using the comparison between a second and third test may have reduced the coefficient of variability by almost 2%.<sup>35</sup>

#### **5.2.6. Conclusion**

In summary, the  $WPT_{Treadmill}$  is a reliable test for assessing cardiorespiratory fitness among MWUs. This test can be used with confidence in both clinical and research settings since both direct (i.e., Cosmed K4b<sup>2</sup> gas analyser) and indirect (i.e., TTE, number of increments) measures of  $VO_{2peak}$  yielded excellent reliability. Moreover, it is a safe test that can be used for inpatient and outpatient individuals since no adverse events occurred. Measuring the validity and responsiveness of the  $WPT_{Treadmill}$  in future studies is recommended to strengthen the level of evidence before recommending its use as a clinical measurement instrument to quantify cardiovascular fitness in MWUs.



## 5.2.7. References

1. van der Scheer JW, de Groot S, Tepper M, Gobets D, Veeger DH, van der Woude LH. Wheelchair-specific fitness of inactive people with long-term spinal cord injury. *J Rehabil Med*. 2015;47(4):330-7
2. Tawashy AE, Eng JJ, Krassioukov AV, Miller WC, Sproule S. Aerobic exercise during early rehabilitation for cervical spinal cord injury. *Phys Ther*. 2010;90(3):427-37
3. van den Berg-Emons RJ, Bussmann JB, Haisma JA, Sluis TA, van der Woude LH, Bergen MP, *et al*. A prospective study on physical activity levels after spinal cord injury during inpatient rehabilitation and the year after discharge. *Arch Phys Med Rehabil*. 2008;89(11):2094-101
4. Haisma JA, van der Woude LH, Stam HJ, Bergen MP, Sluis TA, Bussmann JB. Physical capacity in wheelchair-dependent persons with a spinal cord injury: A critical review of the literature. *Spinal Cord*. 2006;44(11):642-52
5. Phillips WT, Kiratli BJ, Sarkarati M, Weraarchakul G, Myers J, Franklin BA, *et al*. Effect of spinal cord injury on the heart and cardiovascular fitness. *Curr Probl Cardiol*. 1998;23(11):641-716
6. Garshick E, Kelley A, Cohen SA, Garrison A, Tun CG, Gagnon D, *et al*. A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2005;43(7):408-16
7. Myers J, Lee M, Kiratli J. Cardiovascular disease in spinal cord injury: An overview of prevalence, risk, evaluation, and management. *Am J Phys Med Rehabil*. 2007;86(2):142-52
8. Dallmeijer AJ, van der Woude LH, Hollander AP, van As HH. Physical performance during rehabilitation in persons with spinal cord injuries. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(9):1330-5
9. Pelletier CA. Incorporating physical activity into the rehabilitation process after spinal cord injury. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014;39(4):513
10. Price MJ, Bottoms L, Smith PM, Nicholettos A. The effects of an increasing versus constant crank rate on peak physiological responses during incremental arm crank ergometry. *J Sports Sci*. 2011;29(3):263-9
11. Battikha M, Sa L, Porter A, Taylor JA. Relationship between pulmonary function and exercise capacity in individuals with spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil*. 2014;93(5):413-21
12. Torhaug T, Brurok B, Hoff J, Helgerud J, Leivseth G. Arm crank and wheelchair ergometry produce similar peak oxygen uptake but different work economy values in individuals with spinal cord injury. *Biomed Res Int*. 2016;2016(5481843
13. van den Berg R, de Groot S, Swart KM, van der Woude LH. Physical capacity after 7 weeks of low-intensity wheelchair training. *Disabil Rehabil*. 2010;32(26):2244-52

14. Bougenot MP, Tordi N, Betik AC, Martin X, Le Foll D, Parratte B, *et al.* Effects of a wheelchair ergometer training programme on spinal cord-injured persons. *Spinal Cord.* 2003;41(8):451-6
15. Grange CC, Bougenot MP, Gros Lambert A, Tordi N, Rouillon JD. Perceived exertion and rehabilitation with wheelchair ergometer: Comparison between patients with spinal cord injury and healthy subjects. *Spinal Cord.* 2002;40(10):513-8
16. Vanlandewijck Y, Theisen D, Daly D. Wheelchair propulsion biomechanics: Implications for wheelchair sports. *Sports Med.* 2001;31(5):339-67
17. Mason B, Lenton J, Leicht C, Goosey-Tolfrey V. A physiological and biomechanical comparison of over-ground, treadmill and ergometer wheelchair propulsion. *J Sports Sci.* 2014;32(1):78-91
18. Hurd WJ, Morrow MM, Kaufman KR, An KN. Wheelchair propulsion demands during outdoor community ambulation. *J Electromyogr Kinesiol.* 2009;19(5):942-7
19. Howarth SJ, Polgar JM, Dickerson CR, Callaghan JP. Trunk muscle activity during wheelchair ramp ascent and the influence of a geared wheel on the demands of postural control. *Arch Phys Med Rehabil.* 2010;91(3):436-42
20. Gauthier C, Grangeon M, Ananos L, Brosseau R, Gagnon DH. Quantifying cardiorespiratory responses resulting from speed and slope increments during motorized treadmill propulsion among manual wheelchair users. *Ann Phys Rehabil Med.* 2017;
21. Sonenblum SE, Sprigle SH, Martin JS. Everyday sitting behavior of full-time wheelchair users. *J Rehabil Res Dev.* 2016;53(5):585-98
22. American College of Sports Medicine., Swain DP, Brawner CA. *Acsm's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription.* 7th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2014. xv, 862 p.
23. Thomas S, Reading J, Shephard RJ. Revision of the physical activity readiness questionnaire (par-q). *Can J Sport Sci.* 1992;17(4):338-45
24. Curtis KA, Roach KE, Applegate EB, Amar T, Benbow CS, Genecco TD, *et al.* Reliability and validity of the wheelchair user's shoulder pain index (wuspi). *Paraplegia.* 1995;33(10):595-601
25. Hill DW. Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. *J Sports Med Phys Fitness.* 1996;36(3):155-60
26. Bulthuis Y, Drossaers-Bakker W, Oosterveld F, van der Palen J, van de Laar M. Arm crank ergometer is reliable and valid for measuring aerobic capacity during submaximal exercise. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2809-15
27. Gauthier C, Grangeon M, Ananos L, Brosseau R, Gagnon D. Development of a new cardiorespiratory fitness test during treadmill propulsion using graded slope and speed increments in manual wheelchair users. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique.* 2017;(accepted for publication)(

28. American College of Sport Medicine. *Acsm's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. 5th ed: Lippincott Williams and Wilkins; 2006.
29. Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. Accuracy and reliability of a cosmed k4b2 portable gas analysis system. *J Sci Med Sport*. 2004;7(1):11-22
30. Wilson RC, Jones PW. A comparison of the visual analogue scale and modified borg scale for the measurement of dyspnoea during exercise. *Clin Sci (Lond)*. 1989;76(3):277-82
31. Duncan GE, Howley ET, Johnson BN. Applicability of vo2max criteria: Discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc*. 1997;29(2):273-8
32. Andresen EM. Criteria for assessing the tools of disability outcomes research. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81(12 Suppl 2):S15-20
33. Hol AT, Eng JJ, Miller WC, Sproule S, Krassioukov AV. Reliability and validity of the six-minute arm test for the evaluation of cardiovascular fitness in people with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2007;88(4):489-95
34. Janssen TW, Dallmeijer AJ, Veeger DJ, van der Woude LH. Normative values and determinants of physical capacity in individuals with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*. 2002;39(1):29-39
35. Currell K, Jeukendrup AE. Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Med*. 2008;38(4):297-316
36. Medicine ACS. *Acsm's health-related physical fitness assessment manual*: Wolters Kluwer Health; 2013.
37. Bloemen MA, de Groot JF, Backx FJ, Westerveld RA, Takken T. Arm cranking versus wheelchair propulsion for testing aerobic fitness in children with spina bifida who are wheelchair dependent. *J Rehabil Med*. 2015;47(5):432-7
38. Stoller O, de Bruin ED, Schindelholz M, Schuster-Amft C, de Bie RA, Hunt KJ. Cardiopulmonary exercise testing early after stroke using feedback-controlled robotics-assisted treadmill exercise: Test-retest reliability and repeatability. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11(145)
39. Vancampfort D, Guelinckx H, De Hert M, Stubbs B, Soundy A, Rosenbaum S, *et al*. Reliability and clinical correlates of the astrand-rhyming sub-maximal exercise test in patients with schizophrenia or schizoaffective disorder. *Psychiatry Res*. 2014;220(3):778-83
40. Vickers R. Measurement error in maximal oxygen uptake tests. In: Center NHR, editor. San Diego supported by the U.S. Army Medical Research and Materiel Command; 2003. p. 1-23.
41. Heine M, Verschuren O, Kwakkel G. Validity of oxygen uptake efficiency slope in patients with multiple sclerosis. *J Rehabil Med*. 2014;
42. Altman DG. *Practical statistics for medical research*: Taylor & Francis; 1990.

## **5.2.8. Résultats supplémentaires de l'article #2**

Dans le but d'éliminer l'influence potentielle de l'expérience en propulsion d'un FR manuel sur les valeurs de fidélité du test d'effort en FR manuel, l'échantillon de participants du projet #2 fut composé de nouveaux usagers d'un FR manuel et de participants expérimentés.

### **5.2.8.1. Description des participants**

Onze nouveaux usagers furent recrutés au cours de leur période de réadaptation fonctionnelle intensive et furent considérés ayant peu d'expérience en propulsion de FR alors que 14 participants expérimentés en propulsion de FR furent recrutés dans la communauté. Aucune différence significative ( $p = 0,062-0,578$ ) ne fut trouvée pour les caractéristiques des participants des deux sous-groupes sauf pour le temps depuis la lésion ( $p < 0,000$ ). La description des participants des sous-groupes est présentée dans les tableaux 5.7 et 5.8.

**Tableau 5.7 Description des participants expérimentés en propulsion d'un FR manuel.**

Participants	Sexe	Âge (Années)	Grandeur (m)	Poids (Kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Temps en FR (années)	Condition	ASIA		WUSPI
								Niveau neurologique		AIS
1	M	36,4	1,70	63,6	22,0	7,00	SCI	C7	B	0
2	M	61,3	1,74	64,9	21,4	38,92	SCI	T5	A	0
3	M	23,6	1,81	48,6	14,8	23,58	Chacor- Marie- Tooth	--	--	0
4	M	34,8	1,78	67,6	21,3	10,83	SCI	T4	A	0
5	F	24,9	1,65	66,0	24,2	24,92	Cerebral Palsy	--	--	0,46
6	M	37,8	1,77	69,0	22,0	13,75	SCI	T6	D	18,02
8	M	40,1	1,81	86,0	26,3	9,67	SCI	T6	C	0
9	M	57,8	1,73	83,5	27,9	25,75	SCI	T12	A	10,58
12	M	35,4	1,92	82,0	22,2	10,08	SCI	T12	C	0
13	M	56,7	1,72	78,9	26,7	1,33	SCI	T7	A	17,13
15	M	38,9	1,85	82,6	24,1	3,75	SCI	T10	A	11,73
21	M	28,6	1,70	77,1	26,7	3,00	SCI	C8	A	5,80
24	F	26,1	1,61	63,0	24,3	2,42	SCI	D6	A	0
25	M	32,4	1,92	90,2	24,5	8,08	SCI	D6	A	0
<b>Moyenne</b>		<b>38,20</b>	<b>1,77</b>	<b>73,07</b>	<b>23,47</b>	<b>13,08</b>				<b>4,55</b>
<b>Écart-type</b>		<b>12,25</b>	<b>0,09</b>	<b>11,58</b>	<b>3,28</b>	<b>11,12</b>				<b>6,86</b>

Tableau 5.8 Description des participants inexpérimentés en propulsion d'un FR manuel.

Participants	Sexe	Âge (Années)	Grandeur (m)	Poids (Kg)	IMC (kg/m <sup>2</sup> )	Temps en FR (années)	Condition	ASIA		WUSPI
								Niveau neurologique		AIS /150
7	M	50,9	1,85	100	29,2	0,17	Cauda equina syndrome	--	--	0
10	F	28,4	1,71	52	17,8	0,42	SCI	T12	D	0
11	M	27,5	1,77	47	15,0	0,33	SCI	C6	D	0
14	F	45,8	1,67	90,5	32,5	0,33	SCI	T4	A	8,41
16	M	28,8	1,8	70,5	21,8	0,75	SCI	C7	C	-
17	M	62,6	1,74	79,2	26,2	0,58	SCI	C5	D	0
18	M	42,4	1,77	62,4	19,9	0,42	SCI	L5	C	0
19	M	22,3	1,77	73,8	23,6	0,00	SCI	L5	C	9,5
20	M	28,7	1,78	64	20,2	0,08	SCI	T5	B	7,70
22	M	25,1	1,75	61,3	20,0	0,08	SCI	T12	A	2,1
23	M	18,4	1,83	70,1	20,9	0,08	SCI	L1	D	0
<b>Moyenne</b>		<b>34,62</b>	<b>1,77</b>	<b>70,07</b>	<b>22,45</b>	<b>0,30</b>				<b>2,77</b>
<b>Écart-type</b>		<b>13,78</b>	<b>0,05</b>	<b>15,63</b>	<b>5,08</b>	<b>0,24</b>				<b>4,05</b>

Les valeurs moyennes (écart-type) mesurées lors de T1 et T2 pour les deux sous-groupes sont présentées au Tableau 5.9. Alors que les CCI, les ESM et les valeurs de CMD calculés pour le sous-groupe de participants ayant peu d'expérience en FR manuel et pour le sous-groupe expérimenté sont présentés dans le Tableau 5.10.

**Tableau 5.9 Valeurs moyennes (écart-types) du premier (T1) et deuxième (T2) essai des participants expérimentés et inexpérimentés en FR manuel.**

	Usagers expérimentés				Usagers inexpérimentés			
	T1		T2		T1		T2	
	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	ET	valeur <i>p</i>	Moyenne (ET)	Moyenne (ET)	ET	valeur <i>p</i>
VO <sub>2</sub> /kg <sub>pointe</sub> (ml/kg/min)	n = 14	19,23 (5,74)	19,05 (6,04)	0,826	n = 11	16,21 (4,30)	17,21 (6,07)	0,383
Temps (min)	n = 14	9,61 (2,31)	9,48 (2,33)	0,674	n = 11	8,04 (2,37)	8,37 (1,98)	0,314
VO <sub>2pointe</sub> (ml/min)	n = 14	1427,25 (477,92)	1410,23 (495,83)	0,783	n = 11	1109,16 (274,52)	1154,99 (268,86)	0,540
VCO <sub>2pointe</sub> (ml/min)	n = 14	1727,68 (515,40)	1658,10 (699,71)	0,525	n = 11	1581,06 (575,32)	1585,04 (616,17)	0,977
FC <sub>pointe</sub> (bpm)	n = 4	180,75 (11,76)	179,50 (16,84)	0,821	n = 9	161,22 (23,18)*	167,22 (16,92)*	0,430
R <sub>pointe</sub>	n = 14	1,51 (0,022)	1,41 (0,26)	0,190	n = 11	1,47 (0,26)	1,53 (0,28)	0,238
Rf <sub>pointe</sub> (resp./min)	n = 14	52,57 (9,33)	54,42 (8,06)	0,501	n = 11	50,89 (12,30)	49,55 (14,30)	0,496
VE <sub>pointe</sub> (L/min)	n = 14	72,84 (19,54)	70,71 (21,46)	0,500	n = 11	64,54 (21,95)	70,76 (29,30)	0,220
RPE <sub>muscle</sub> (/10)	n = 14	8,29 (1,49)	8,21 (1,53)	0,720	n = 11	8,73 (1,49)	7,91 (2,26)	0,203
RPE <sub>cardio</sub> (/10)	n = 14	7,71 (1,44)	7,86 (1,46)	0,612	n = 11	6,45 (2,42)	6,45 (2,50)	1,000
Paliers	n = 14	9,57 (2,28)	9,36 (2,37)	0,459	n = 11	7,91 (2,47)	8,09 (1,92)	0,553

**Tableau 5.10 Valeur de fidélité test-retest.**

	Usagers expérimentés					Usagers inexpérimentés				
	CCI	valeur <i>p</i>	ESM	CMD <sub>90%</sub> - abs	CMD <sub>90%</sub> - rel	CCI	valeur <i>p</i>	ESM	CMD <sub>90%</sub> - abs	CMD <sub>90%</sub> - rel
VO <sub>2</sub> /kg <sub>pointe</sub> (ml/kg/min) n = 14	0,878 [0,662-0,959]	0,000	2,02	4,71	24,62%	0,762 [0,351-0,929]	0,002	2,52	5,87	30,14%
Temps (min) n = 14	0,886 [0,684-0,962]	0,000	0,77	1,79	18,79%	0,884 [0,643-0,967]	0,000	0,73	1,71	20,90%
VO <sub>2pointe</sub> (ml/min) n = 14	0,898 [0,713-0,966]	0,000	152,64	356,18	25,11%	0,625 [0,073-0,883]	0,017	163,01	380,37	33,60%
VCO <sub>2pointe</sub> (ml/min) n = 14	0,796 [0,482-0,929]	0,000	272,83	636,64	37,61%	0,734 [0,254-0,921]	0,004	300,03	700,11	44,23%
FC <sub>pointe</sub> (bpm) n = 14	0,376 [-0,129-0,739]	0,075	0,19	0,45	30,71%	0,440 [-0,263-0,838]	0,107	14,91	34,8	21,19%
R <sub>pointe</sub> n = 14	0,347 [-0,215-0,733]	0,109	6,96	16,23	30,34%	0,837 [0,525-0,953]	0,000	0,11	0,25	16,77%
Rf <sub>pointe</sub> (resp./min) n = 14	0,848 [0,597-0,948]	0,000	7,86	18,34	25,56%	0,894 [0,666-0,970]	0,000	4,24	9,9	19,72%
VE <sub>pointe</sub> (L/min) n = 14	0,889 [0,692-0,963]	0,000	0,49	1,15	13,96%	0,804 [0,49-0,942]	0,001	11,27	26,31	38,89%
RPE <sub>muscle</sub> (/10) n = 14	0,759 [0,400-0,916]	0,001	0,70	1,63	20,94%	0,439 [-0,124-0,804]	0,067	1,43	3,34	40,17%
RPE <sub>cardio</sub> (/10) n = 14	0,901 [0,726-0,967]	0,000	0,72	1,68	17,73%	0,723 [0,231-0,918]	0,005	1,27	2,95	45,76%
Paliers n = 14						0,907 [0,698-0,974]	0,000	0,66	1,54	19,22%



### **5.3. Article #3: Comparison of treadmill-based wheelchair propulsion and arm-crank ergometer incremental cardiorespiratory fitness tests among manual wheelchair users**

Cindy Gauthier<sup>1,2</sup>, Rachel Brosseau<sup>1,3</sup>, Jasmine Arel<sup>1,2</sup>, Audrey L. Hicks<sup>4</sup>, Dany H. Gagnon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> School of Rehabilitation ([www.umontreal.readap.ca](http://www.umontreal.readap.ca)), Université de Montréal, QC, Canada

<sup>2</sup> Pathokinesiology Laboratory ([www.pathokin.ca](http://www.pathokin.ca)), Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal, Centre intégré universitaire de santé et services sociaux du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal-Site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> Institut de cardiologie de Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>4</sup> Department of Kinesiology, McMaster University, Hamilton, ON, Canada

*Article soumis le 29 janvier 2018 au journal Physical Therapy*

En tant qu'auteure principale, je confirme mon apport considérable et majoritaire à chacune des étapes ayant mené à la rédaction de cet article, ce qui inclut le développement du protocole, les collectes de données, le traitement et l'analyse des données, l'interprétation finale des résultats et la rédaction du manuscrit. Dr Dany Gagnon a encadré et supervisé chacune des étapes de l'étude et a contribué à l'analyse et à l'interprétation des données ainsi qu'à la révision de cet article. Jasmine Arel a participé aux collectes de données. Tous les auteurs ont participé l'interprétation des données et à la rédaction de l'article.

### **5.3.1. Abstract**

#### **Background**

A wheelchair-based cardiorespiratory fitness test is needed to facilitate the assessment of cardiorespiratory fitness among manual wheelchair (MW) users.

#### **Objectives**

The main objective of this study was to measure the concurrent validity of peak cardiorespiratory responses obtained during a new treadmill-based wheelchair propulsion test ( $WPT_{\text{Treadmill}}$ ) among MW users compared the responses obtained during a conventional arm-crank ergometer test (ACET). The acceptability of the test was also assessed among MW users.

#### **Methods**

Twenty-two MW users completed the  $WPT_{\text{Treadmill}}$  and the ACET. During the  $WPT_{\text{Treadmill}}$ , participants continuously propelled their MW on a motorized treadmill as the exercise intensity was gradually increased every minute until exhaustion by changing the slope and/or speed according to a standardized protocol. During the ACET, participants continuously cranked the ergometer as the resistance increased every minute by 10 watts until exhaustion. During both tests, peak oxygen consumption, carbon dioxide production, respiratory exchange ratio ( $RER_{\text{peak}}$ ), respiratory rate, minute ventilation and heart rate were measured using a gas analyzer system and a heart rate monitor. Time to exhaustion and rate of perceived muscular and cardiorespiratory exertion was measured.

#### **Results**

Good to very good associations were found among the outcome measures of both tests ( $r = 0.69-0.94$ ,  $P \leq 0.001$ ) except for  $RER_{\text{peak}}$  ( $r = 0.32$ ,  $P = 0.149$ ).

#### **Limitations**

The limitations of this study were that the tests were separated by a two-hour rest period and that the sample was heterogeneous.

## **Conclusion**

The  $WPT_{\text{Treadmill}}$  represents a valid alternative for assessing cardiorespiratory fitness among MW users in clinical practice and research protocols. It may be more appropriate when assessing the effects of training programs aiming to increase cardiorespiratory fitness using MW propulsion training.

**Key words:** treadmill, manual wheelchair users, propulsion, rehabilitation, cardiorespiratory fitness.

### 5.3.2. Introduction

Many individuals with lower limb impairments who are unable or have difficulty walking will depend on a manual wheelchair (MW) for mobility. This mode of mobility typically leads to prolonged none-active sitting time and reduces the ability to engage in physical activity. These individuals are less physically active than their able-bodied counterparts<sup>1</sup> as they usually adopt a sedentary lifestyle. Over time, these individuals develop reduced physical abilities, which affects their social participation. As this vicious downward cycle progresses, propelling a MW in the community becomes more strenuous for most individuals since it requires good physical abilities including good cardiorespiratory fitness and upper body strength.<sup>2</sup> Considering their poor level of physical activity, MW users are also at higher risk of developing cardiorespiratory diseases and endocrine/metabolic disorders during their lifetime than ambulatory individuals.<sup>3-6</sup>

Assessing and training physical fitness among MW users is thus a main concern in clinical practice and research protocols.<sup>7,8</sup> Moreover, particular attention is especially given to cardiorespiratory fitness training since it has positive effects on secondary cardiorespiratory and endocrine/metabolic complications.<sup>9</sup> To provide adequate cardiorespiratory fitness training programs and assess their effects and effectiveness, valid cardiorespiratory fitness tests for MW users are required. Maximal exercise tests among MW users are usually done using arm-crank ergometers<sup>10,11</sup> even though this form of exercise is considerably different than MW propulsion.<sup>12,13</sup> Arm movements are asynchronous and involve a continuous push-and-pull application of force on the ergometer whereas MW propulsion is synchronous and includes both push and recovery phases.<sup>12</sup> Moreover, unlike arm-cranking, MW propulsion on a motorized treadmill allows for greater head-trunk-upper limb segment movement and greater trunk muscle implication since these muscles help maintain sitting balance and increase trunk stiffness so that the thoracohumeral muscles can maximize their contribution to the force applied at the handrim.<sup>14-16</sup> Finally, performing cardiorespiratory fitness tests using a MW propulsion protocol closely resembles the physical strain of daily activities performed by MW users (i.e., task-specific protocol) and may require less motor-based learning.

A treadmill-based wheelchair propulsion test (WPT<sub>Treadmill</sub>) was recently developed to assess the cardiorespiratory fitness of MW users.<sup>17</sup> During this task-specific incremental test, individuals propelled their own MW over a motorized treadmill set at different speeds and slopes. In the standardized protocol, the slope and/or speed is changed every minute to increase the workload gradually until the individual reaches exhaustion. The WPT<sub>Treadmill</sub> has been found to be a reliable tool in assessing cardiorespiratory fitness among MW users.<sup>17</sup> However, the validity of this new test has not yet been evaluated.

The aims of this study were to determine the concurrent validity of peak cardiorespiratory responses obtained during the WPT<sub>Treadmill</sub> and to assess the acceptability of this test among MW users. To do so, peak oxygen consumption (VO<sub>2peak</sub>) and other cardiorespiratory measures obtained during the WPT<sub>Treadmill</sub> were compared to those measured during a conventional cardiorespiratory fitness test performed with an arm-crank ergometer. Participant preference between both tests was also assessed. It was expected that the outcome measures of the WPT<sub>Treadmill</sub> would be in concordance (i.e.,  $r \geq 0.75$ ) and be equal or greater than those measured during the arm-crank test and that participants would prefer the WPT<sub>Treadmill</sub>.

### **5.3.3. Methods**

#### **5.3.3.1. Participants**

Twenty-two MW users were recruited at the end of their rehabilitation period at a facility operated by the CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal–Site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM) or in the community using a list of individuals who had previously participated in research project(s) and agreed to be contacted again (Tableau 5.11). Individuals were eligible to participate in the study if a MW was their primary means of mobility (i.e., for at least 4 hours per day<sup>18</sup>). Individuals with medical contraindications to undergoing a cardiorespiratory fitness assessment or training according to American College of Sports Medicine (ACSM) standards<sup>19</sup> were excluded from the study. Individuals with significant musculoskeletal impairments at the upper extremity or trunk or any other conditions that might limit the performance of experimental tasks were also excluded from the study. The participants completed the Wheelchair User's Shoulder Pain Index (WUSPI)<sup>20</sup> before the experimental task

to ensure the absence of major shoulder pain during MW propulsion. A threshold of 5/10 for Question 5 (“Pushing your chair for 10 minutes or more?”) and Question 6 (“Pushing up ramps or inclines outdoors?”) was used to ensure that pain would not affect how the tests would be performed or the interpretation of results. The study was conducted at the Pathokinesiology Laboratory of the Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal (CRIR) located at the CIUSSS du Centre-Sud-de-l’Île-de-Montréal-Site IRGLM. Ethical approval was obtained from the CRIR Research Ethics Committee (CRIR 943-0314). All participants reviewed and signed the informed consent form before the beginning the study.

Tableau 5.11 Description of participants

Participants	Gender	Age (Years)	Height (m)	Mass (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Time since injury (Years)	Disorder	ASIA		WUSPI /20
								Neurological level	AIS*	
1	M	36.4	1.7	63.6	22	7.00	SCI	C7	B	0
2	M	61.3	1.74	64.9	21.4	38.9	SCI	T5	A	0
3	M	23.6	1.81	48.6	14.8	23.5	Charcot- Marie- Tooth	--	--	0
4	M	34.8	1.78	67.6	21.3	10.8	SCI	T4	A	0
5	F	24.9	1.65	66	24.2	24.9	Cerebral Palsy	--	--	0
6	M	37.8	1.77	69	22.0	13.7	SCI	T6	D	1.7
7	M	50.9	1.85	100	29.2	0.2	Cauda equina	--	--	0
8	M	40.1	1.81	86	26.3	9.6	SCI	T6	C	0
9	M	57.8	1.73	83.5	27.9	25.7	SCI	T12	A	5
10	F	28.4	1.71	52	17.8	0.4	SCI	T12	D	0
11	M	27.5	1.77	47	15.0	0.3	SCI	C6	D	0
12	M	35.4	1.92	82	22.2	10.0	SCI	T12	C	0
13	M	56.7	1.72	78.9	26.7	1.3	SCI	T7	A	3.5
14	F	45.8	1.67	90.5	32.5	0.3	SCI	T4	A	4.4
15	M	38.9	1.85	82.6	24.1	3.7	SCI	T10	A	2.7
16	M	28.8	1.8	70.5	21.8	0.7	SCI	C7	C	0
17	M	62.6	1.74	79.2	26.2	0.5	SCI	C5	D	0
18	M	42.4	1.77	62.4	19.9	0.4	SCI	L5	C	0
19	M	22.3	1.77	73.8	23.6	0.0	SCI	L5	C	0.4
20	M	28.7	1.78	64	20.2	0.0	SCI	T5	B	0.6
21	M	28.6	1.7	77.1	26.7	3.0	SCI	C8	A	2.3
22	M	25.1	1.75	61.3	20.0	0.0	SCI	T12	A	0.1
<b>Mean</b>		<b>36.5</b>	<b>1.75</b>	<b>71.0</b>	<b>23.2</b>	<b>10.8</b>				<b>0.8</b>
<b>SD</b>		<b>14.8</b>	<b>0.10</b>	<b>15.2</b>	<b>4.4</b>	<b>11.4</b>				<b>1.5</b>

\*A = No motor or sensory function is preserved below neurological level. B = Sensory function is preserved but motor functi below neurological level. C = Motor and sensory function is preserved below neurological level. AIS = American Spinal Injury Scale. ASIA = American Spinal Injury Association. F = female. M = male. SD = standard deviation. T = thoracic. WU User’s Shoulder Pain Index. Total score for question 5 (/10) and 6 (/10).

### **5.3.3.2. Study Design**

To assess the validity of the new cardiorespiratory fitness wheelchair test, participants first performed the WPT<sub>Treadmill</sub>, followed by the arm-crank test. A minimum two-hour rest period was always offered between the tests. All participants were asked not to smoke, to avoid consuming caffeine and alcohol at least three hours prior to both tests.<sup>21</sup>

### **5.3.3.3. Experimental tasks**

#### **5.3.3.3.1. Treadmill-based wheelchair propulsion test**

The WPT<sub>Treadmill</sub> was performed on a dual-belt motorized treadmill (Bertec Corporation, Columbus, Ohio, United States) (width = 0.84 m; length = 1.84 m) adapted for safe MW propulsion. The participant's MW was anchored with elastic bands to a bilateral frictionless gliding safety system to prevent excessive movements of the MW without altering the participant's natural propelling strategies (Figure 5.6). A research associate also stood closely to participants at all times to ensure their confidence and optimal safety. Prior to the test, participants were given a two-minute warm-up period to become familiar with each speed and slope included in the test. During the test, the exercise workload was gradually increased every minute (Tableau 5.12) by increasing the slope (0°, 1.7°, 2.9°, 3.6°, 4.8°, 5.8° to 7.1°) and/or speed (0.6 m/s, 0.8 m/s and 1 m/s) of the treadmill. Participants had to propel their own MW until volitional exhaustion. The test could also be stopped by the research team if the elastic bands were tight and kept the MW on the treadmill, which indicated that the participant was no longer propelling at the treadmill's speed or if any abnormal cardiorespiratory measures described by the American College of Sport Medicine (ACSM) occurred.<sup>22</sup> At the end of the test, cardiorespiratory monitoring was continued until participants returned to clinically acceptable resting values.



Figure 5.6 Experimental set-up when performing the WPT<sub>Treadmill</sub>.

Tableau 5.12 Continuous treadmill-based wheelchair propulsion test.

Increments	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Slope (°)	0	0	0	1.7	1.7	2.9	2.9	3.6	4.8	4.8	4.8	5.8	5.8	7.1	7.1
Speed (m/s)	0.6	0.8	1.0	0.6	0.8	0.6	0.8	0.8	0.6	0.8	1.0	0.8	1.0	0.8	1.0

#### 5.3.3.3.2. Arm-crank ergometer test (ACET)

The participants performed the ACET with an electronic brake arm-crank ergometer (BIODEX, New York, United States). Participants completed a two-minute warm-up period during which they were asked to cycle without resistance at 50 revolutions per minute (rpm). Starting power ranged from a minimum of 20 watts to a maximum of 50 watts (average  $37 \pm 8$  watts) depending on the physical ability of each participant determined by the research team.<sup>23</sup> Then, the resistance was increased by 10 watts every minute until participants reached volitional exhaustion and stopped on their own. The participants were asked to cycle at a minimum of 50 rpm. The test was stopped if they were no longer able to maintain a cadence over 40 rpm or exhibited abnormal cardiorespiratory measures according to the ACSM.<sup>22</sup> At the end of the test,



cardiorespiratory monitoring continued until the measures returned to clinically acceptable resting values.

#### **5.3.3.4. Instrumentation and main outcome measures**

During both cardiorespiratory fitness tests, participants were equipped with a portable gas analysis system (Cosmed K4b<sup>2</sup>; COSMED, Rome, Italy) to measure their cardiorespiratory responses. This valid and reliable system allows breath-by-breath measurement of oxygen uptake ( $\text{VO}_2$ , mL/min and mL/kg/min), carbon dioxide production ( $\text{VCO}_2$ , mL/min), minute ventilation (VE, L/min), respiratory rate (RR, resp./min) and respiratory exchange ratio (RER).<sup>24</sup> Heart rate (HR, bpm) was monitored using a soft strap with a Polar® heart rate monitor (Polar FT4; POLAR, Lachine, Canada) placed around the participant's chest. The rating of perceived exertion (RPE) for localized upper extremity muscular and cardiorespiratory exertion was measured separately using the modified Borg scale (/10).<sup>25</sup>

Peak values of  $\text{VO}_2$  ( $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ),  $\text{VCO}_2$  ( $\text{VCO}_{2\text{peak}}$ ), RR ( $\text{RR}_{\text{peak}}$ ), RER ( $\text{RER}_{\text{peak}}$ ), VE ( $\text{VE}_{\text{peak}}$ ) and HR ( $\text{HR}_{\text{peak}}$ ) were computed as the peak 20-second moving average during the test. Moreover, time to exhaustion (TTE), expressed in minutes, and the number of increments successfully completed were measured. The  $\text{VO}_{2\text{peak}}$  was defined as the main outcome measure in this study.

Finally, acceptability of the new  $\text{WPT}_{\text{Treadmill}}$  was determined by asking the participants their preference between the  $\text{WPT}_{\text{Treadmill}}$  and the ACET. Moreover, to better understand their preference, participants were asked to explain their preferred choice. The  $\text{WPT}_{\text{Treadmill}}$  was considered to have a good acceptability if at least half of the participants preferred this test.

#### **5.3.3.5. Statistical analysis**

Descriptive statistics were calculated for participants' characteristics and outcome measures and were expressed as a mean (standard deviation (SD)). Normal distribution of the data was confirmed using a Shapiro-Wilk test prior to performing a Student t-test for paired

samples or the Mann-Whitney U test when appropriate to compare the results of the  $WPT_{Treadmill}$  and the ACET. Pearson's correlation coefficients ( $r$ ) were used to determine the strength of the association between the results of the  $WPT_{Treadmill}$  and the ACET. Correlation coefficient values ( $r$ ) were interpreted according to the guidelines proposed by Altman<sup>26</sup>: poor ( $r < 0.20$ ), fair (0.21–0.40), moderate (0.41–0.60), good (0.61–0.80) and very good relationship (0.81–1.00). In addition, Bland & Altman plot diagrams were used to determine the agreement between the results of the  $WPT_{Treadmill}$  and the ACET by highlighting the absolute differences between them. A P-value of  $< 0.05$  was considered statistically significant. All statistical analyzes were performed using SPSS Statistics 24.0 software for Windows.

### 5.3.4. Results

All participants successfully completed both tests and satisfied at least one of the criteria for the maximal exercise test.<sup>27</sup> Before starting the ACET, only one participant reported having minor fatigue while the other participants reported complete recovery from the first test. The mean (SD) of the outcome measures obtained during both tests and the correlation coefficients between them are summarized in Tableau 5.13. There was no significant difference ( $P \geq 0.05$ ) between the outcome measures obtained during the  $WPT_{Treadmill}$  and the ACET, except for  $RR_{peak}$  ( $P = 0.006$ ), number of increments ( $P = 0.000$ ) and TTE ( $P = 0.000$ ). A very good correlation was found between the main outcome measure (i.e.,  $VO_{2peak}$ ) measured during the  $WPT_{Treadmill}$  and the ACET ( $r = 0.88$ ) whereas all other outcome measures, except  $RER_{peak}$ , had good to very good correlation coefficients between both tests. The relationship between the  $WPT_{Treadmill}$  and the ACET for  $VO_{2peak}$ ,  $VCO_{2peak}$ ,  $HR_{peak}$  and  $VE_{peak}$  is illustrated in Figure 5.7.

**Tableau 5.13 Mean (SD) cardiorespiratory outcome measures obtained during the WPT<sub>Treadmill</sub> and the ACET and correlation coefficients (r) between them.**

	WPT <sub>Treadmill</sub>	ACET	r
VO <sub>2</sub> /kg <sub>peak</sub> (mL/kg/min)	19.48±6.65	19.55±5.78	0.88 †
VO <sub>2peak</sub> (mL/min)	1364.25±470.54	1386.44±449.45	0.88 †
VCO <sub>2peak</sub> (mL/min)	1707.67±575.27	1696.06±571.03	0.88 †
HR <sub>peak</sub> (bpm)	171.45±26.27	169.32±23.43	0.94 †
RER <sub>peak</sub>	1.49±0.23	1.46±0.25	0.32
RR <sub>peak</sub> (breaths/min)	53.51±10.65	47.69±11.88*	0.69 †
VE <sub>peak</sub> (L/min)	71.56±23.94	70.20±25.72	0.93 †
RPE <sub>muscle</sub> (/10)	7.73±1.55	8.14±1.93	0.67 †
RPE <sub>cardio</sub> (/10)	7.23±1.90	7.55±2.22	0.77 †
Increments	9.05±3.11	6.59±2.84*	0.78 †
TTE (min)	9.14±2.58	5.34±1.34*	0.79 †

\* significant difference between WPT<sub>Treadmill</sub> and ACET set at P < 0.05

† significant correlation WPT<sub>Treadmill</sub> and ACET set at P < 0.05

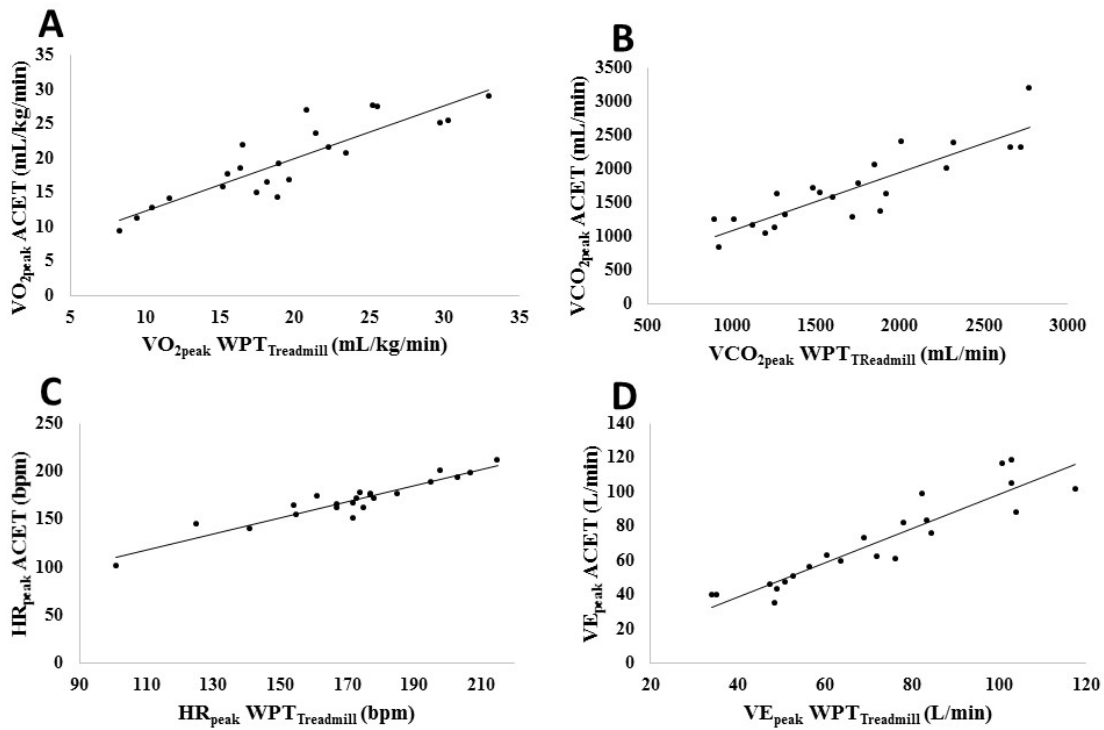


Figure 5.7 Scatter plot diagrams of A)  $VO_{2peak}$  (mL/kg/min), B)  $VCO_{2peak}$  (mL/min), C)  $HR_{peak}$  (bpm) and D)  $VE_{peak}$  (L/min) measured during the  $WPT_{Treadmill}$  and the ACET.

The Bland-Altman analysis identified that the  $VO_{2peak}$  obtained during the ACET was greater by  $0.06 \pm 3.18$  mL/kg/min on average and that the 95% limit of agreement (i.e., 1.96 SD) ranged between -6.29 and 6.17 mL/kg/min. As illustrated in Figure 5.8A, all data points are within the limit of agreement and the data points are slightly more distributed below the mean difference line (13/22 below versus 9/22 above the mean line). For  $HR_{peak}$ , the mean difference between both tests is  $2.24 \pm 8.81$  bpm with greater mean values reached during the  $WPT_{Treadmill}$  and the 95% limit of agreement ranging between -15.12 and 19.40 bpm (Figure 5.8B). All data points, except two, fall within the limit of agreement and the data points are equally distributed above and below the mean difference line.

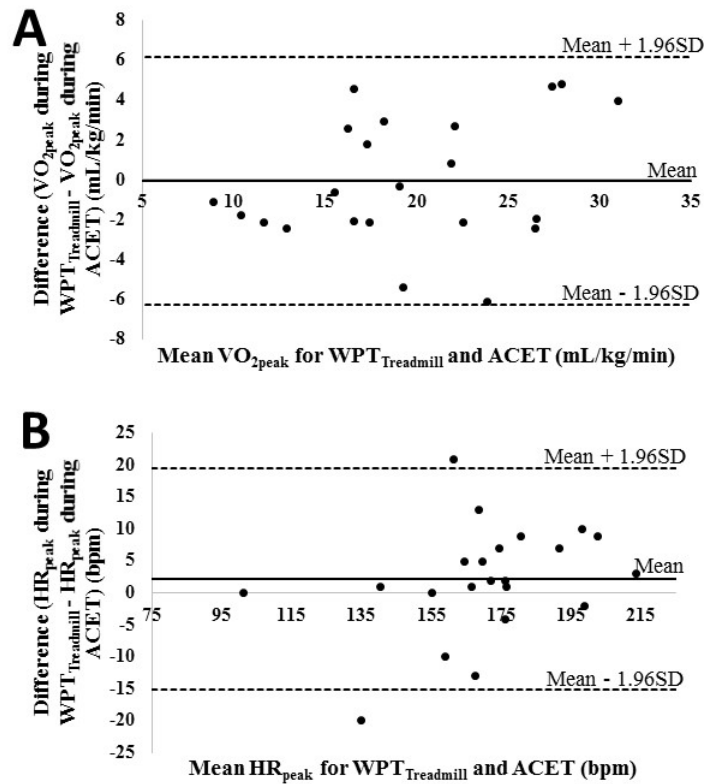


Figure 5.8 Bland-Altman plot graphs for A)  $VO_{2peak}$  and B)  $HR_{peak}$  between the WPT<sub>Treadmill</sub> and the ACET.

Participant preferences were shared for both tests since eleven participants (i.e., 11/22) preferred the WPT<sub>Treadmill</sub> and nine participants preferred the ACET (i.e., 9/22) while two participants had no preference. Four participants reported that the WPT<sub>Treadmill</sub> was less demanding for the muscles and that they felt more comfortable doing it than the arm-crank ergometer test while four participants found the ACET required less muscular effort. One participant reported feeling safer while performing the test with the arm-crank ergometer than on the treadmill. However, all participants reported that they liked the WPT<sub>Treadmill</sub> and no adverse events occurred during that test.

### **5.3.5. Discussion**

The objective of this study was to assess the validity of the cardiorespiratory fitness outcome measures obtained during the new treadmill-based wheelchair propulsion test (i.e., WPT<sub>Treadmill</sub>) compared to those obtained with a conventional arm-crank ergometer test. The results of this study suggest that the WPT<sub>Treadmill</sub> is a valid test for assessing cardiorespiratory fitness of MW users. Moreover, since there is agreement between the results obtained during both tests, the WPT<sub>Treadmill</sub> and the ACET may be interchangeable. Hence, the WPT<sub>Treadmill</sub> may be useful for measuring or comparing the effects or effectiveness of various rehabilitation or adapted physical activity programs targeting cardiorespiratory fitness of MW users during rehabilitation or in the community.

#### **5.3.5.1. Validity of the WPT<sub>Treadmill</sub>**

All participants satisfied criteria for maximal exercise during the WPT<sub>Treadmill</sub>, indicating that this test protocol is strenuous enough to be used as a maximal cardiorespiratory fitness test. The sample used in this study is representative of a general population of MW users since the mean VO<sub>2peaks</sub> found in this study were similar to others reported in studies on arm-crank ergometer tests<sup>11,28,29</sup> and MW propulsion tests<sup>2,3</sup> among non-athlete MW users. In the literature, studies on comparisons of MW tests and arm-crank ergometer tests are contradictory since some report similarities between both testing methods<sup>12,30-32</sup> while others report significant differences.<sup>13,28,33</sup> In this study, it was expected that the outcome measures of the WPT<sub>Treadmill</sub> would be similar or greater to those of the ACET. As expected, there was no significant difference between the WPT<sub>Treadmill</sub> and the ACET. Moreover, the association between both tests was good to very good (i.e.,  $r = 0.67-0.93$ ) for all outcome measures, except for RER which was fair (i.e.,  $r = 0.32$ ). Maximal cardiorespiratory fitness outcomes can be measured with confidence using the WPT<sub>Treadmill</sub>.

In this study, Bland-Altman plot diagram of the  $VO_{2\text{peak}}$  reveals a slight difference in the distribution of differences between both tests below and above the mean difference line with a slight tendency for  $VO_{2\text{peak}}$  to be higher for the ACET than for the  $WPT_{\text{Treadmill}}$ . However, this difference between  $VO_{2\text{peak}}$  for both tests is not statistically significant and the mean difference is very small with  $-0.06 \pm 3.18$  mL/kg/min. This mean difference is below the threshold of the standard error of measurement (SEM) (i.e., 2.27 mL/kg/min) and the minimal detectable change (MDC)(i.e., 5.30 mL/kg/min) of the  $WPT_{\text{Treadmill}}$  reported in a previous study<sup>17</sup>. Those results suggest that although the ACET was performed at least two hours after the  $WPT_{\text{Treadmill}}$ , there was no systematic bias and therefore no fatigue effect.

In terms of  $HR_{\text{peak}}$ , the Bland-Altman plot revealed no systematic bias since all data points were equally distributed from either side of the mean difference line. Moreover, the mean difference between  $HR_{\text{peak}}$  measured during both tests was small (i.e., 2.14 bpm) with a slight tendency for the  $HR_{\text{peak}}$  to be higher during the  $WPT_{\text{Treadmill}}$ . The limit of agreement between the  $HR_{\text{peak}}$  measured during the ACET and the  $WPT_{\text{Treadmill}}$  was broad with values between 19.40 and -15.12 bpm. However, this limit of agreement was close to the MDC calculated in a previous study (i.e.,  $MDC=17.99$  bpm).<sup>17</sup> Bloemen et al.<sup>28</sup> found a similar MDC (i.e., 17 bpm) and SEM (i.e., 6 bpm) results for a MW propulsion test on a wheelchair ergometer. Moreover, Hol et al.<sup>23</sup> have found similar limits of agreement (i.e., -19 to 20 bpm) for test-retest reliability with a six-minute arm test. The results of this study are thus similar to those reported in the literature.

Cardiorespiratory fitness tests among able-bodied individuals are preferably done while running on a motorized treadmill rather than on a cycle ergometer since cycling leads to muscular fatigue more quickly as most individuals are less familiar with cycling.<sup>34</sup> Moreover, this form of exercise elicits a higher level of blood lactate, which causes pain and a fatigue sensation<sup>35</sup>, for comparable workloads compared to running.<sup>36</sup> This difference is mainly due to a difference in muscular recruitment patterns that leads to greater anaerobic energy expenditure during cycling.<sup>36</sup> It was expected that, similar to the running versus cycling studies, the arm-crank ergometer would lead to greater perceived muscle exertion than MW propulsion. Firstly, since participants are less familiar with arm-cranking than propelling, participants may perceive it to be more strenuous. Furthermore, during arm-cranking, both upper extremities are always

applying a concentric force to the ergometer since the force is continuously applied following a push-pull pattern. During MW propulsion, application of force is discontinuous and allows the propulsive muscles a "recovery" period when the hands go back to the initial position on the hand rim.<sup>14,37</sup> During that phase, recovery muscles use an eccentric force to decelerate the arm but it is less demanding than the push phase since no resistance is applied to the arm.<sup>38</sup> In this study, no difference between tests for  $RPE_{\text{muscle}}$  was found. This can be explained, in part, by the fact that most participants in this study were active and fit so they were less likely to develop early muscular fatigue. Moreover, many participants, especially those in rehabilitation, were used to arm-cranking since they trained regularly with an arm-crank ergometer. A study among non-physically active MW users could possibly confirm our hypothesis.

A maximal cardiorespiratory fitness test should last between 8 and 12 minutes<sup>39</sup> to optimally represent real cardiorespiratory maximal capacity. In fact, a test lasting less than six minutes may indicate a nonlinear relationship between  $VO_2$  and workload while muscular fatigue may cause the participant to end a test lasting more than 12 minutes. In this study, the duration of the  $WPT_{\text{Treadmill}}$  was appropriate since the mean value was  $9.14 \pm 2.58$  minutes. Only four participants completed the test in less than six minutes. Three of those participants had a cervical level SCI injury and the other participant had a high level of paraplegia and was only four months post-injury. Moreover, those results are consistent with Pelletier et al.<sup>40</sup> who found that individuals with tetraplegia reach maximal exertion before or near six minutes while using an arm-crank ergometer. In fact, they found that individuals with a high level of paraplegia in rehabilitation had a TTE of  $6:08 \pm 0:55$  minutes while individuals with a lower level of paraplegia reached exhaustion in  $7:13 \pm 0:55$  minutes. Even though the initial resistance was on average  $37 \pm 8$  watts in our study, TTE for the arm-crank test (i.e.,  $5.34 \pm 1.34$  minutes) was similar to that found by Pelletier et al.<sup>40</sup>, who started the tests without resistance (i.e., initial resistance = 0 watts). It is reasonable to assume that if we had started the test without resistance with our sample, we would have obtained a longer TTE for the ACET and thus perhaps similar TTE values to the  $WPT_{\text{Treadmill}}$ . However, such an approach would have been risky since greater upper extremity localized muscular fatigue may have developed than what was observed and may have jeopardized the results.



### **5.3.5.2. Acceptability of the WPT<sub>Treadmill</sub>**

To determine the acceptability of the new WPT<sub>Treadmill</sub>, participants were asked to indicate their preference between the WPT<sub>Treadmill</sub> and the ACET and explain their preferred choice. Participant preferences and the explanation of the preference were shared for both tests. There was no tendency for a test to be perceived more demanding than the other or safer than the other. Since all participants liked the WPT<sub>Treadmill</sub> and no adverse events occurred during that test the choice of the test should be made according to the preference of the MW user when a task-specific MW propulsion test has less importance and when both are available.

### **5.3.5.3. Study limitations**

The principal limitation of this study was that the tests were only separated by a two-hour rest period. This short period of rest was chosen due to time and transportation issues encountered by most of the participants. We would have expected the participants to experience fatigue before the beginning of the ACET, but only participant reported fatigue. Since, all participants met the criteria for maximal exertion during the second test, the short rest period did not appear to affect the results. Some participants even reported that the ACET was easier than the WPT<sub>Treadmill</sub>. Moreover, the fact that the WPT<sub>Treadmill</sub> was always completed before the ACET could have influenced the results. Another limit of this study is that the sample was heterogeneous, making comparison with other studies difficult and limiting the interpretation of the results. Most studies that compare MW propulsion and arm-crank ergometers have used a sample of individuals with a SCI or able-bodied individuals while this study included participants with various conditions and thus various levels of physical fitness. However, this heterogeneity supports the use/applicability of the WPT<sub>Treadmill</sub> among a large population of MW users, even with unexperienced MW users during their rehabilitation period.

### **5.3.6. Conclusion**

The WPT<sub>Treadmill</sub> is a valid test for assessing cardiorespiratory fitness among MW users. This test can be used with confidence instead of a conventional arm-crank ergometer test especially when specific MW propulsion cardiorespiratory fitness is needed. The WPT<sub>Treadmill</sub> may be more appropriate when assessing the effects or effectiveness of training programs aimed

at increasing cardiorespiratory fitness using MW propulsion training or when assessing everyday physical ability of MW users. Also, the WPT<sub>Treadmill</sub> may become a useful test for rehabilitation professionals to quantify changes over time or the impact of various treatments on cardiorespiratory fitness of MW users in clinical and research settings. Further studies on the psychometric properties of the WPT<sub>Treadmill</sub> investigating the responsiveness of this test among a larger cohort of MW users with various impairments is warranted.

## **GRANTS**

This study was funded by a partnership between the Ordre professionnel de la physiothérapie du Québec (OPPQ) and the Quebec Rehabilitation Research Network (REPAR). The equipment and material required for the research completed at the Pathokinesiology Laboratory was financed by the Canada Foundation for Innovation (CFI). C.G. is supported by a doctoral scholarship from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR). D.G. co-chairs the Initiative for the Development of New Technologies and Practices in Rehabilitation (INSPIRE) funded by the LRH Foundation and co-led the Rehabilitation Interventions for Individuals with a SCI in the Community research team funded by the Ontario Neurotrauma Foundation and the Quebec Rehabilitation Research Network (REPAR).

## **DISCLOSURE**

No conflicts of interest, financial or otherwise, are declared by the authors.

## **AUTHORS CONTRIBUTIONS**

All authors have read and approved of the manuscript.

## **ACKNOWLEDGEMENTS**

The authors thank Michel Goyette and Philippe Gordou for their technical support and assistance while preparing and conducting this study. Thanks are also extended to Mylène Leclerc for her assistance during the laboratory assessments.

### 5.3.7. References

1. van den Berg-Emons RJ, Bussmann JB, Stam HJ. Accelerometry-Based Activity Spectrum in Persons with Chronic Physical Conditions. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91(12):1856-61. Epub 2010/11/30. PubMed PMID: 21112426.
2. van der Scheer JW, de Groot S, Tepper M, Gobets D, et al. Wheelchair-Specific Fitness of Inactive People with Long-Term Spinal Cord Injury. *J Rehabil Med*. 2015;47(4):330-7. Epub 2015/01/17. PubMed PMID: 25594246.
3. Haisma JA, van der Woude LH, Stam HJ, Bergen MP, et al. Physical Capacity in Wheelchair-Dependent Persons with a Spinal Cord Injury: A Critical Review of the Literature. *Spinal Cord*. 2006;44(11):642-52. PubMed PMID: 16534502.
4. Phillips WT, Kiratli BJ, Sarkarati M, Weraarchakul G, et al. Effect of Spinal Cord Injury on the Heart and Cardiovascular Fitness. *Curr Probl Cardiol*. 1998;23(11):641-716. Epub 1998/11/27. PubMed PMID: 9830574.
5. Garshick E, Kelley A, Cohen SA, Garrison A, et al. A Prospective Assessment of Mortality in Chronic Spinal Cord Injury. *Spinal Cord*. 2005;43(7):408-16. PubMed PMID: 15711609; PubMed Central PMCID: PMC1298182.
6. Myers J, Lee M, Kiratli J. Cardiovascular Disease in Spinal Cord Injury: An Overview of Prevalence, Risk, Evaluation, and Management. *Am J Phys Med Rehabil*. 2007;86(2):142-52. Epub 2007/01/26. PubMed PMID: 17251696.
7. Dallmeijer AJ, van der Woude LH, Hollander AP, van As HH. Physical Performance During Rehabilitation in Persons with Spinal Cord Injuries. *Med Sci Sports Exerc*. 1999;31(9):1330-5. Epub 1999/09/16. PubMed PMID: 10487376.
8. Pelletier CA. Incorporating Physical Activity into the Rehabilitation Process after Spinal Cord Injury. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2014;39(4):513. Epub 2014/03/29. PubMed PMID: 24669995.
9. Warburton DE, Eng JJ, Krassioukov A, Sproule S. Cardiovascular Health and Exercise Rehabilitation in Spinal Cord Injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2007;13(1):98-122. Epub 2007/07/01. PubMed PMID: 22719205; PubMed Central PMCID: PMCPMC3377606.
10. Price MJ, Bottoms L, Smith PM, Nicholettos A. The Effects of an Increasing Versus Constant Crank Rate on Peak Physiological Responses During Incremental Arm Crank Ergometry. *J Sports Sci*. 2011;29(3):263-9. Epub 2010/12/15. PubMed PMID: 21154011.
11. Battikha M, Sa L, Porter A, Taylor JA. Relationship between Pulmonary Function and Exercise Capacity in Individuals with Spinal Cord Injury. *Am J Phys Med Rehabil*. 2014;93(5):413-21. Epub 2014/01/09. PubMed PMID: 24398580.
12. Torhaug T, Brurok B, Hoff J, Helgerud J, et al. Arm Crank and Wheelchair Ergometry Produce Similar Peak Oxygen Uptake but Different Work Economy Values in Individuals

- with Spinal Cord Injury. *Biomed Res Int*. 2016;2016:5481843. Epub 2016/05/05. PubMed PMID: 27144169; PubMed Central PMCID: PMC4842047.
13. Hintzy F, Tordi N, Perrey S. Muscular Efficiency During Arm Cranking and Wheelchair Exercise: A Comparison. *Int J Sports Med*. 2002;23(6):408-14. Epub 2002/09/07. PubMed PMID: 12215959.
  14. Gagnon D, Babineau AC, Champagne A, Desroches G, et al. Trunk and Shoulder Kinematic and Kinetic and Electromyographic Adaptations to Slope Increase During Motorized Treadmill Propulsion among Manual Wheelchair Users with a Spinal Cord Injury. *Biomed Res Int*. 2015;2015:636319. Epub 2015/03/21. PubMed PMID: 25793200; PubMed Central PMCID: PMC4352451.
  15. Howarth SJ, Polgar JM, Dickerson CR, Callaghan JP. Trunk Muscle Activity During Wheelchair Ramp Ascent and the Influence of a Geared Wheel on the Demands of Postural Control. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91(3):436-42. Epub 2010/03/20. PubMed PMID: 20298836.
  16. Vanlandewijck YC, Spaepen AJ, Lysens RJ. Wheelchair Propulsion Efficiency: Movement Pattern Adaptations to Speed Changes. *Med Sci Sports Exerc*. 1994;26(11):1373-81. PubMed PMID: 7837958.
  17. Gauthier C, Arel J, Brosseau R, Hicks AL, et al. Reliability and Minimal Detectable Change of a New Treadmill-Based Progressive Workload Incremental Test to Measure Cardiorespiratory Fitness in Manual Wheelchair Users *Journal of Spinal Cord Medicine*. In review.
  18. Sonenblum SE, Sprigle SH, Martin JS. Everyday Sitting Behavior of Full-Time Wheelchair Users. *J Rehabil Res Dev*. 2016;53(5):585-98. Epub 2016/11/30. PubMed PMID: 27898157.
  19. American College of Sports Medicine., Swain DP, Brawner CA. *Acsm's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 7th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins; 2014. xv, 862 p.
  20. Curtis KA, Roach KE, Applegate EB, Amar T, et al. Reliability and Validity of the Wheelchair User's Shoulder Pain Index (Wuspi). *Paraplegia*. 1995;33(10):595-601. PubMed PMID: 8848314.
  21. Fletcher GF, Balady GJ, Amsterdam EA, Chaitman B, et al. Exercise Standards for Testing and Training: A Statement for Healthcare Professionals from the American Heart Association. *Circulation*. 2001;104(14):1694-740. Epub 2001/10/03. PubMed PMID: 11581152.
  22. American College of Sport Medicine. *Acsm's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription*. 5th ed: Lippincott Williams and Wilkins; 2006.
  23. Hol AT, Eng JJ, Miller WC, Sproule S, et al. Reliability and Validity of the Six-Minute Arm Test for the Evaluation of Cardiovascular Fitness in People with Spinal Cord Injury.

- Arch Phys Med Rehabil.* 2007;88(4):489-95. PubMed PMID: 17398251; PubMed Central PMCID: PMC3265543.
24. Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. Accuracy and Reliability of a Cosmed K4b2 Portable Gas Analysis System. *J Sci Med Sport.* 2004;7(1):11-22. Epub 2004/05/14. PubMed PMID: 15139160.
  25. Wilson RC, Jones PW. A Comparison of the Visual Analogue Scale and Modified Borg Scale for the Measurement of Dyspnoea During Exercise. *Clin Sci (Lond).* 1989;76(3):277-82. Epub 1989/03/01. PubMed PMID: 2924519.
  26. Altman DG. *Practical Statistics for Medical Research:* Taylor & Francis; 1990.
  27. Howley ET, Bassett DR, Jr., Welch HG. Criteria for Maximal Oxygen Uptake: Review and Commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(9):1292-301. Epub 1995/09/01. PubMed PMID: 8531628.
  28. Bloemen MA, de Groot JF, Backx FJ, Westerveld RA, et al. Arm Cranking Versus Wheelchair Propulsion for Testing Aerobic Fitness in Children with Spina Bifida Who Are Wheelchair Dependent. *J Rehabil Med.* 2015;47(5):432-7. Epub 2015/04/18. PubMed PMID: 25882374.
  29. Simmons OL, Kressler J, Nash MS. Reference Fitness Values in the Untrained Spinal Cord Injury Population. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95(12):2272-8. Epub 2014/07/11. PubMed PMID: 25007709.
  30. Arabi H, Vandewalle H, Pitor P, de Lattre J, et al. Relationship between Maximal Oxygen Uptake on Different Ergometers, Lean Arm Volume and Strength in Paraplegic Subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;76(2):122-7. Epub 1997/01/01. PubMed PMID: 9272769.
  31. Gass EM, Harvey LA, Gass GC. Maximal Physiological Responses During Arm Cranking and Treadmill Wheelchair Propulsion in T4-T6 Paraplegic Men. *Paraplegia.* 1995;33(5):267-70. PubMed PMID: 7630652.
  32. Martel G, Noreau L, Jobin J. Physiological Responses to Maximal Exercise on Arm Cranking and Wheelchair Ergometer with Paraplegics. *Paraplegia.* 1991;29(7):447-56. PubMed PMID: 1784511.
  33. Gass GC, Camp EM. The Maximum Physiological Responses During Incremental Wheelchair and Arm Cranking Exercise in Male Paraplegics. *Med Sci Sports Exerc.* 1984;16(4):355-9. PubMed PMID: 6436633.
  34. Darter BJ, Rodriguez KM, Wilken JM. Test-Retest Reliability and Minimum Detectable Change Using the K4b2: Oxygen Consumption, Gait Efficiency, and Heart Rate for Healthy Adults During Submaximal Walking. *Res Q Exerc Sport.* 2013;84(2):223-31. Epub 2013/08/13. PubMed PMID: 23930548; PubMed Central PMCID: PMC3265543.

35. Vickers R. Measurement Error in Maximal Oxygen Uptake Tests. In: Center NHR, editor. San Diego supported by the U.S. Army Medical Research and Materiel Command; 2003. p. 1-23.
36. Stoller O, de Bruin ED, Schindelholz M, Schuster-Amft C, et al. Cardiopulmonary Exercise Testing Early after Stroke Using Feedback-Controlled Robotics-Assisted Treadmill Exercise: Test-Retest Reliability and Repeatability. *J Neuroeng Rehabil*. 2014;11:145. Epub 2014/10/13. PubMed PMID: 25306061; PubMed Central PMCID: PMC4271449.
37. Bruce RA, Blackmon JR, Jones JW, Strait G. Exercising Testing in Adult Normal Subjects and Cardiac Patients. *Pediatrics*. 1963;32:Suppl 742-56. Epub 1963/10/01. PubMed PMID: 14070531.
38. Ishii H, Nishida Y. Effect of Lactate Accumulation During Exercise-Induced Muscle Fatigue on the Sensorimotor Cortex. *Journal of Physical Therapy Science*. 2013;25(12):1637-42. PubMed PMID: PMC3885857.
39. Scott CB, Littlefield ND, Chason JD, Bunker MP, et al. Differences in Oxygen Uptake but Equivalent Energy Expenditure between a Brief Bout of Cycling and Running. *Nutr Metab (Lond)*. 2006;3:1. Epub 2006/01/05. PubMed PMID: 16390548; PubMed Central PMCID: PMC1334197.
40. Mulroy SJ, Gronley JK, Newsam CJ, Perry J. Electromyographic Activity of Shoulder Muscles During Wheelchair Propulsion by Paraplegic Persons. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996;77(2):187-93. Epub 1996/02/01. PubMed PMID: 8607745.
41. Rankin JW, Richter WM, Neptune RR. Individual Muscle Contributions to Push and Recovery Subtasks During Wheelchair Propulsion. *Journal of biomechanics*. 2011;44(7):1246-52. PubMed PMID: PMC3086712.
42. Arena R, Myers J, Williams MA, Gulati M, et al. Assessment of Functional Capacity in Clinical and Research Settings: A Scientific Statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation*. 2007;116(3):329-43. Epub 2007/06/20. PubMed PMID: 17576872.
43. Pelletier CA, Jones G, Latimer-Cheung AE, Warburton DE, et al. Aerobic Capacity, Orthostatic Tolerance, and Exercise Perceptions at Discharge from Inpatient Spinal Cord Injury Rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 2013;94(10):2013-9. PubMed PMID: 23747647.

## **5.4. Article #4: Feasibility, safety and preliminary effectiveness of a home-based self-managed high-intensity interval training program offered to long-term manual wheelchair users**

Cindy Gauthier<sup>1,2</sup>, Rachel Brosseau<sup>1,3</sup>, Audrey L. Hicks<sup>4</sup>, Dany H. Gagnon<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> School of Rehabilitation ([www.umontreal.readap.ca](http://www.umontreal.readap.ca)), Université de Montréal, QC, Canada

<sup>2</sup> Pathokinesiology Laboratory ([www.pathokin.ca](http://www.pathokin.ca)), Centre for Interdisciplinary Research in Rehabilitation of Greater Montreal, Centre intégré universitaire de santé et services sociaux du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal – Site: Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, Montreal, QC, Canada

<sup>3</sup> Montreal Heart Institute, Montreal, QC, Canada

<sup>4</sup> Department of Kinesiology, McMaster University, Hamilton, ON, Canada

*Article en révision au journal Rehabilitation Research and Practice*

En tant qu'auteure principale, je confirme mon apport considérable et majoritaire à chacune des étapes ayant mené à la rédaction de cet article, ce qui inclut le développement du protocole, les collectes de données, le traitement et l'analyse des données, l'interprétation finale des résultats et la rédaction du manuscrit. Dr Dany Gagnon a encadré et supervisé chacune des étapes de l'étude et a contribué à l'analyse et à l'interprétation des données ainsi qu'à la révision de cet article. Tous les auteurs ont participé à l'interprétation des résultats et à la rédaction de l'article.



### 5.4.1. Préface

Le troisième projet de cette thèse devait initialement porter sur la comparaison de deux programmes d'entraînement (HIIT versus MICT) en fauteuil roulant manuel effectués sur le tapis roulant motorisée. Le test développé et validé lors des projets #1 et #2 devait être utilisé afin de quantifier le changement de la capacité cardiorespiratoire suite aux programmes d'entraînement alors que l'équation développée lors du projet #1 devait être utilisée pour prescrire des programmes personnalisés. Chacun des programmes d'entraînement étaient d'une durée de quatre semaines et comprenaient trois séances de 40 minutes d'entraînement par semaine. Ces programmes étaient initialement offerts aux nouveaux usagers d'un fauteuil roulant manuel pendant leur période de réadaptation fonctionnelle intensive à l'IRGLM. Cependant, des changements importants sont survenus au niveau des services de réadaptation de l'IRGLM ce qui a engendré une réduction importante des temps de séjour. Aucun participant recruté au début du projet (n=7) n'a pu compléter le projet de recherche en raison d'un congé prématuré de réadaptation. Les critères d'inclusion furent modifiés afin d'inclure également des participants ayant terminé leur réadaptation pour augmenter le recrutement. Cependant, les participants vivant à domicile éprouvaient des difficultés de transport et de disponibilité pour se rendre à l'IRGLM trois fois par semaine. Le recrutement était donc très difficile. Nous avons alors décidé de proposer des programmes d'entraînement effectués directement dans la communauté afin de pallier aux différentes contraintes rencontrées par les usagers d'un fauteuil roulant manuel. De plus, afin de faciliter le recrutement et d'éviter aux participants de se déplacer au laboratoire pour les évaluations initiales et finales, nous avons pris la décision d'effectuer ces dernières à domicile également. Nous avons donc utilisé un ergomètre portatif pour membres supérieurs que nous apportions au domicile des participants pour l'évaluation de la capacité cardiorespiratoire à domicile.

### 5.4.2. Abstract

**Objectives:** To investigate the feasibility, safety and preliminary effectiveness of home-based self-managed manual wheelchair high-intensity interval training (HIIT) compared to moderate-intensity continuous training (MICT).

**Methods:** Eleven manual wheelchair users were randomly assigned to the HIIT (n = 6) or MICT group (n = 5). Both six-week programs consisted of three, 40-minute propulsion training sessions per week. The HIIT group alternated between 30-s high-intensity intervals and 60-s low-intensity intervals, whereas the MICT group maintained a constant moderate intensity. Cardiorespiratory fitness, upper limb strength and shoulder pain were measured before and after the programs. Participants completed a questionnaire on the programs that explored general areas of feasibility.

**Results:** The answers to the questionnaire demonstrated that both training programs were feasible in the community. No severe adverse events occurred, although some participants experienced increased shoulder pain during HIIT. Neither program yielded a significant change in cardiorespiratory fitness or upper limb strength. However, both groups reported moderate to significant subjective improvement.

**Conclusion:** Home-based wheelchair HIIT appears feasible and safe although potential development of shoulder pain remains a concern and should be addressed with a future preventive shoulder exercise program. Some recommendations have been proposed for a larger study aiming to strengthen evidence regarding the feasibility, safety and effectiveness of HIIT.

**Key words:** high-intensity interval training, manual wheelchair, cardiorespiratory fitness, physical activity, spinal cord injury

### 5.4.3. Introduction

A large proportion of individuals with a spinal cord injury (SCI) will need to learn to use a manual wheelchair as a means of mobility. Propelling a manual wheelchair requires good strength of the upper limbs (U/Ls) and trunk, and good cardiorespiratory fitness [1-3]. However, most long-term manual wheelchair users (MWUs) with an SCI who live in the community adopt a sedentary lifestyle usually characterized by prolonged inactive sitting and limited physical activity [4, 5]. Hence, their cardiorespiratory fitness level is reduced which, in turn, could negatively affect their functional capacity and social participation while also increasing their risk of developing or exacerbating secondary cardiovascular and endocrine-metabolic complications [6, 7].

Long-term MWUs who want to engage in physical activity often face barriers such as a lack of accessible facilities and equipment or a lack of affordable transportation to access adapted facilities. Moreover, they often have difficulty developing and adapting their cardiorespiratory fitness training program due to their condition [8]. A simple way to overcome these barriers is to propose home-based self-managed training programs which eliminates the need for accessible facilities and transportation. MWUs can use their own manual wheelchair to participate in a cardiorespiratory fitness training program. Moreover, home-based training programs are recognized to be as effective as center-based programs while also having high adherence rates in cardiac rehabilitation [9]. However, only few studies have assess the feasibility and effectiveness of home-based training programs among MWUs [10, 11].

Task-specific training protocols aimed at optimizing cardiorespiratory fitness among MWUs who propel their manual wheelchair have not been thoroughly studied. To date, the majority of studies on cardiorespiratory MWUs fitness programs have focussed on arm-crank ergometers [12]. It is also worth noting that a task-specific [13] manual wheelchair cardiorespiratory training program could improve muscle strength (i.e., increased relative efficiency) as well as optimize wheelchair-related skills [14, 15]. These potential gains may

minimize the risk of secondary U/Ls impairments and ultimately improve social participation among MWUs. Current exercise recommendations for individuals with an SCI predominantly suggest moderate to vigorous-intensity continuous training (MICT) exercises coupled with strengthening exercises [16, 17]. However, the focus of recent studies has shifted toward high-intensity interval training (HIIT). HIIT is expected to result in greater improvement in cardiorespiratory fitness than MICT [18-22]. HIIT is particularly interesting, since this training approach allows individuals to train at a higher intensity than MICT and for longer periods of time within a high intensity range [23, 24], which we know is crucial for muscular (e.g., endurance, power) and cardiorespiratory adaptive changes [23-25]. Overall, HIIT has been found to lead to better physiological adaptations than MICT in able-bodied and cardiac populations [22-24, 26-29]. Only few studies have assessed HIIT among individuals with an SCI [30, 31] and only one have compared it to MICT [32]. However, exercise effects in able-bodied can't be directly translated among individuals with an SCI since exercise is usually done with U/Ls by these while exercise is done by lower limbs by able-bodied individuals. Additional knowledge on the effects of HIIT among individuals with an SCI is needed, particularly since several activities of daily living require short intense bursts of exertion similar to those required in HIIT, such as ascending an access ramp in a manual wheelchair. Hence, offering a personalized home-based self-managed manual wheelchair HIIT program represents a promising option in order to provide a task-specific cardiorespiratory training program.

This pilot study will investigate the feasibility, safety and preliminary effectiveness of a home-based HIIT program compared to an MICT program among long-term MWUs with SCI living in the community. General areas of focus for feasibility [33] will be explored in a questionnaire on the training programs. Safety of the home-based training programs will be measured based on the number of adverse events. Finally, preliminary effectiveness on cardiorespiratory fitness and maximal isometric strength of key U/L muscle groups of each training program will be measured and compared. It is hypothesized that both training programs will be feasible and safe. It is also hypothesized that individuals in the HIIT group will experience greater cardiorespiratory fitness and U/L strength improvement in comparison with those in the MICT group.

## **5.4.4. Methods**

### **5.4.4.1. Participants**

A sample of 11 community dwelling long-term MWUs with an SCI was recruited for this study using a list of participants who previously participated in research project(s) and accepted to be contacted again. Each MWU underwent a clinical assessment performed by a physiotherapist to confirm eligibility for this study and to collect personal characteristics (age, type of injury, time since injury and physical activity level [34]) and anthropometric parameters (weight and height) (Table 1). The inclusion criteria were to be between 18 and 65 years of age, to use a manual wheelchair as a primary means of mobility in the community and to reside within 75 km of the research center. Moreover, potential participants had to be independent in terms of basic wheelchair skills like propelling up ramps and negotiating turns/curves. Potential participants with medical contraindications to cardiorespiratory assessment and training according to American College of Sports Medicine (ACSM) standards [35] were excluded from the study. The Physical Activity Readiness Questionnaire for Everyone (PAR-Q+) [36] was completed by participants to ensure they could take part in a physical training program. Participants were excluded if they had any other associated condition or complication that could impede participation in the training or could be worsened by the training program. The Wheelchair User's Shoulder Pain Index (WUSPI) [37] was completed to screen for potential shoulder pain interference with the performance of various functional activities. Participants were excluded if their shoulder pain on the WUSPI was greater than 5/10 for question 5 ("Pushing your manual wheelchair for 10 minutes or more?") and question 6 ("Pushing your manual wheelchair up ramps or inclines outdoors?"). The study was conducted directly in participants' homes. Ethical approval was obtained from the Research Ethics Committee of the CRIR (#CRIR-1068-0315). All participants reviewed and signed the informed consent form before entering the study.

### **5.4.4.2. Study design**

This study is an exploratory randomized, controlled, open-label trial with participants assigned to one of two groups: high-intensity interval training (HIIT) or moderate-intensity

continuous training (MICT). Assessments were conducted for each participant before (T1) and after (T2) the home-based training programs.

#### **5.4.4.3. Group allocation**

After the initial assessment, participants were randomly assigned to one of the two experimental groups: HIIT (N=6) or MICT (N=5). A blocked randomization method and a sequentially numbered, opaque, sealed envelope allocation concealment method was used.

#### **5.4.4.4. Intervention**

Participants completed the home-based training programs that incorporated three, 40-minute training sessions per week over a period of 6 weeks. Before the training programs began, the physiotherapist first reviewed the attributes of the training program assigned to each participant. The physiotherapist also gave participants a paper copy of the Modified Borg Scale and explained how to use it to monitor exertion intensity [38]. The rate of perceived exertion (RPE) was used to monitor the exertion intensity since as a result of alteration of the autonomic system, individuals with an SCI above T6 have lower peak heart rate ( $HR_{peak}$ ) values [39]. Using a percentage of the  $HR_{peak}$  could have led to overestimated exercise intensity. Thereafter, each participant, with the help of the physiotherapist, planned out at least one training route where training sessions could be properly completed. Moreover, to ensure that participants had similar knowledge of the recommended manual wheelchair propulsion techniques, all participants watched a 5-minute tutorial video, highlighting the best propulsion techniques to preserve U/L integrity before starting their training program [40, 41].

The physiotherapist subsequently called participants on a weekly basis to ensure that the training program was running smoothly and being performed safely. They discussed the training route, barriers and facilitators to training, adverse events as well as satisfaction with the assigned program. If there were any issues, the physiotherapist discussed them with the participant to find solutions (e.g., change the training route if the target exertion level was difficult to achieve on the initial route). The training schedule was modified if compliance was difficult to maintain

due to constraints. Participants also completed a daily log book to describe the time spent exercising.

#### 5.4.4.4.1. High-intensity interval training

Participants assigned to this group were asked to complete a 5-minute warm-up period at a rate of perceived exertion (RPE) between 2 (light) and 3 (moderate) on the Modified Borg Scale (/10) [38]. Participants were then asked to propel their wheelchair at high and low intensities during 30- and 60-second intervals, respectively, and to repeat this sequence 20 times over a total period of 30 minutes. During the 30-second high-intensity interval [42], participants needed to reach an RPE between 6 and 8 (very hard). Each high intensity interval was followed by a 60-second low-intensity interval at an RPE between 1 (very light) and 2 (light). At the end of the training, there was a 5-minute cool-down period at an RPE between 2 and 3.

#### 5.4.4.4.2. Moderate-intensity continuous training

Participants assigned to this group were also asked to complete a 5-minute warm-up period at an RPE between 2 and 3 on the Modified Borg Scale (/10). Participants were then asked to propel their wheelchair for 30 minutes at a constant speed while maintaining an RPE between 4 (somewhat difficult) and 5 (difficult). At the end of the training, there was a 5-minute cool-down period at an RPE between 2 and 3.

#### 5.4.4.5. Assessments and outcome measures

A clinical assessment was completed before (T1) and after (T2) the training programs. All tests and questionnaires were completed during a single assessment session done at each participant's home. For each participant, both assessments (T1 and T2) were performed at the same time of the day ( $\pm$  one hour) to limit the impact of the circadian rhythm on the cardiorespiratory outcome measures [43]. Moreover, participants were asked to avoid consuming caffeine or alcohol at least two hours prior to each test and were instructed to refrain from intense exercise the day before the test [44]. Upper limb strength assessment was performed first, followed by a rest period of approximately 30 minutes after which the cardiorespiratory fitness test was completed.



#### 5.4.4.5.1. Satisfaction and perceived benefits

After completion of the training programs, participants completed a questionnaire to measure different aspects of feasibility of the training programs. This questionnaire had 17 items covering various domains: general satisfaction (i.e., acceptability) (two items), feasibility of the training program (five items), perceived benefits for health (six items), perceived risks during training (three items) and motivation to remain physically active upon completion of the program (one item) (See Supplementary information). Participants were asked to rate their agreement with each sentence on a 7-point Likert scale ranging from 1 (complete disagreement) to 7 (complete agreement), except for questions on perceived benefits for health for which they were asked to rate their level of change using an Osgood's semantic differential scale ranging from 1 (significant deterioration) to 7 (significant improvement). For each question, the item assessed was judged as being favourable whenever the score was  $\geq 5$  (slight agreement), except for the perceived risk during training for which the threshold was set at  $\leq 3/7$  (slight disagreement).

#### 5.4.4.5.2. Feasibility

This study explored general areas of focus as proposed by Bowen et al. [33] for feasibility studies (i.e., acceptability, demand, implementation, practicality and preliminary effectiveness). First, the acceptability represents the extent to which a program is judged suitable, satisfying or attractive. In this study, it is measured by the level of satisfaction (question 1), the perceived appropriateness (question 2) and the intent to continue (question 17). The demand of the training programs represents the extent to which a program is likely to be used and it can be measured by the actual use (i.e., compliance rate). [45]The implementation assesses if the program can be successfully put into practice by the participants in some defined, but not fully controlled contexts. Questions 3 to 6 of the questionnaire addressed implementation of the 6-week training programs. Practicality is the capacity to carry out the programs using the existing resources and context (i.e., the ability to reach the prescribed exercise intensity). Question 7 focused on the practicality of the cardiorespiratory fitness training programs directly in the community. Finally, the preliminary effectiveness has been measured by cardiorespiratory

fitness testing and maximal isometric strength assessment. Moreover, subjective benefits following completion of both training programs were assessed by the questions 8 to 13 of the questionnaire.

A score of more than 5 (slight agreement) on 7 (complete agreement) on related questions was used to assess the feasibility of each aspect. For the subjective effectiveness, perceived benefits were confirmed whenever a participant rated their perceived improvements for a specific question at 5 (small improvements) or more on 7 (important improvements).

#### 5.4.4.5.3. Safety and perceived risks

The safety of each training program was determined by the absence of adverse events, including the absence of a significant increase in shoulder pain measured with the WUSPI questionnaire (i.e., > 5.10 points of the total score which corresponds to the minimal detectable change [37]). Moreover, the perceived level of risk during the training programs was measured by questions 14 to 16.

#### 5.4.4.5.4. Preliminary effectiveness

##### 5.4.4.5.4.1. Cardiorespiratory fitness testing

All participants completed a maximal cardiorespiratory fitness test using a mechanically braked arm ergometer (Monark rehab trainer 881E, Vansbro, Sweden). Participants were first asked to cycle for a two-minute warm-up period. The test then started without resistance before being increased in 10W increments every minute [45]. During the test, participants were asked to arm cycle at a minimum of 50 rpm and to continue to arm cycle until they reached volitional fatigue. The test was stopped when they were not able to maintain a 40-rpm cadence or exhibited abnormal cardiorespiratory measures according to the ACSM [35]. In order to measure cardiorespiratory responses, the participants were equipped with a portable respiratory gas analyzer device (Cosmed K4b<sup>2</sup>; Cosmed, Rome, Italy) which has been shown to be valid and reliable for measuring gas exchange during exercise [46]. Participants also wore a Polar® HR monitor (Polar FT4; Polar, Lachine, Canada) around their chest to measure their heart rate (HR). Participants were asked to rate their perceived U/L muscular exertion ( $RPE_{\text{muscle}}$ ) and their

perceived cardiorespiratory exertion ( $RPE_{\text{cardio}}$ ) separately, using the Modified Borg Scale (/10) at the end of each test.

Peak values of  $VO_2$  ( $VO_{2\text{peak}}$ ) and HR ( $HR_{\text{peak}}$ ) were determined using the peak 20-second average of the test. The peak power output ( $PO_{\text{peak}}$ ) was defined as the greatest resistance reached during the test and maintained for at least 15 seconds [45]. Exertion was considered to be maximal if participants attained  $RER > 1.1$  or if a plateau in  $VO_2$  was reached (change  $< 2.1$  mL/kg/min) with an increase in exercise intensity [47].

#### 5.4.4.5.4.2. Upper limb muscle strength

Maximal isometric strength of the key U/L muscle groups (shoulder flexors/extensors, shoulder abductors/adductors, shoulder external/internal rotators, elbow flexors/extensors) was performed prior to the cardiorespiratory test. Measurements were done on the dominant side using a handheld dynamometer (Medup®, Quebec, Canada). All muscle groups were tested in a supine position according to a standardized protocol to optimize participants' upper body stability and minimize compensation. For each muscle group tested, the lever's arm, which corresponds to the distance between the joint axis of the articulation being tested and the center of the location where the dynamometer head was applied, was measured. Two maximum voluntary contractions were recorded and if the two initial values differed by more than 20%, a third value was taken and the greatest value was selected as the outcome measure. Torque was calculated based on the lever arm measurement and was expressed in newton meters (Nm).

### 5.4.5. Statistical analysis

A comparison of sociodemographic data, clinical data, outcome measures among both experimental groups (i.e., HIIT and MICT) at baseline and outcome measures at T1 and T2 was performed using a Mann-Whitney U test with a significance level set at  $p < 0.05$ . The change between the before (T1) and after (T2) the training [ $((T2-T1)/T1) * 100$ ] was computed for the main outcome measures and expressed as a percentage.

## **5.4.6. Results**

### **5.4.6.1. Participants**

Eleven individuals with an SCI were recruited to participate in this study; six participants were randomized into the HIIT group and five into the MICT group. There was no statistical difference in participant characteristics between the two groups (Tableau 5.14).

Tableau 5.14 Description of participants.

Participants	Sexe	Age (years)	Height (m)	Weight (kg)	Time since injury (years)	BMI (kg/cm <sup>2</sup> )	SCI level	AIS	Level of physical activity
<b>HITT group</b>									
1	F	34.3	1.75	70.8	5.1	23.1	T6	C	c
2	M	32.9	1.93	84.9	9.0	22.8	T6	A	c
3	M	37.8	1.8	65.0	8.7	20.1	T10	B	c
4	M	30.6	1.8	66.1	1.3	20.4	C7	B	c
<b>Mean±SD (range)</b>		<b>33.9±3.0 (30.6-37.8)</b>	<b>1.8±0.1 (1.8-1.9)</b>	<b>71.7±9.2 (65.0-84.9)</b>	<b>6.0±3.6 (1.3-9.0)</b>	<b>21.6±1.6 (20.1-23.1)</b>			
<b>LMCT group</b>									
1	M	22.7	1.90	73.0	2.8	20.2	C6	A	c
2	M	58.6	1.75	97.6	22.8	31.9	T10	A	c
3	M	63.9	1.9	95.6	16.6	26.5	T10	A	b
4	M	26.5	1.83	78.1	5.4	23.3	T11	C	a
5	M	44.1	1.76	105.00	3.8	33.9	T11	A	c
<b>Mean±SD (range)</b>		<b>43.2±18.5 (22.7-63.9)</b>	<b>1.8±0.1 (1.8-1.9)</b>	<b>89.9±13.6 (73.0-105.0)</b>	<b>11.5±10.3 (2.8-22.8)</b>	<b>27.2±5.7 (20.2-33.9)</b>			
<b>Drop out</b>									
1	M	26.3	1.83	72.5	2.0	21.6	C7	B	c
2	F	39.7	1.65	73.4	4.8	27.0	T2	A	c
<b>Mean±SD (range)</b>		<b>33.0 (26.3-39.7)</b>	<b>1.7 (1.7-1.8)</b>	<b>73.0 (72.5-73.4)</b>	<b>3.4 (2.0-4.8)</b>	<b>24.3 (21.6-27.0)</b>			

a) physically inactive or sedentary (less than one exercise session (≥20 minutes) per week), (b) irregularly or moderately active (between one and two exercise sessions per week) and (c) active (three or more exercise sessions per week)

#### 5.4.6.2. Recruitment flow

Two participants in the HIIT group failed to complete all aspects of the study: one participant dropped out at the beginning of the project because he was involved in another training program and one participant dropped out due to a significant increase in shoulder pain after six training sessions (+19.2/150 on the WUSPI). Four participants successfully completed the HIIT program and five completed the MICT program. The dropout rate was 33% and 0% for the HIIT and MICT groups, respectively. The participant recruitment flow diagram is presented in Figure 5.9.

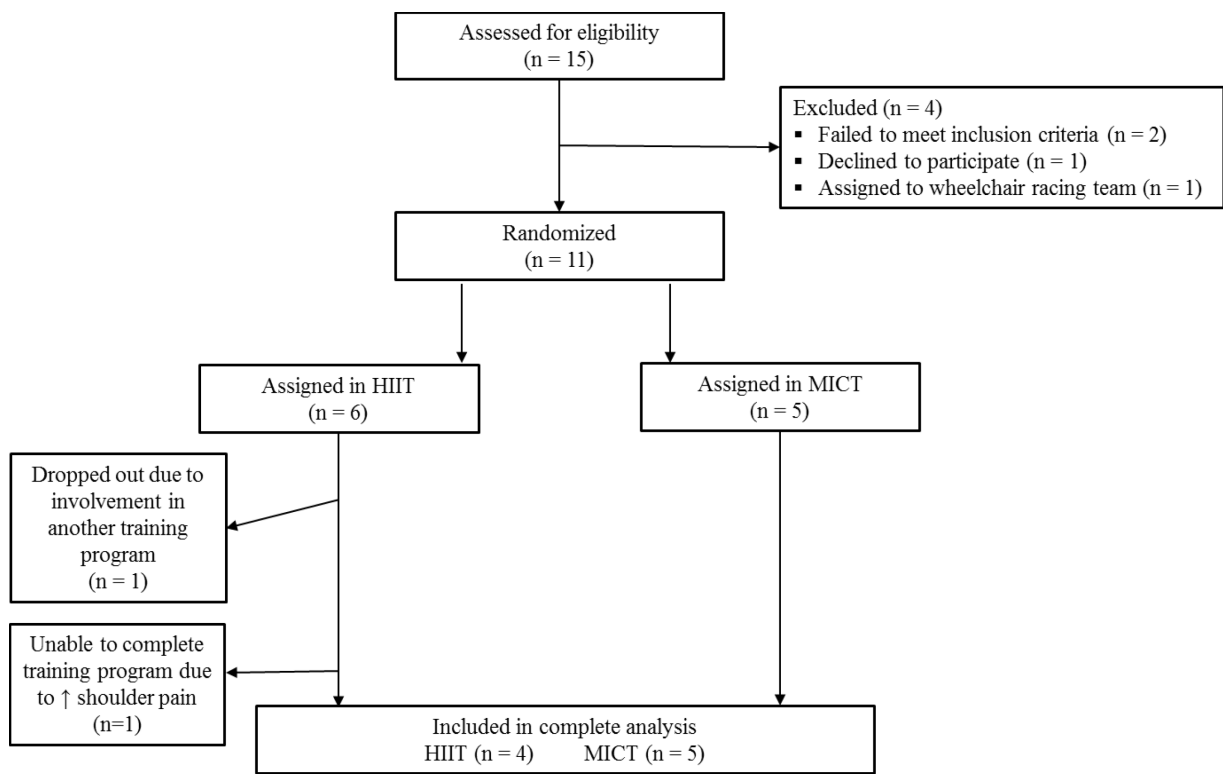


Figure 5.9 Participant recruitment flow diagram.

#### 5.4.6.3. Feasibility

The feasibility of the training programs has been assessed, in some parts, by a questionnaire on satisfaction and perceived benefits. A summary of the results of the questionnaire is illustrated in Figure 5.10. For all questions, no statistically significant difference was found between groups.



**Figure 5.10** Mean score for each of the questions included in the questionnaire completed at the end of the training program.

#### 5.4.6.3.1. Acceptability

Concerning the acceptability of both training programs, all participants were generally satisfied (question 1) with their training program except one in the HIIT group who was neutral (i.e., 4/7 on the Likert scale). Moreover, all participants in both groups would recommend their training program to other people with an SCI (question 2) and all participants, except one in the HIIT group, intended to continue their training program (question 17).

#### 5.4.6.3.2. Demand

Compliance for both training programs was very high with 86.11% for the HIIT program and 97.78% for the MICT program. To be considered feasible, a threshold of compliance rate of at least > 75% (i.e., > 13 completed sessions/18 planned sessions) was used [48]. Overall, participants in the MICT group completed more training sessions (17.6±1.7 sessions; range 16-20) than the participants in the HIIT group (15.5±2.1 sessions;

range: 13-18). One of the participants in the MICT group initially had difficulty training continuously for 30 minutes; therefore, he divided his training sessions in two, 10-20 minute sessions for the first two weeks.

#### 5.4.6.3.3. Implementation

All participants considered that the training programs proposed were adequate considering their availability, except for one, who found the six-week program slightly restrictive (i.e., 3/7 on the Likert scale). The completion of three sessions of 40 minutes was considered feasible by all participants.

#### 5.4.6.3.4. Practicality

Participants in both groups reported that the training programs were feasible in their community as they were able to reach the prescribed exercise intensity. Nonetheless, some individuals in the HIIT group mentioned that it was sometimes difficult to find an appropriate road, path or walkway to train at high intensity and, even more importantly, to minimize collision risk exposure.

#### 5.4.6.3.5. Preliminary effectiveness

The results of the cardiorespiratory fitness testing and maximal isometric strength assessment will be presented in a next section. Concerning the perceived effectiveness of the training programs, there was a tendency for the HIIT group to perceive their training program as more beneficial, even if there was no statistical difference between both groups for their responses to the questionnaire. Indeed, participants in the HIIT reported mostly important improvements (i.e., 7/7 on the Osgood's semantic differential scale) for all questions except one participant who reported no change for all questions on perceived benefits. In the MICT group, the improvements were considered small (5/7) to moderate (6/7). All participants in both groups, except one, had no change in their sleep habits.



#### 5.4.6.4. Safety

All participants successfully completed the maximal cardiorespiratory fitness test. Moreover, no adverse events occurred during the maximal cardiorespiratory fitness test or the training programs. However, one drop-out in the HIIT group was due to the development of significant shoulder pain (WUSPI score = 33.8/150) over the course of the training program. This participant had the highest score on the WUSPI at T1 (i.e., initial WUSPI score = 14.6/150). The pain gradually increased over the first six training sessions and reached values  $\geq 5/10$  for questions 5 (i.e., pushing your manual wheelchair for 10 minutes or more?) and 6 (i.e., pushing your manual wheelchair up ramps or inclines outdoors?) and the total score increased for more than 5.1. The decision to stop the training program was then made upon mutual agreement between the physiotherapist and the participant. However, the pain was mild in most functional activities, except for manual wheelchair propulsion and for work-related tasks (i.e., question 12) during which the pain score was higher than 5/10. Since the overall pain was moderate (i.e., 25.6/150), this participant decided to continue to train using the MICT program. His shoulder pain decreased at the end of the six-week period compared to the baseline level (initial WUSPI score = 14.6/150) at T1 and WUSPI score at T2 (i.e., 6.65/150). This participant's results were not considered in the statistical analysis. At the end of the HIIT program, two participants reported a significant increase in their total WUSPI score (+10.0/150 and +5.3/150), while no significant increase in shoulder pain occurred in the MICT group. There was no significant difference in baseline WUSPI scores between the groups (HIIT =  $6.0 \pm 2.3$ ; range: 3.2-8.7 and MICT =  $8.0 \pm 5.5$ ; range: 1.7-13.7,  $p=0.730$ ). Shoulder pain increased by  $2.62 \pm 6.23$ ; range: -3.85-10 points on the WUSPI in the HIIT group and decreased by  $0.62 \pm 3.81$ ; range: -6.4-4.1 points in the MICT group.

Concerning the perceived risks during the training programs, participants in the HIIT group judged their training as being riskier than the participants in the MICT group. Indeed, two participants were afraid to have initial or increase U/L pain, one was afraid to exceed his capacity, and one was afraid to lose balance during training. In the MICT group, one participant was afraid to have U/L pain.

### 5.4.6.5. Preliminary effectiveness

#### 5.4.6.5.1. Change in cardiorespiratory fitness

All changes in cardiorespiratory fitness outcome measures are presented in Tableau 5.15. There was no statistically significant between-group difference for all baseline cardiorespiratory outcome measures ( $p=0.063-1.000$ ) or for relative change (expressed as a %) ( $p=0.413-0.905$ ). No statistically significant within-group difference was found between T1 and T2 for both groups. Moreover,  $VO_{2peak}$  values were plotted on graphs for each participant and lines were drawn between the data before and after the training to highlight the directionality of the effects on each participant in both groups (Figure 5.11). Considering that the minimal detectable change for  $VO_{2peak}$  found in the literature is between 22% and 29% among manual wheelchair users [49, 50], only one participant was judged to have improved in the HIIT (i.e., +50.47%) whereas the other participants reached almost similar values (i.e., +13.08%, 0.83% and -16.34%). Similarly, in the MICT group,  $VO_{2peak}$  values were judged to have improved for one participant (i.e., +26.53%) whereas the other participants reached almost similar values (i.e., +15.04%, -3.01%, -0.49% and -11.61%).

**Tableau 5.15** Cardiorespiratory fitness outcome measures before (T1) and after (T2) the training programs.

	HIIT				LMCT				Drop out
	T1	T2	Change (%)	<i>p</i>	T1	T2	Change (%)	<i>p</i>	T1
$VO_{2peak}$ (l/min)	1325.9±264.9	1455.4±322.4	12.0±28.3%	0.625	1650.0±584.9	1741.6±661.8	5.3±15.3%	0.813	940.3
	(1033.6-1651.4)	(1176.13-1867.4)	(-16.3-50.5%)		(937.0-2254.7)	(828.2-2594.0)	(-11.6-26.5%)		(835.0-1045.7)
$VO_{2peak}$ (ml/kg/min)	19.5±0.7	20.4±3.9	5.4±23.6%	0.875	18.5±6.8	18.9±8.4	2.4±18.2%	1.000	9.6
	(18.5-20.1)	(15.8-23.9)	(-21.4-29.6%)		(11.6-28.9)	(11.8-33.3)	(-18.9-26.5%)		(7.7-11.6)
$HR_{peak}$ (bpm)	161.5±26.6	153.0±15.7	-4.2±10.3%	0.500	132.4±42.0	138.8±33.3	8.2±22.2%	0.875	105.0
	(127.0-183.0)	(136.0-174.0)	(-17.6-7.1%)		(87.0-179.0)	(86.0-175.0)	(-4.3-47.8%)		(90.0-120.0)
$PO_{peak}$ (W)	80.0±18.3	80.0±14.1	1.0±11.0%	1.000	80.0±25.5	82.0±27.7	1.8±14.3%	1.000	50.0
	(60.0-100.0)	(70.0-100.0)	(-11.0-17.0%)		(50.0-110.0)	(40.0-110.0)	(-20.0-16.7%)		(40.0-60.0)
$RPE_{muscu}$ (/10)	9.75±0.5	10.0±0.0	3.0±6.0	1.000	8.2±1.8	8.8±1.1	9.5±15.0%	1.000	9.5
	(9.0-10.0)	(10.0)	(0-11%)		(6.0-10.0)	(7.0-10.0)	(-10.0-28.6%)		(9-10)
$RPE_{cardio}$ (/10)	7.75±2.9	7.75±3.3	-3.0±16	1.000	7.8±3.0	7.2±3.3	-9.6±25.4%	1.000	8.5
	(4.0-10.0)	(3.0-10.0)	(-25.0-14%)		(3.0-10.0)	(2.0-10.0)	(-40.0-14.3)		(8-9)

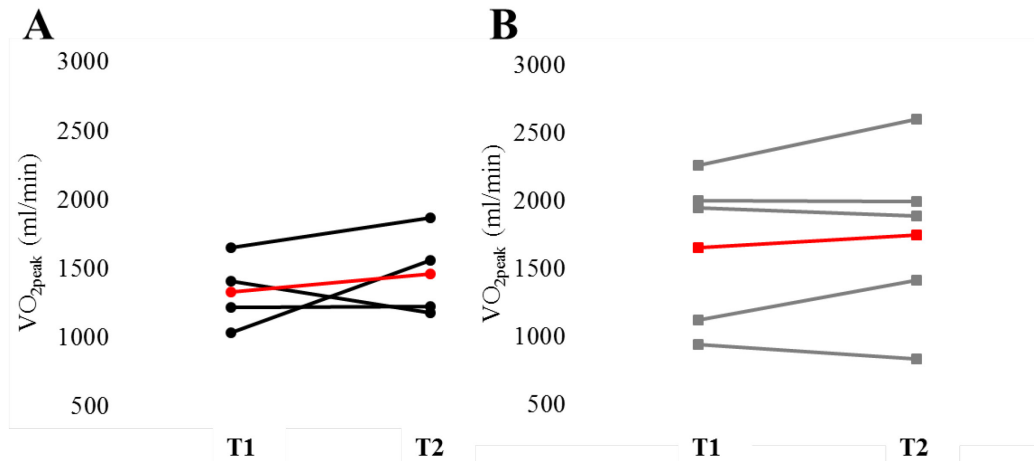


Figure 5.11  $VO_{2peak}$  values before (T1) and after (T2) the training program for each participant in the HIIT group (A) and the MICT group (B). Red lines represent the mean changes for each group.

#### 5.4.6.5.2. Upper limb muscle strength adaptation

All changes in U/L strength outcome measures for the right U/L (i.e., dominant side) are presented in Tableau 5.16. There was no statistically significant between-group absolute difference at T1 ( $p=0.063-0.730$ ) for all outcome measures. For relative difference (expressed as a %), no statistically significant between-group difference was found ( $p=0.190-0.905$ ), except for a change in shoulder external rotation strength ( $p=0.016$ ). In the HIIT group, one participant had an overall improvement (i.e., +12.63%) in U/L muscle strength and three participants maintained their strength level (i.e., +3.61%, -1.14% and -3.79%). In the MICT group, four participants increased their mean U/L muscle strength (i.e., +15.84% - 23.51%) whereas one participant maintained the same level of strength (i.e., +7.49%).

**Tableau 5.16 Right upper limb strength outcome measures before (T1) and after (T2) the training programs.**

	HIIT				MICT				Drop out
	T1	T2	Change (%)	<i>p</i>	T1	T2	Change (%)	<i>p</i>	
<b>Shoulder</b>									
Flexors	49.9±3.5 (43.5-51.4)	51.5±6.4 (46.0-60.7)	10.2±15.4% (-10.4-26.9%)	0.375	62.4±15.3 (50.0-82.2)	66.2±17.6 (47.4-91.8)	6.2±12.4% (-6.8-24.9)	0.438	43.3 (40.1-46.5)
Extensors	64.5±15.9 (43.1-81.3)	59.6±15.6 (38.3-72.8)	-7.25±13.7% (-16.4-13.1%)	0.375	87.7±25.0 (43.8-104.9)	87.2±25.5 (52.2-118.7)	12.2±20.8% (-21.5-35.6%)	0.438	53.2 (52.7-53.6)
Abductors	46.8±12.5 (33.7-59.0)	51.0±16.6 (31.1-67.1)	7.6±10.2% (-7.6-13.7%)	0.250	56.1±18.6 (40.9-87.1)	70.9±15.1 (48.3-88.1)	33.0±37.9% (-14.5-89.9%)	0.188	40.4 (29.4-51.3)
Adductors	69.5±5.0 (64.3-75.6)	66.6±7.2 (57.6-73.8)	-3.4±15.8% (-19.2-10.2%)	0.625	73.5±28.2(45.4-113.0)	71.4±29.1(23.4-99.5)	-1.7±35.4% (-48.5-50.1%)	1.000	40.1 (34.8-45.5)
Internal rotators	49.2±20.7 (30.6-69.2)	51.7±25.0 (30.5-82.9)	3.8±12.0% (-4.0-19.8%)	0.875	53.2±22.6 (20.6-79.3)	62.7±17.8 (41.3-90.6)	30.9±43.8% (-10.9-100.6%)	0.188	36.7 (33.5-39.9)
External rotators	34.8±7.7 (23.4-39.4)	29.5±9.2 (18.4-39.6)	-16.0±13.8% (-30.4-2.2%)	0.250	27.6±2.9 (23.2-30.6)	37.1±2.1 (34.9-39.3)	35.3±11.8% (20.1-50.6%)	0.063	32.0 (29.9-34.2)
<b>Elbow</b>									
Flexors	52.0±9.4 (43.1-63.3)	56.1±10.0 (46.1-67.4)	8.4±10.9% (-3.0-20.2%)	0.375	63.1±6.9 (54.0-72.0)	61.9±8.6 (50.3-71.4)	-0.8±19.8% (-21.2-32.3%)	0.625	39.0 (37.7-39.0)
Extensors	30.6±6.3 (23.6-36.4)	36.7±16.1 (26.3-60.7)	19.4±37.8% (-25.5-66.9%)	0.625	39.8±20.7 (4.7-58.4)	45.0±23.2 (6.9-65.4)	20.4±26.5% (-20.8-45.4%)	0.313	30.6 (28.1-33.1)

## 5.4.7. Discussion

The main objective of this pilot study was to investigate the feasibility, safety and preliminary effectiveness of a home-based HIIT manual wheelchair program offered to long-term MWUs and to compare it to a MICT program. The results of this study suggest that an HIIT program appears feasible and safe and has comparable effects on most cardiorespiratory fitness and U/L muscle strength values versus an MICT program. However, special attention should be paid to exercise and shoulder pain when beginning an HIIT program, especially in individuals with prior shoulder pain. In fact, each training program should be personalized in type (HIIT, MICT or a combination of both), duration, intensity, training route, etc. to allow for suitable progression and prevent adverse events such as an increase in shoulder pain. In addition, weekly follow-up by a health care professional may help to ensure that the training program is suitable for each individual.

### 5.4.7.1. Feasibility

Both training programs appear feasible since they were judged to be acceptable, practicable implementable and effective. Indeed, all participants completed at least 75% of the planned training sessions. There was a small, insignificant difference in compliance between the groups. This difference may be explained by the fact that all participants in

the HIIT group were already participating in three or more physical activity sessions per week. This may have made it more difficult for them to add three training sessions per week into their schedule. Some of them were involved in team sports and could not miss their practice sessions. Some exercise studies among an SCI population have suggested that training programs that include two training sessions per week should be favoured over three sessions to increase compliance, especially with a long-term training program [51, 52]. In fact, the Canadian physical activity guidelines for adults with an SCI [17, 53] recommend two 20-minute sessions of moderate to high intensity cardiorespiratory exercise for general fitness. However, these guidelines suggest three 30-minute sessions of moderate to high intensity aerobic exercise to anticipate cardiometabolic health benefits [17]. To this effect, studies using a frequency of two sessions per week have only reported improvements after a longer training period ( $> 12$  weeks) [51, 54], while programs incorporating three sessions per week have reported improvements after only six weeks [12, 30, 31]. Therefore, if improvements in cardiorespiratory fitness are sought in a short period of time, a frequency of three training sessions per week may be necessary. In the long term, however, a training frequency reduction to two sessions per week may enhance compliance with the exercise program and prevent musculoskeletal secondary impairments.

All participants felt that 40-minute training sessions were adequate. Participants in both groups were satisfied with the target workload intensity and were able to achieve it by propelling in the community. However, some adjustments in the road traveled during their training were required during the first few sessions for some participants in the HIIT group in order to reach the target intensity, especially on level ground. Environments with slopes or high rolling resistance surfaces (e.g., carpeted floor, grass) were preferred in order to attain the high-intensity exercise level. Moreover, certain participants reported that propelling directly on certain streets or sidewalks was difficult at times when the cross-slope was too pronounced and the propulsion technique needed to be modified and became asymmetric to a great extent. In these types of situations, frequent direction changes were needed to prevent participants from developing isolated U/L fatigue or discomfort. Participants who trained on a bicycle path enjoyed the program more because they felt they

had a clean, safe road to propel on. Participants living in the countryside felt less safe when they had to propel directly on the paved road because of damaged asphalt, rocks and cars passing closely next to them. Finally, participants reported that the weekly telephone follow-up helped to maintain their motivation and provided them an opportunity to answer all possible concerns about their training.

#### **5.4.7.2. Safety**

Both training programs were considered to be safe since no severe adverse events occurred. However, precaution should be taken when beginning an HIIT program since the increased mechanical load and muscular demand documented during propulsion can lead to the development or exacerbation of U/L pain, especially at the shoulder [55]. At the end of the HIIT program, two participants reported a significant increase in their total WUPSI score (+10.0/150 and +5.3/150), and one participant dropped out because of shoulder pain (+19.2/150). Except for the latter, the increase in shoulder pain did not specifically manifest itself during manual wheelchair propulsion or during a specific functional activity. In fact, the participant reported small increases in shoulder pain while performing a few functional activities which may have been due to late-onset muscle soreness or fatigue. Moreover, the participant who dropped out of the HIIT group because of shoulder pain was the one with the highest WUSPI score at baseline and was known for episodic increases in shoulder pain due to rotator cuff weakness. The fact that this participant experienced a decrease in shoulder pain after exercising at moderate intensity indicates that the HIIT program was probably too strenuous in the presence of shoulder pain and weakness. Since propelling puts a considerable load on the rotator cuff [55], posterior shoulder and rotator cuff muscle-strengthening exercises should be added to the training program. Moreover, anterior shoulder muscle stretches are recommended in order to prevent shoulder pain [56]. Given that the Canadian physical activity guidelines for adults with an SCI recommend two sessions of strengthening and stretching per week, these should be added to cardiorespiratory training program [53].

#### 5.4.7.3. Preliminary effectiveness

In both groups, one participant improved their  $VO_{2peak}$  by more than the minimal detectable change reported in the literature (i.e., between 22% and 29%) [49, 50] while the other participants had no significant change. It is worth noting that little information on reliability and minimal detectable change of  $VO_{2peak}$  tests among individuals with an SCI is available in the literature so the interpretation of the present results is limited. The participant in the HIIT group who improved the most in cardiorespiratory fitness was already training on a sports team with a coach and could not miss practice sessions. Therefore, he added the cardiorespiratory fitness training to his weekly exercise training program. The other active participants, except one who played basketball, were training by themselves, so most of them did not increase their amount of training during the study since they replaced their usual training sessions by the HIIT sessions. It seems that six weeks of the proposed HIIT program alone may not be strenuous and long enough to improve  $VO_{2peak}$  in MWUs who are already active, but if it is added to another training program, it can improve cardiorespiratory fitness. In the MICT group, the participant who improved his fitness level was the most enthusiastic about the training program during the weekly follow-up while his compliance rate was the same as the other participants. This participant also reported being assiduous in his training sessions and consistently following the instructions and intensity of the prescribed exercise. The enjoyment and motivation in the training program expressed by this participant may have reduced his perceived effort for a given exercise intensity and increased his exercise endurance during training [57].

Even if some participants improved, no statistically significant change in the group mean was found at the end of both six-week training programs. It is possible that with a larger sample statistically significant changes could have been observed. There is evidence to suggest that a training program incorporating three, 20- to 60-minute moderate intensity exercise sessions per week for at least six weeks is effective in improving cardiorespiratory fitness in individuals with an SCI [12, 58]. It is worth noting that the exercise training programs in those studies were supervised by a healthcare professional so that the intensity of the exercise could be well controlled. However, since the current study involved a home-based intervention, training sessions were not supervised and the exercise intensity was

managed by the participant's perception of exertion using the Modified Borg Scale. Using this subjective scale could have altered the exercise workload. Indeed, while RPE monitoring allows a gradual and personalized workload progression since the individuals can gauge their workload intensity according to their RPE, there it is possible that perceptions of exertion can be over- or under-estimated [57]. In fact, RPE is recognized to be affected by psychological factors including cognitive factors such as self-efficacy, motivation, interoceptive feedback as physical discomfort and perception of fatigue [57, 59]. Moreover, RPE and exercise tolerance are more influenced by interoceptive feedback than cognitive factors during high intensity exercise than low-intensity exercise. This is because during high intensity exercise the sensation of discomfort is more noticeable [60]. Some cognitive strategies like distraction techniques and motivation interventions can be used to increase high-intensity exercise tolerance and reduce RPE especially among inactive individuals [57]. On the other hand, the fact that HIIT is more aversive than MICT [61], it has been found to be more than or as enjoyable as MICT in individuals with an SCI and active and inactive individuals [61-64] and to elicit the same compliance [64]. Finally, despite the lack of statistically significant change in the main outcome measures selected, most participants still reported considerable and significant subjective improvements in their general health, including cardiorespiratory fitness.

In terms of strength improvements, one participant improved in general U/L muscle strength. Three participants had no change in general U/L muscle strength in the HIIT group, while four participants increased in the MICT group and one had no change. However, the decreases in strength in the HIIT group were very small and insignificant. It was expected that the high-intensity period included in the HIIT program would allow exertion sufficient to increase muscle strength. It was also expected that six weeks of training would be enough to improve muscular strength since a previous study reported improvement in shoulder flexor and extensor strength after only five weeks of wheelchair ergometer training in individuals with SCI [65]. However, training on a wheelchair ergometer allows resistance to be well controlled and progressively increased as muscle strength increases. During community wheeling, however, the only way to increase resistance is to wheel over high-resistance surfaces or up a hill or an access ramp. In many



cases, participants in the current study elected to go faster to reach the required exercise intensity because they did not have access to a hill or ramp, and had no control over the surface resistance. However, propelling faster is more likely to improve muscle power than strength [66]. In this study, only isometric maximal muscle strength via maximal voluntary contractions, not power, was assessed using a handheld dynamometer. In future studies on home-based manual wheelchair training programs, it would also be useful to assess muscle power to better investigate the effectiveness of the training programs.

Finally, the small degree of change in cardiorespiratory fitness and strength outcomes could be explained by the fact that almost all participants included in this study were already physically active. The two participants in the MICT group who did not exercise regularly showed the biggest increases in  $VO_{2peak}$  (i.e., 26.53% and 15.04%) and the ones who were the least active also had one of the greatest improvements in U/L muscular strength (i.e., + 20.16% on average). Hence, future studies should target sedentary MWUs with an SCI since they are the ones that might benefit the most from a cardiorespiratory fitness program.

#### **5.4.7.4. Future studies**

This study was a pilot study to assess feasibility, safety and preliminary effectiveness of a home-based HIIT program among MWUs with an SCI since very few studies have examined HIIT programs in this population [32, 62] and no studies have assessed home-based HIIT programs. In this study, both training programs had the same workload per session so that the programs could be compared. However, since it was an exploratory study and safety was uncertain, the high-intensity periods were not set at maximal intensity but rather at near maximum (i.e., RPE on Modified Borg Scale between 6/10 and 8/10). Moreover, the low-intensity periods were two times longer than the high-intensity periods. Considering those facts, the total time duration of HIIT sessions had to match that of the MICT sessions. However, one of the advantages of HIIT programs is that they require less time to obtain similar or even better results than MICT programs [32, 67]. Future studies could propose HIIT programs with shorter training sessions and higher high-intensity periods. Moreover, this study did not report any significant change in cardiorespiratory fitness or U/L muscle strength after the six-week home-based training

programs, while some studies reported significant changes after six-week supervised training programs [12, 30, 58]. It would be very interesting to compare the effectiveness of home-based training programs and supervised training programs among MWUs in future studies. Lastly, future studies could have an adaptive trial design in order to establish the criteria for beginning an HIIT program, such as the level of shoulder pain or key shoulder muscle strength.

#### **5.4.7.5. Limitations**

The principal limitation of this study was the small sample size in both groups that drastically reduced the statistical power. There was also a selection bias since most participants were already physically active and were more likely to be fully engaged and motivated in a cardiorespiratory fitness program. Moreover, the amount of exercise performed by each participant was different in time and intensity since they were asked to continue their usual physical activities. In future studies, non-exercising participants should be favoured or participants should be asked to stop their physical activities. Since exercise intensity was self-monitored by the participant using the Modified Borg Scale, there may have been differences in intensity between participants in the same program depending on their motivation. Finally, no non-exercise control group was used and may be needed in future studies to better identify training effects.

#### **5.4.8. Conclusion**

This study suggests that a home-based HIIT cardiorespiratory fitness training in manual wheelchair consisting of three training sessions of 40 minutes is feasible and safe for MWUs, although special attention should be given to shoulder pain. However, future studies are needed to confirm safety and effectiveness. Following this study, some recommendations for future studies are proposed:

*Methodological recommendations:*

- Compare home-based training programs and supervised training programs;
- Add a non-exercise control group;
- Validate the use of RPE to assess the intensity;

- Measure muscle power;
- Target sedentary or minimally active individuals;
- Employ an adaptive trial design.

*Training recommendations:*

- Add sessions of strengthening and stretching to the training program;
- Longer training program;
- Shorter training sessions and higher high-intensity periods;
- Weekly follow-up to ensure appropriate progression and safety and to maintain motivation;
- Offer guidance on the selection of the training road;
- Use cognitive strategies like distraction techniques and motivation interventions

### **Acknowledgements**

The authors thank Daniel Marineau for his technical support and Jasmine Arel for her assistance in the conduct of this study. The equipment and material required for the research completed at the Pathokinesiology Laboratory was financed by the Canada Foundation for Innovation (CFI). CG is supported by a doctoral scholarship from the Canadian Institutes of Health Research (CIHR). DHG co-chairs the Initiative for the Development of New Technologies and Practices in Rehabilitation (INSPIRE) funded by the LRH Foundation. DHG and ALH are members of the Rehabilitation Interventions for Individuals with a SCI in the Community (RIISC) research team funded by the Ontario Neurotrauma Foundation and the Quebec Rehabilitation Research Network.

## 5.4.9. References

1. Rousseau J, Assaoui R, and Bourbonnais D. Measuring the Effort Needed to Climb Access Ramps in a Manual Wheelchair. *Canada Mortgage and Housing Corporation* vol. 60, no. 05-011, 2003.
2. Tolerico ML, Ding D, Cooper RA, et al. Assessing mobility characteristics and activity levels of manual wheelchair users. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, vol. 44, no. 4, pp. 561-571, 2007.
3. Hiremath SV, Ding D, Farrington J, and Cooper RA. Predicting energy expenditure of manual wheelchair users with spinal cord injury using a multisensor-based activity monitor. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 93, no. 11, pp. 1937-1943, 2012.
4. Lee DC, Sui X, Ortega FB, et al. Comparisons of leisure-time physical activity and cardiorespiratory fitness as predictors of all-cause mortality in men and women. *British Journal of Sports Medicine*, vol. 45, no. 6, pp. 504-510, 2011.
5. Ginis KA, Latimer AE, Arbour-Nicitopoulos KP, et al. Leisure time physical activity in a population-based sample of people with spinal cord injury part I: demographic and injury-related correlates. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 91, no. 5, pp. 722-728, 2010.
6. Myers J, Lee M, and Kiratli J. Cardiovascular disease in spinal cord injury: an overview of prevalence, risk, evaluation, and management. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, vol. 86, no. 2, pp. 142-152, 2007.
7. Bauman WA, Raza M, Spungen AM, and Machac J. Cardiac stress testing with thallium-201 imaging reveals silent ischemia in individuals with paraplegia. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 75, no. 9, pp. 946-950, 1994.
8. Williams TL, Smith B, and Papatomas A. The barriers, benefits and facilitators of leisure time physical activity among people with spinal cord injury: a meta-synthesis of qualitative findings. *Health Psychology Review*, vol. 8, no. 4, pp. 404-425, 2014.
9. Anderson L, Sharp GA, Norton RJ, et al. Home-based versus centre-based cardiac rehabilitation. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, vol. 6, pp. 155, 2017.
10. Sasso E, and Backus D. Home-based circuit resistance training to overcome barriers to exercise for people with spinal cord injury: a case study. *J Neurol Phys Ther*, vol. 37, no. 2, pp. 65-71, 2013.
11. Dolbow DR, Gorgey AS, Ketchum JM, Moore JR, Hackett LA, and Gater DR. Exercise adherence during home-based functional electrical stimulation cycling by individuals with

spinal cord injury. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, vol. 91, no. 11, pp. 922-930, 2012.

12. Hicks AL, Martin Ginis KA, Pelletier CA, Ditor DS, Foulon B, and Wolfe DL. The effects of exercise training on physical capacity, strength, body composition and functional performance among adults with spinal cord injury: a systematic review. *Spinal Cord*, vol. 49, no. 11, pp. 1103-1127, 2011.

13. van der Scheer JW, de Groot S, Postema K, Veeger DH, and van der Woude LH. Design of a randomized-controlled trial on low-intensity aerobic wheelchair exercise for inactive persons with chronic spinal cord injury. *Disability and Rehabilitation*, vol. 35, no. 13, pp. 1119-1126, 2013.

14. de Groot S, de Bruin M, Noomen SP, and van der Woude LH. Mechanical efficiency and propulsion technique after 7 weeks of low-intensity wheelchair training. *Clinical Biomechanics*, vol. 23, no. 4, pp. 434-441, 2008.

15. Kilkens OJ, Dallmeijer AJ, Nene AV, Post MW, and van der Woude LH. The longitudinal relation between physical capacity and wheelchair skill performance during inpatient rehabilitation of people with spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 86, no. 8, pp. 1575-1581, 2005.

16. Evans N, Wingo B, Sasso E, Hicks A, Gorgey AS, and Harness E. Exercise Recommendations and Considerations for Persons With Spinal Cord Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 96, no. 9, pp. 1749-1750, 2015.

17. Martin Ginis KA, van der Scheer JW, Latimer-Cheung AE, et al. Evidence-based scientific exercise guidelines for adults with spinal cord injury: an update and a new guideline. *Spinal Cord*, 2017.

18. Ciolac EG, Bocchi EA, Greve JM, and Guimaraes GV. Heart rate response to exercise and cardiorespiratory fitness of young women at high familial risk for hypertension: effects of interval vs continuous training. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, vol. 18, no. 6, pp. 824-830, 2011.

19. Haram PM, Kemi OJ, Lee SJ, et al. Aerobic interval training vs. continuous moderate exercise in the metabolic syndrome of rats artificially selected for low aerobic capacity. *Cardiovascular Research*, vol. 81, no. 4, pp. 723-732, 2009.

20. Hwang CL, Wu YT, and Chou CH. Effect of aerobic interval training on exercise capacity and metabolic risk factors in people with cardiometabolic disorders: a meta-analysis. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, vol. 31, no. 6, pp. 378-385, 2011.

21. Kessler HS, Sisson SB, and Short KR. The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Medicine*, vol. 42, no. 6, pp. 489-509, 2012.

22. Weston KS, Wisloff U, and Coombes JS. High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, vol. 48, no. 16, pp. 1227-1234, 2014.
23. Laursen PB, and Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, vol. 32, no. 1, pp. 53-73, 2002.
24. Guiraud T, Nigam A, Gremeaux V, Meyer P, Juneau M, and Bosquet L. High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Medicine*, vol. 42, no. 7, pp. 587-605, 2012.
25. de Groot PC, Hjeltnes N, Heijboer AC, Stal W, and Birkeland K. Effect of training intensity on physical capacity, lipid profile and insulin sensitivity in early rehabilitation of spinal cord injured individuals. *Spinal Cord*, vol. 41, no. 12, pp. 673-679, 2003.
26. Gibala MJ, Little JP, Macdonald MJ, and Hawley JA. Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal Physiology*, vol. 590, no. 5, pp. 1077-1084, 2012.
27. MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, and Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology*, vol. 84, no. 6, pp. 2138-2142, 1998.
28. O'Donovan G, Owen A, Bird SR, et al. Changes in cardiorespiratory fitness and coronary heart disease risk factors following 24 wk of moderate- or high-intensity exercise of equal energy cost. *Journal of Applied Physiology*, vol. 98, no. 5, pp. 1619-1625, 2005.
29. Helgerud J, Hoydal K, Wang E, et al. Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 39, no. 4, pp. 665-671, 2007.
30. Bougenot MP, Tordi N, Betik AC, et al. Effects of a wheelchair ergometer training programme on spinal cord-injured persons. *Spinal Cord*, vol. 41, no. 8, pp. 451-456, 2003.
31. Tordi N, Dugue B, Klupzinski D, Rasseneur L, Rouillon JD, and Lonsdorfer J. Interval training program on a wheelchair ergometer for paraplegic subjects. *Spinal Cord*, vol. 39, no. 10, pp. 532-537, 2001.
32. Astorino TA, and Thum JS. Within-session responses to high-intensity interval training in spinal cord injury. *Disability and Rehabilitation*, pp. 1-6, 2016.
33. Bowen DJ, Kreuter M, Spring B, et al. How we design feasibility studies. *Am J Prev Med*, vol. 36, no. 5, pp. 452-457, 2009.

34. Irazusta A, Gil S, Ruiz F, et al. Exercise, physical fitness, and dietary habits of first-year female nursing students. *Biological Research for Nursing*, vol. 7, no. 3, pp. 175-186, 2006.
35. American College of Sports Medicine., Swain DP, and Brawner CA. *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins, p. xv, 862, 2014.
36. Bredin SS, Gledhill N, Jamnik VK, and Warburton DE. PAR-Q+ and ePARmed-X+: new risk stratification and physical activity clearance strategy for physicians and patients alike. *Canadian Family Physician*, vol. 59, no. 3, pp. 273-277, 2013.
37. Curtis KA, Roach KE, Applegate EB, et al. Reliability and validity of the Wheelchair User's Shoulder Pain Index (WUSPI). *Paraplegia*, vol. 33, no. 10, pp. 595-601, 1995.
38. Wilson RC, and Jones PW. A comparison of the visual analogue scale and modified Borg scale for the measurement of dyspnoea during exercise. *Clinical Science*, vol. 76, no. 3, pp. 277-282, 1989.
39. Valent LJ, Dallmeijer AJ, Houdijk H, et al. The individual relationship between heart rate and oxygen uptake in people with a tetraplegia during exercise. *Spinal Cord*, vol. 45, no. 1, pp. 104-111, 2007.
40. Rice IM, Pohlig RT, Gallagher JD, and Boninger ML. Handrim wheelchair propulsion training effect on overground propulsion using biomechanical real-time visual feedback. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 94, no. 2, pp. 256-263, 2013.
41. Paralyzed Veterans of America Consortium for Spinal Cord M. Preservation of Upper Limb Function Following Spinal Cord Injury: A Clinical Practice Guideline for Health-Care Professionals. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, vol. 28, no. 5, pp. 434-470, 2005.
42. Kilpatrick MW, and Greeley SJ. Exertional responses to sprint interval training: a comparison of 30-sec. and 60-sec. conditions. *Psychological Reports*, vol. 114, no. 3, pp. 854-865, 2014.
43. Hill DW. Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, vol. 36, no. 3, pp. 155-160, 1996.
44. Bulthuis Y, Drossaers-Bakker W, Oosterveld F, van der Palen J, and van de Laar M. Arm crank ergometer is reliable and valid for measuring aerobic capacity during submaximal exercise. *J Strength Cond Res*, vol. 24, no. 10, pp. 2809-2815, 2010.
45. Pelletier CA, Jones G, Latimer-Cheung AE, Warburton DE, and Hicks AL. Aerobic capacity, orthostatic tolerance, and exercise perceptions at discharge from inpatient spinal cord injury rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*, vol. 94, no. 10, pp. 2013-2019, 2013.

46. Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, and Wong P. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, vol. 7, no. 1, pp. 11-22, 2004.
47. Duncan GE, Howley ET, and Johnson BN. Applicability of VO<sub>2</sub>max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc*, vol. 29, no. 2, pp. 273-278, 1997.
48. Bossers WJ, Scherder EJ, Boersma F, Hortobagyi T, van der Woude LH, and van Heuvelen MJ. Feasibility of a combined aerobic and strength training program and its effects on cognitive and physical function in institutionalized dementia patients. A pilot study. *PLoS One*, vol. 9, no. 5, pp. e97577, 2014.
49. Gauthier C, Arel J, Brosseau R, Hicks AL, and Gagnon DH. Reliability and minimal detectable change of a new treadmill-based progressive workload incremental test to measure cardiorespiratory fitness in manual wheelchair users. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, pp. 1-9, 2017.
50. Bloemen MA, de Groot JF, Backx FJ, Westerveld RA, and Takken T. Arm cranking versus wheelchair propulsion for testing aerobic fitness in children with spina bifida who are wheelchair dependent. *J Rehabil Med*, vol. 47, no. 5, pp. 432-437, 2015.
51. Hicks AL, Martin KA, Ditor DS, et al. Long-term exercise training in persons with spinal cord injury: effects on strength, arm ergometry performance and psychological well-being. *Spinal Cord*, vol. 41, no. 1, pp. 34-43, 2003.
52. Davis G, Plyley MJ, and Shephard RJ. Gains of cardiorespiratory fitness with arm-crank training in spinally disabled men. *Canadian Journal of Sport Sciences*, vol. 16, no. 1, pp. 64-72, 1991.
53. Arbour-Nicitopoulos KP, Martin Ginis KA, Latimer-Cheung AE, et al. Development of an evidence-informed leisure time physical activity resource for adults with spinal cord injury: the SCI Get Fit Toolkit. *Spinal Cord*, vol. 51, no. 6, pp. 491-500, 2013.
54. de Carvalho DC, and Cliquet A, Jr. Energy expenditure during rest and treadmill gait training in quadriplegic subjects. *Spinal Cord*, vol. 43, no. 11, pp. 658-663, 2005.
55. Veeger HE, Rozendaal LA, and van der Helm FC. Load on the shoulder in low intensity wheelchair propulsion. *Clinical Biomechanics*, vol. 17, no. 3, pp. 211-218, 2002.
56. Cratsenberg KA, Deitrick CE, Harrington TK, et al. Effectiveness of Exercise Programs for Management of Shoulder Pain in Manual Wheelchair Users With Spinal Cord Injury. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, vol. 39, no. 4, pp. 197-203, 2015.



57. Ivanova E, Jensen D, Cassoff J, Gu F, and Knauper B. Acceptance and commitment therapy improves exercise tolerance in sedentary women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, vol. 47, no. 6, pp. 1251-1258, 2015.
58. Warburton DE, Eng JJ, Krassioukov A, and Sproule S. Cardiovascular Health and Exercise Rehabilitation in Spinal Cord Injury. *Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation*, vol. 13, no. 1, pp. 98-122, 2007.
59. Marcora SM, Bosio A, and de Morree HM. Locomotor muscle fatigue increases cardiorespiratory responses and reduces performance during intense cycling exercise independently from metabolic stress. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, vol. 294, no. 3, pp. R874-883, 2008.
60. Ekkekakis P. Pleasure and displeasure from the body: Perspectives from exercise. *Cognition and Emotion*, vol. 17, no. 2, pp. 213-239, 2003.
61. Green N, Wertz T, LaPorta Z, Mora A, Serbas J, and Astorino TA. Comparison of Acute Physiological and Psychological Responses Between Moderate Intensity Continuous Exercise and three Regimes of High Intensity Training. *J Strength Cond Res*, 2017.
62. Astorino TA, and Thum JS. Interval training elicits higher enjoyment versus moderate exercise in persons with spinal cord injury. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, pp. 1-8, 2016.
63. Stork MJ, Banfield LE, Gibala MJ, and Martin Ginis KA. A scoping review of the psychological responses to interval exercise: is interval exercise a viable alternative to traditional exercise? *Health Psychol Rev*, vol. 11, no. 4, pp. 324-344, 2017.
64. Vella CA, Taylor K, and Drummer D. High-intensity interval and moderate-intensity continuous training elicit similar enjoyment and adherence levels in overweight and obese adults. *Eur J Sport Sci*, vol. 17, no. 9, pp. 1203-1211, 2017.
65. Yim SY, Cho KJ, Park CI, et al. Effect of wheelchair ergometer training on spinal cord-injured paraplegics. *Yonsei Medical Journal*, vol. 34, no. 3, pp. 278-286, 1993.
66. Rajan P, and Porter MM. Velocity during Strength and Power Training of the Ankle Plantar and Dorsiflexor Muscles in Older Patients Attending Day Hospital Rehabilitation. *Rehabilitation Research and Practice*, vol. 2015, pp. 586843, 2015.
67. Koufaki P, Mercer TH, George KP, and Nolan J. Low-volume high-intensity interval training vs continuous aerobic cycling in patients with chronic heart failure: a pragmatic randomised clinical trial of feasibility and effectiveness. *Journal of Rehabilitation Medicine*, vol. 46, no. 4, pp. 348-356, 2014.

## Chapitre 6. Discussion

---

Les évidences scientifiques disponibles confirment qu'une grande proportion des individus utilisant un FR manuel comme moyen principal de mobilité ont une capacité cardiorespiratoire diminuée comparativement à celle de la population générale. Cette diminution peut mener à des incapacités fonctionnelles et causer des situations de handicap en plus de compromettre leur santé et leur qualité de vie. Malgré que la capacité cardiorespiratoire ait un impact majeur sur plusieurs aspects de la vie chez les usagers d'un FR manuel, peu d'études se sont intéressées à cette composante du système cardiorespiratoire ainsi qu'aux aptitudes physiques qui s'y rattachent. En fait, la recension de la littérature a permis de mettre en lumière le peu de protocoles d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel pour les usagers d'un FR manuel disponibles pour les professionnels de la réadaptation (Gass et al., 1995; Glaser, Sawka, Brune et Wilde, 1980; Hartung et al., 1993; Leicht et al., 2013). De plus, seules deux études ont rapporté les qualités psychométriques de leur protocole (Hartung et al., 1993; Leicht et al., 2013). Une autre problématique importante est le faible niveau d'activité physique de cette population causé, en partie, par les nombreuses barrières à l'activité physique auxquelles ils doivent faire face. Parmi celles-ci, les problèmes de transport, le manque d'accessibilité à des lieux d'entraînement ainsi que le manque de donnée probante concernant l'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel sont fréquemment rapportées (Ginis, Latimer, et al., 2010). Par ailleurs, malgré que de nombreuses études aient démontré que l'entraînement en HIIT soit grandement prometteur, très peu d'études ont regardé ce type d'entraînement chez les usagers d'un FR manuel. Ces programmes d'entraînement sont généralement offerts dans des centres urbains et demeurent peu accessibles. De surcroît, peu d'études ont proposé des programmes d'entraînement dans la communauté (Best, Arbour-Nicitopoulos et Sweet, 2017). L'objectif général de cette thèse était donc d'approfondir les connaissances sur l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel auprès d'usagers d'un FR manuel. Les trois différents projets de recherche inclus dans cette thèse de doctorat ont permis de développer et de quantifier les qualités psychométriques d'un nouveau protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel sur un tapis roulant motorisé ainsi que d'étudier la faisabilité, la sécurité et l'efficacité de deux programmes d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel effectués dans la communauté.

Les résultats spécifiques à chacun des projets de recherche ont été discutés en détail dans la partie discussion des articles de cette thèse (Chapitre 4, articles #1 à #4). Par conséquent, ce chapitre visera davantage à intégrer les différents éléments de discussion ensemble et à apporter de nouveaux éléments afin d'approfondir les connaissances sur l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel. Pour ce faire, une synthèse des principaux résultats ainsi que les recommandations découlant des projets de recherche seront tout d'abord présentées et discutées. Finalement, les principales limites des projets de recherche et les futures avenues de recherche seront abordées.

## **6.1. Synthèse des principaux résultats de recherche**

### **6.1.1. Effet de la vitesse et de la pente**

Le premier projet de recherche inclus dans cette thèse avait comme objectif d'étudier l'effet de la pente et de la vitesse sur les réponses cardiorespiratoires lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé. Tout d'abord, peu d'études se sont intéressées aux exigences cardiorespiratoires et à la biomécanique de la propulsion d'un FR manuel lors de plusieurs conditions de pente et de vitesse (Chow et al., 2009; Westerhoff et al., 2011). En effet, la plupart des études portant sur la propulsion en FR manuel n'ont étudié qu'une ou deux pentes (Richter et al., 2007; Sabick, Kotajarvi et An, 2004; Yang, Koontz, Yeh et Chang, 2012) pour une vitesse constante ou différentes vitesses sans changement de pente (Gil-Agudo, Del Ama-Espinosa, Perez-Rizo, Perez-Nombela et Crespo-Ruiz, 2010). Cependant, les usagers d'un FR manuel doivent franchir des pentes de différentes longueurs et d'angles différents lors de la propulsion dans la communauté. L'utilisation d'un tapis roulant motorisé permet de reproduire facilement des conditions similaires à ces pentes. Notre équipe a donc développé un projet de recherche ayant comme objectif d'approfondir les connaissances sur l'effet de la pente et de la vitesse sur la cinématique, la cinétique (Gagnon et al., 2015; Gagnon et al., 2014) et les réponses cardiorespiratoires lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé. Dans le but de reproduire des conditions se rapprochant de celles de la vie courante, les pentes sélectionnées dans ce projet sont inspirées de celles recommandées pour les rampes d'accès aux

bâtiments, en plus d'en ajouter certaines plus ou moins accentuées (Gouvernement du Québec, 2010). De plus, les vitesses utilisées font partie des vitesses de propulsion naturelles habituellement rapportées dans la littérature (Moon et al., 2013). Dans cette thèse, le travail accompli s'est centré sur l'analyse de l'effet de pente et de vitesse sur les réponses cardiorespiratoires. Ce projet de recherche est à notre connaissance le premier à étudier l'effet d'un changement de la pente et de la vitesse lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé sur les réponses cardiorespiratoires. De façon générale, il a permis de confirmer que les demandes cardiorespiratoires augmentaient significativement et progressivement lors de l'augmentation de la vitesse et de certaines pentes du tapis roulant. Une différence significative a été trouvée entre les trois vitesses sélectionnées pour presque toutes les variables. Pour ce qui est de la pente, une augmentation significative des variables a été trouvée pour toutes les variables entre la plupart des pentes. Cependant, plusieurs variables n'ont pas eu de changement significatif entre les pentes 2,7° et 3,6°, alors que quelques variables n'ont pas changé entre les pentes 3,6° et 4,8°. L'analyse de régression linéaire a également permis de démontrer que la pente était un déterminant quelque peu supérieur à la vitesse sur les réponses cardiorespiratoires lors de la propulsion d'un FR manuel sur le tapis roulant. Ces variables ont aussi été confrontées via une analyse qui a mené à l'élaboration d'une équation de prédiction de la  $VO_2$  en fonction de la pente et de la vitesse. Cette équation est particulièrement intéressante, car elle a permis de proposer une épreuve d'effort maximal par paliers à intensité progressive qui sera discutée dans les prochaines sections. De plus, cette équation pourrait être utilisée tant dans des contextes de recherche qu'en milieux cliniques afin d'estimer la  $VO_2$  lors de tâches de propulsion sur différentes pentes à différentes vitesses.

### **6.1.2. Développement du protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel**

La capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel est habituellement évaluée lors d'épreuves d'effort effectuées à l'aide d'un ergocycle pour les membres supérieurs. Cependant, les exigences biomécaniques et musculaires requises pour le pédalage diffèrent grandement de celles requises pour la propulsion d'un FR manuel. De plus, ce mode d'exercice

reflète peu les exigences que rencontrent quotidiennement les usagers d'un FR manuel. Pourtant, très peu d'études ont utilisé des épreuves d'effort maximal en FR manuel sur un tapis roulant chez des usagers d'un FR manuel (Gass et al., 1995; Glaser et al., 1980; Hartung et al., 1993; Leicht et al., 2013) et les qualités psychométriques de ces tests ont été rarement étudiées. Il s'avérait donc pertinent de développer un protocole d'épreuve d'effort maximal en FR manuel à l'aide des résultats de l'étude sur les réponses cardiorespiratoires décrites précédemment et d'en quantifier les principales qualités psychométriques.

Avant de développer le protocole d'évaluation, une revue de la littérature sur les épreuves d'effort a été effectuée afin de déterminer les caractéristiques appropriées pour notre clientèle. Tout d'abord, il a fallu déterminer si l'épreuve allait être continue ou discontinue. Une épreuve continue a été choisie, car il est plus adéquat pour l'utilisation en clinique avec une clientèle ayant des déficiences physiques importantes. En effet, la durée de ce type de test est plus courte, soit habituellement entre huit et douze minutes (Arena et al., 2007) comparativement à plus de 30 minutes pour un test discontinu (Tenan et al., 2011; Whiting et al., 1984), ce qui permet de réduire l'effet de fatigue générale. De plus, considérant les nombreuses contraintes de temps en milieu clinique, un protocole discontinu est trop long pour être utilisé dans ces milieux (Whiting et al., 1984).

Par la suite, un protocole en rampe ou par paliers devait être sélectionné. De plus, l'intervalle entre les augmentations de charge de travail ainsi que l'amplitude de cette augmentation devaient être déterminés. Un test par paliers de courte durée (*c.-à-d.*,  $\leq 60$  secondes), dont la charge de travail augmente graduellement a été sélectionné. Des protocoles ayant des paliers de plus d'une minute avec de grandes augmentations de la charge de travail peuvent causer un arrêt prématuré de l'épreuve à cause de l'apparition de fatigue musculaire et de douleur (Maher et Cowan, 2016). D'ailleurs, Maher et Cowan (2016) ont rapporté que les désavantages des paliers de trois minutes pouvaient être plus prononcés lors de tests effectués avec les membres supérieurs puisque ceux-ci ont une capacité oxydative plus faible et sont davantage sujets à la fatigue. Des paliers d'une minute, pour leur part, réduisent la marge d'erreur possible lorsque le test est personnalisé puisque la charge de travail initiale aura moins

d'impact sur le test (Maher et Cowan, 2016). Les épreuves à paliers d'une minute sont également préférées par les participants, car leur durée est plus courte (Maher et Cowan, 2016) ce qui représente aussi un avantage considérable pour leur utilisation en clinique. Quant aux protocoles en rampe, ils offrent une augmentation constante et linéaire de la charge de travail (Silva et al., 2011). Cependant ce type de protocole demande l'utilisation d'un programme informatique afin de faire augmenter constamment la charge (Myers et Bellin, 2000; Myers et al., 1991). Considérant les avantages d'une épreuve par paliers ainsi que les besoins cliniques, un protocole comprenant des augmentations graduelles de la charge en changeant la pente et /ou la vitesse du tapis roulant à chaque minute a été sélectionné.

L'augmentation de la charge de travail est un élément clé des épreuves d'effort et peut grandement influencer les valeurs maximales atteintes si elle est trop grande ou trop petite. L'équation de régression développée lors du projet #1 (Article #1) a été utilisée afin de déterminer les paramètres à changer d'un palier à l'autre pour obtenir une augmentation graduelle et linéaire de la charge de travail. Tout d'abord, la  $VO_2$  prédite lors des différentes combinaisons de pente et de vitesse utilisées lors du projet #1 a été calculée. Par la suite, les paliers ont été classés en ordre croissant selon les paramètres de pente et de vitesse (Article #1, Figure 2A) sur un graphique et une première analyse visuelle a permis de conclure à la non-linéarité de l'augmentation de la  $VO_2$  en fonction des paliers. De plus, la formule de régression proposée dans l'article #1 a permis de déterminer les paliers à conserver et ceux à ajouter dans le protocole afin d'obtenir une meilleure linéarité de la courbe de  $VO_2$ . Un processus adaptatif mené à partir des données initiales et l'équation de prédiction ont été utilisés pour maximiser le coefficient de détermination de la courbe de  $VO_2$  prédit du protocole. Ce processus a requis l'ajout de certaines pentes intermédiaires afin de réduire l'écart entre deux paliers. Finalement, des paliers avec des charges de travail plus élevées ont été ajoutés afin de permettre d'évaluer des individus ayant une bonne capacité cardiorespiratoire puisque l'article #1 ne visait pas l'atteinte d'une valeur maximale. Au final, le protocole proposé comprend 15 paliers incluant des pentes de  $0^\circ$ ,  $1,7^\circ$ ,  $2,9^\circ$ ,  $3,6^\circ$ ,  $4,8^\circ$ ,  $5,8^\circ$  et  $7,1^\circ$  et des vitesses de 0,6 m/s, 0,8 m/s et 1,0 m/s.

### **6.1.3. Qualités psychométriques du protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel**

Le projet #2 de cette thèse avait comme objectif de mesurer les qualités psychométriques, dont la fidélité, le changement minimal détectable (CMD) (Article #2) et la validité (Article #3) de l'épreuve d'effort maximal proposée.

#### **6.1.3.1. Fidélité et changement minimal détectable**

Tout d'abord, les deux variables principales de l'article #2 ont été déterminées comme étant la  $VO_{2\text{pointe}}$  et le temps jusqu'à l'épuisement. La  $VO_{2\text{pointe}}$  est une mesure directe prise à l'aide d'un système analyseur des gaz respiratoires. Cependant, ce type d'appareil n'est pas toujours disponible dans les milieux cliniques. En alternative, le temps jusqu'à l'épuisement permet d'estimer la capacité cardiorespiratoire et évaluer les effets d'un programme d'entraînement. Ces deux variables ont obtenu des coefficients de corrélation excellents entre les mesures prises lors de deux tests effectués à quelques jours d'intervalle. Les autres variables, telles que le  $VCO_{2\text{pointe}}$ ,  $FC_{\text{pointe}}$ ,  $R_{\text{pointe}}$ ,  $VE_{\text{pointe}}$ ,  $RPE_{\text{muscle}}$  et le  $RPE_{\text{cardio}}$  ont eu des coefficients bons à excellents. Ces excellents coefficients de corrélation confirment la constance des différentes mesures prises lors de l'épreuve sur tapis roulant et confirment l'hypothèse de l'article #2 qui stipulait que l'épreuve sur tapis roulant serait fidèle (*c.-à-d.*,  $CCI \geq 0.75$ ).

L'erreur standard de la mesure (ESM) a été également calculée pour chacune des variables. Cependant, dans la littérature nous retrouvons seulement des valeurs d'ESM pour la  $VO_{2\text{pointe}}$  et non pour le temps jusqu'à l'épuisement. L'ESM de la  $VO_{2\text{pointe}}$  calculée dans l'article #2 est comparable aux valeurs moyennes retrouvées dans la littérature concernant tout type d'épreuve maximale (Vickers, 2003). Le CMD a été calculé en utilisant l'ESM afin de déterminer la présence d'un vrai changement, dépassant l'erreur de mesure de chacune des variables. Le CMD a également été rapporté en terme relatif, soit exprimé en pourcentage, afin de permettre une interprétation plus facile en clinique. Les variables principales ont atteint un CMD relatif inférieur à 30%, soit 29,35% pour la  $VO_{2\text{pointe}}$  (ml/kg/min) et 19,75% pour le temps jusqu'à l'épuisement. De plus, les autres variables pertinentes la  $FC_{\text{pointe}}$  et le nombre de paliers

ont également un CMD relatif inférieur à 30%. Un CMD de moins de 30% a été considéré bon considérant ceux répertoriés dans la littérature pour la  $VO_{2\text{pointe}}$  mesurée lors d'épreuves maximales (Chapitre 2, Tableau 2.4)(Bloemen et al., 2015; Darter et al., 2013; Stoller et al., 2014; Vancampfort et al., 2014; Vickers, 2003). De celles-ci une seule se rapporte à un test en FR manuel (Bloemen et al., 2015). Cependant, ce test était effectué chez des enfants ayant la spina bifida et non chez des adultes. Les valeurs de CMD mesurées dans ces études varient entre 18,81% et 36% pour un niveau de confiance de 95% alors que dans notre étude le niveau de confiance fut déterminé à 90%. Néanmoins, avec un niveau de confiance à 95% pour les données de l'article #2, la  $VO_{2\text{pointe}}$  aurait vu son CMD augmenter à 34,86% alors que le CMD du temps jusqu'à l'épuisement serait resté sous le seuil de 30% avec une valeur de 23,46%. Ces valeurs sont considérées acceptables puisqu'elles sont similaires à celles répertoriées dans la littérature. Finalement, une seule étude a rapporté le CMD pour le temps jusqu'à l'épuisement (Taylor, Bandy et Whittemore, 2011), mais pour un test d'effort sous-maximal ce qui limite la comparaison avec nos résultats. De plus, la population étudiée était des employés et des étudiants universitaires en bonne santé ce qui pourrait expliquer le faible CMD de 0,86 minute calculé par Taylor et al. (2011) comparativement à celui rapporté dans l'article #2 qui est de 1,77 minute.

L'absence de valeur de référence pour l'ESM et le CMD pour des épreuves d'effort maximales utilisant les membres supérieurs chez une population d'utilisateurs d'un FR manuel confirme tout à fait la pertinence du projet #2 de cette thèse. En effet, ces deux valeurs de référence, ESM et CMD, ont une importance clinique considérable, car elles permettent d'évaluer adéquatement l'efficacité d'une intervention ou d'un programme d'exercice.

Comme mentionné ci-dessus, les valeurs d'ESM et de CMD pour les variables principales de l'épreuve d'effort proposée dans cette thèse sont similaires à celles retrouvées dans la littérature. Cependant, les études utilisées pour la comparaison rapportent majoritairement les données pour des tests d'effort effectués avec les membres inférieurs ou chez des individus en santé. Les variables mesurées chez ces populations sont donc plus élevées que chez la population d'utilisateurs d'un FR manuel. En effet, les valeurs obtenues avec les



membres supérieurs correspondraient seulement à 70% des valeurs obtenues avec les membres inférieurs (Larsen et al., 2016). Deuxièmement, certains participants du projet #2 avaient une LM causant des déficiences au niveau de leurs membres supérieurs et de leur tronc ce qui réduit encore davantage la masse musculaire pouvant être sollicitée pendant l'effort. Il y a d'ailleurs une différence importante entre les valeurs de  $VO_{2\text{pointe}}$  répertoriées chez les individus ayant une paraplégie comparativement à ceux ayant une tétraplégie (Chapitre 2, Tableau 2.2). Puisque les usagers d'un FR manuel ont des résultats moyens de leur capacité cardiorespiratoire inférieurs, l'amplitude absolue de l'ESM et du CMD a un impact plus important sur l'interprétation de leurs résultats. En effet, il y a un risque de ne pas considérer un réel changement dû à l'ESM relativement élevé comparativement à la moyenne surtout pour les individus ayant une faible  $VO_{2\text{pointe}}$  comme ceux ayant une tétraplégie. La  $VO_{2\text{pointe}}$  considérée comme étant excellente est de  $> 15,18$  ml/kg/min chez un homme ayant une tétraplégie alors qu'elle est de  $> 22,40$  ml/kg/min chez un homme ayant une paraplégie. L'ESM représente donc une erreur de 14,95% de la valeur mesurée dans le premier cas et de 10,13% dans le second cas. Le pourcentage relatif de l'erreur augmente en présence de valeurs de  $VO_{2\text{pointe}}$  plus petites et peut surpasser le seuil de CMD dans les cas les plus faibles. Il serait donc pertinent de quantifier l'ESM et le CMD spécifique selon la classification fonctionnelle.

#### 6.1.3.1.1. Sources de variation

Plusieurs facteurs affectent les valeurs de fidélité et certains d'entre eux peuvent être modifiés afin de réduire l'ESM et le CMD des variables mesurées lors de l'épreuve d'effort maximale en FR manuel sur le tapis roulant. Premièrement, l'appareil d'analyse des gaz respiratoires a une erreur de mesure propre qui varie entre 1,24% et 12,06% (Duffield et al., 2004). Afin de réduire les risques d'erreur, l'appareil doit être adéquatement réchauffé et calibré. Les directives du fournisseur recommandent une période d'échauffement d'au moins 15 minutes. Cependant, les études sur les qualités psychométriques du Cosmed K4b<sup>2</sup> rapportent des périodes d'échauffement variant de 30 à 60 minutes (Duffield et al., 2004; McLaughlin et al., 2001; Pinnington, Wong, Tay, Green et Dawson, 2001). La période de réchauffement du Cosmed K4b<sup>2</sup> n'a pas été standardisée pour les projets de cette thèse et durait entre 15 et 30

minutes. Par ailleurs, la calibration était effectuée également entre cinq à trente minutes avant le début de l'enregistrement des données. Afin de réduire les sources d'erreur liées à l'appareil, le temps de réchauffement ainsi que le temps entre la calibration et l'enregistrement des données pourraient être standardisés dans de futurs projets. Enfin, certaines études recommandent d'effectuer des tests de validation des données avant et après la prise de données (Duffield et al., 2004) ou d'effectuer plus d'une calibration avec les gaz de référence afin de vérifier la stabilité de l'analyseur de l'appareil (Pinnington et al., 2001). Ces tests de validation n'ont pas été réalisés lors des protocoles expérimentaux présentés dans cette thèse.

Deuxièmement, une source d'erreur peut provenir de la variabilité de la performance des participants. En effet, plusieurs facteurs peuvent influencer la performance d'un même individu lors d'épreuves d'effort subséquentes. Premièrement, il peut y avoir eu un effet d'apprentissage entre les deux essais qui causerait ainsi une erreur systématique. D'ailleurs, un seul participant avait déjà effectué un test d'effort à la course avant sa LM et tous les autres participants n'avaient jamais fait d'épreuve d'effort maximal et n'étaient pas habitués à atteindre un niveau d'effort aussi élevé. Plus de la moitié des participants ont rapporté avoir peut-être cessé la première épreuve prématurément croyant, à tort, avoir atteint leur capacité maximale. De plus, lors du deuxième test, la plupart des participants désiraient améliorer leur performance. Malgré ces deux éléments, l'analyse des données à l'aide des graphiques de Bland-Altman (Article #2, Figure 5.5) n'a pas démontré d'effet entraînement pour la  $VO_{2\text{pointe}}$  et le temps jusqu'à l'épuisement puisqu'aucun des essais n'a eu tendance à avoir des valeurs plus grandes en majorité. Cependant, les limites d'accord sont relativement larges témoignant de grandes variations entre les deux essais. Afin de réduire davantage les risques d'un effet d'apprentissage, un premier essai pourrait être effectué pour offrir une familiarisation à ce type d'épreuve aux participants. La comparaison pourrait alors être effectuée entre le deuxième et troisième essai de l'épreuve d'effort.

La période de la journée au cours de laquelle est effectuée l'épreuve d'effort peut également avoir un impact sur les variables puisque les mesures sont plus grandes en après-midi que le matin (Hill, 1996). Afin de limiter les erreurs de mesure liées à ce facteur, les deux

épreuves d'effort sur le tapis roulant en FR manuel d'un même participant étaient effectuées au même moment de la journée. Cependant, d'une journée à l'autre certains facteurs psychobiologiques propres à l'individu peuvent tout de même varier et influencer leur performance. Parmi ceux-ci, nous retrouvons le niveau de perception de fatigue, l'humeur, le niveau de motivation, le niveau de confort et la perception des encouragements verbaux (Midgley, Earle, et al., 2017). Afin de limiter la variation de certains de ces facteurs entre les deux épreuves, les participants devaient éviter de participer à des activités physiques d'intensité modérée à élevée le jour avant leurs épreuves d'effort. De plus, ils ne devaient pas consommer d'alcool, de caféine et de nicotine et devaient prendre seulement un repas léger au moins deux heures avant les épreuves (Bulthuis et al., 2010; Lear et al., 1999). Malgré tout, certains participants n'ont pas respecté ces consignes. Il leur était donc demandé de reproduire les mêmes conditions pour leur deuxième épreuve. De plus, certains participants ont rapporté avoir eu des troubles du sommeil la nuit précédant leur essai ou avoir des courbatures suite à un entraînement effectué 48 heures avant leur épreuve d'effort. Dans certains de ces cas, il y a eu une différence notable de leur performance entre leurs deux essais. Cependant, ces éléments sont difficilement contrôlables. Une taille d'échantillon plus grande aurait permis d'atténuer l'effet de ces variations, entre autres, sur la fidélité test-retest. Concernant les encouragements verbaux, ceux-ci n'étaient pas standardisés ce qui peut avoir fait varier la performance entre deux tests chez un même individu. La standardisation des encouragements verbaux est donc recommandée afin d'augmenter la fidélité dans les devis intra-sujet surtout lorsqu'il y a la présence d'un biais potentiel lié aux attentes de l'évaluateur (Midgley, Marchant et Levy, 2017).

Finalement, il y a des facteurs liés aux conditions expérimentales qui peuvent varier entre les séances. Parmi celles-ci, il y a la température de la pièce où est effectué le test qui peut influencer le confort de l'individu et sa performance physique (Lear et al., 1999; No et Kwak, 2016). Il est recommandé de maintenir la température de la pièce entre 18 et 22 degrés Celsius afin d'assurer le confort des participants (Lear et al., 1999). Cependant, la température de la pièce où se sont déroulées les collectes de l'étude #2 était difficilement modifiable et pouvait varier entre 20°C et 26°C en moyenne. Cette variation, quoique plus petite que celle utilisée dans les études sur l'effet de la chaleur (Lindemann et al., 2014; No et Kwak, 2016), peut avoir

affecté le confort et la performance des participants surtout ceux ayant des troubles de thermorégulation dus à une LM au-dessus de T6 (Boot, Binkhorst et Hopman, 2006; Price et Campbell, 2003). D'ailleurs, certains participants se sont plaints de chaleur et d'inconfort, notamment à cause du masque de caoutchouc qu'ils devaient porter sur leur visage. Finalement, les caractéristiques du FR manuel telles que son poids, la pression des pneus et l'air dans les coussins peuvent varier entre les essais et influencer les performances en modifiant la position du participant, la friction au sol et la biomécanique de la propulsion (Masse, Lamontagne et O'Riain, 1992; van der Woude et al., 2001). Cependant, ces caractéristiques n'ont pas été contrôlées dans cette étude et le court délai entre les tests limite l'impact potentiel de ces caractéristiques.

#### **6.1.3.2. Validité du test**

La validité de l'épreuve d'effort en FR manuel sur le tapis roulant a été étudiée dans l'article #3 en comparant les résultats obtenus lors de celle-ci avec ceux obtenus lors d'une épreuve d'effort sur un ergocycle avec les membres supérieurs. Dans cet article, seule la  $VO_{2\text{pointe}}$  fut considérée comme la variable principale et celle-ci a atteint une excellente corrélation entre les deux tests (*c.-à-d.*,  $r \geq 0,81$ ). Les autres variables ont également eu des coefficients bons à excellents (*c.-à-d.*,  $r \geq 0,61$ ). Cette étude a donc permis de confirmer que les résultats de l'épreuve d'effort en FR manuel proposée sont bien corrélés avec ceux obtenus lors d'un protocole conventionnel avec un ergocycle pour les membres supérieurs. Ces résultats suggèrent également que les deux modalités d'évaluation peuvent être interchangeables (*c.-à-d.*, validité concomitante).

Le temps jusqu'à l'épuisement n'a pas été utilisé comme variable principale dans cette étude puisque les deux protocoles diffèrent au niveau de la détermination du premier palier d'un participant. En effet, lors de l'épreuve d'effort en FR manuel tous les participants commencèrent au premier palier alors que pour l'épreuve sur l'ergocycle, la résistance initiale fut sélectionnée en fonction du niveau de condition physique du participant. Dans la littérature, certains protocoles d'épreuve d'effort suggèrent de déterminer la résistance initiale selon la condition physique de l'individu (Lear et al., 1999; Myers et Bellin, 2000). Afin de sélectionner l'intensité

initiale appropriée pour une épreuve d'effort sur un ergocycle pour les membres supérieurs, la classification utilisée par Hol et al. a été utilisée. Dans cette étude portant sur un test d'effort sous-maximal de six minutes, les auteurs suggèrent des intensités initiales selon le sexe et le niveau d'activité physique des participants. Les intensités initiales proposées dans cette étude ont été cependant réduites de 10W dans notre étude afin que le test ait une durée estimée de plus de huit minutes. L'intensité initiale s'est avérée être tout de même trop élevée pour certains participants puisque la durée moyenne de l'épreuve d'effort a été de  $5,34 \pm 1,34$  minute. Cependant, certaines études utilisant des valeurs initiales de résistance de 0W ou de 10W ont également rapporté des durées moyennes inférieures à huit minutes avec cette population (Bloemen et al., 2015; Pelletier et al., 2013). Pour sa part, l'épreuve d'effort en FR manuel sur le tapis roulant a eu une durée moyenne de  $9:14 \pm 2:58$  minutes, respectant ainsi les recommandations de huit à douze minutes, malgré que tous les participants aient commencé au premier palier. Ceci représente un avantage considérable puisque l'expérience de l'évaluateur pour sélectionner un palier initial est moins susceptible d'influencer les résultats des tests.

#### **6.1.4. Effet de l'expérience en propulsion d'un FR manuel**

La performance lors d'épreuve d'effort en FR manuel est aussi dépendante en partie de la biomécanique de propulsion et de son efficacité mécanique. Puisque la propulsion d'un FR manuel est une activité motrice complexe qui demande un certain temps d'apprentissage, un effet dû à l'expérience aurait pu affecter nos résultats. Afin d'atténuer cet effet potentiel et également de vérifier que l'expérience en FR manuel n'était pas un facteur limitant lors du test d'effort maximal en propulsion, deux sous-groupes de participants ont été sélectionnés et répartis selon leur expérience en propulsion d'un FR lors de l'étude #2. Les valeurs d'ICC, d'ESM et de CMD ont donc pu être calculées pour chacun des sous-groupes et comparées (voir Chapitre 5, section 5.2.9 Résultats supplémentaires de l'article #2) afin d'identifier un effet de l'expérience. Cette dernière n'influence que peu les variables principales (*c.-à-d.*,  $VO_{2\text{pointe}}$  et temps jusqu'à l'épuisement) puisque leurs coefficients de fidélité sont similaires. L'expérience en FR manuel semble cependant avoir un impact plus important sur la perception de l'effort tant musculaire que cardiorespiratoire lors de l'épreuve d'effort. En effet, les indices de corrélation

de fidélité test-retest de ces variables sont jugés acceptables, voir bons dans certains cas pour les usagers inexpérimentés alors qu'ils sont considérés comme excellents pour les usagers expérimentés. L'ESM et le CMD sont d'ailleurs très grands chez le sous-groupe ayant le moins d'expérience et témoignent d'une plus grande variabilité dans la performance. La majorité des participants de ce sous-groupe (8/11) ont perçu leur effort plus grand lors du premier essai que lors du deuxième essai. Cette différence peut être expliquée en partie par le fait que ce type d'épreuve était nouveau pour eux et qu'ils avaient moins confiance en leur capacité lors du premier essai, ce qui a pu influencer leur perception d'effort. D'ailleurs, certains n'avaient jamais propulsé sur des pentes aussi inclinées que celles incluses dans le protocole. En ce sens, il est reconnu que le sentiment d'efficacité personnelle affecte la façon dont une personne perçoit et réagit à un effort. Lorsque ce dernier est faible suite à une mauvaise condition physique ou lors de nouvelles activités, une réaction négative peut avoir lieu et l'effort peut être perçu comme étant plus grand (Hu, McAuley, Motl et Konopack, 2007; McAuley et Courneya, 1992; Pender, Bar-Or, Wilk et Mitchell, 2002). De plus, le sentiment d'efficacité personnelle tend à augmenter suite à l'accomplissement d'un exercice difficile (Pender et al., 2002) ce qui expliquerait que la majorité des participants ont rapporté des valeurs plus grandes de RPE lors du deuxième essai. Cette expérience nouvelle et inconnue leur a semblé très difficile lors du premier essai, mais une fois l'aspect de nouveauté dissipé, ils ont mieux relativisé leur niveau d'effort. Finalement, tous les participants ont réussi à atteindre un niveau maximal d'effort cardiorespiratoire lors de la propulsion en FR manuel sur le tapis indiquant que l'habileté en FR manuel n'est pas un facteur limitant la performance à l'épreuve d'effort maximale. En fait, l'expérience en FR manuel a peu d'impact sur la performance et les mesures de la capacité cardiorespiratoire, mais affecte principalement la perception de l'effort. Il est aussi pertinent de souligner que puisque la propulsion s'effectue en ligne droite sur le tapis roulant, le niveau de complexité de manœuvre du FR demeure élémentaire.

### **6.1.5. Avantages du protocole en FR manuel sur un tapis roulant**

L'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel sur un tapis roulant motorisé offre plusieurs avantages qui peuvent être grandement utiles tant dans des contextes de

recherche qu'en clinique. Tout d'abord, le fait d'évaluer la capacité cardiorespiratoire lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant permet également d'évaluer certaines composantes de la biomécanique de celle-ci simultanément. En effet, les participants propulsent dans un espace restreint ce qui permet à l'évaluateur de bien observer et même de filmer les mouvements des membres supérieurs afin d'en évaluer la biomécanique. Ceci est difficilement réalisable lorsque les individus sont en déplacement avec leur FR. Le tapis roulant instrumenté utilisé dans ce projet permettait également de mesurer les paramètres spatiotemporels de la propulsion (durée des périodes de poussée et de récupération) et les moments propulsifs moyens et maximaux (Gagnon, Jouval et Chenier, 2016). La biomécanique lors de la propulsion sur des pentes peut également être évaluée pendant le protocole proposé. Celle-ci change de façon importante en présence de pentes (Gagnon et al., 2015) et il est important de pouvoir l'observer et l'évaluer. Cependant, de telles pentes ne sont pas facilement accessibles dans les milieux cliniques et de recherche. Le tapis roulant offre donc cette possibilité que l'utilisation d'un rouleau pour FR manuel seul n'offre pas. De plus, le protocole proposé inclut les pentes majoritairement retrouvées dans la communauté pour les rampes d'accès aux bâtiments. Fliess-Douer O. et al. recommandent d'ailleurs que les tests d'habiletés en FR manuel incluent des pentes et des hauteurs de seuils correspondants aux normes, aux standards et aux codes d'accessibilité régionaux et universels (Fliess-Douer, Vanlandewijck, Lubel Manor et Van Der Woude, 2010). Suite à l'épreuve d'effort, il est également possible d'observer l'effet de la fatigue sur la biomécanique de la propulsion lors de la période de retour au calme. Bref, l'utilisation d'une épreuve d'effort en FR manuel sur un tapis roulant motorisé permet d'évaluer plusieurs éléments en même temps ce qui est un avantage considérable dans les milieux cliniques où les contraintes de temps sont particulièrement importantes.

#### **6.1.6. Programme d'entraînement cardiorespiratoire de type HIIT à domicile**

L'objectif du projet de recherche #3 était de déterminer la faisabilité, la sécurité et l'efficacité préliminaire d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire HIIT en FR manuel effectué à domicile sous supervision indirecte. De plus, ce projet avait comme autre objectif de comparer ce programme d'entraînement avec un programme plus traditionnel d'entraînement

continu à intensité modérée. Malgré la petite taille d'échantillon de chacun des groupes, ce projet a permis d'explorer différents aspects de l'entraînement HIIT en FR manuel dans la communauté. Il s'agit d'une contribution importante puisqu'à notre connaissance aucune étude n'avait proposé un tel programme auparavant. En effet, les programmes d'entraînement cardiorespiratoire à domicile décrits dans la littérature utilisent tous un ergocycle pour les membres supérieurs (Murray et al., 2012; Nightingale, Walhin, Thompson et Bilzon, 2017) ou de la stimulation électrique fonctionnelle (Dolbow et al., 2012; Gibbons, Stock, Andrews, Gall et Shave, 2016). De plus, peu d'études ont proposé des programmes d'entraînement HIIT en FR manuel (Zwinkels et al., 2014) et ces derniers ont été réalisés sur des ergomètres pour FR manuel sous supervision d'un professionnel de la réadaptation. Cette étude pilote a permis de déterminer la faisabilité et la sécurité d'un programme HIIT en FR manuel dans la communauté sous supervision indirecte et d'émettre des recommandations qui pourront orienter de futures études cliniques randomisées dans la communauté. Ces recommandations sont également pertinentes pour les professionnels de la réadaptation qui désirent prescrire un programme d'entraînement cardiorespiratoire à domicile avec supervision indirecte à leurs patients.

#### **6.1.6.1. Entraînement en FR manuel dans la communauté**

La marche rapide et la course sont fréquemment utilisées comme activité physique par les marcheurs, car elles peuvent se faire facilement et sans équipement dans la communauté. Cependant, qu'en est-il pour les usagers d'un FR manuel qui doivent faire face à davantage de barrières architecturales? Aucune étude n'a proposé de programmes d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel dans la communauté effectués de façon autonome. L'étude #3 voulait donc explorer la possibilité de compléter un tel programme ainsi que les stratégies et les lieux d'entraînement utilisés par les usagers d'un FR manuel. Tout d'abord, il faut prendre en considération l'aspect de la sécurité lors de la propulsion dans les rues ou les endroits publics. L'article #4 a permis de confirmer la complexité de trouver un endroit adéquat et sécuritaire pour s'entraîner en FR manuel. Tout d'abord, le nivelage de la route a un impact important sur la propulsion du FR puisqu'une route non nivelée peut causer une inégalité de la force déployée entre les deux membres supérieurs. Ceci peut causer de la fatigue prématurée, voire de la douleur



dans le membre supérieur qui génère des forces et des moments plus substantiels (*c.-à-d.*, le membre supérieur au bas de la pente). Pour minimiser ce risque, des changements de direction fréquents sont recommandés lors de la propulsion sur des routes inégales. La largeur du FR est également un facteur limitant pour la propulsion sur la route puisque les bords de route sont souvent très étroits laissant peu d'espace entre les usagers et les voitures. Ces routes n'ont pas d'ailleurs été appréciées par les participants du projet #3. Ainsi, les routes accidentées, inégales ou étroites ne sont pas des lieux d'entraînement à recommander. Cependant, certaines rues résidentielles et les pistes cyclables sont des routes plus sécuritaires pour les usagers d'un FR manuel puisque ces routes sont généralement en meilleur état, plus larges, et la circulation y est moins rapide. D'ailleurs, les participants les ayant utilisées comme route d'entraînement ont rapporté avoir apprécié ces endroits. Aucun participant n'a rapporté s'être entraîné dans des stationnements de grandes surfaces ou des cours d'école bien que ces endroits soient à l'écart de la circulation en dehors des heures d'ouverture.

Une autre stratégie employée par certains usagers fut de s'entraîner dans des lieux publics comme un centre d'achat. Cependant, cette option s'est avérée elle aussi moins appréciée puisque pour atteindre une intensité d'entraînement sur les planchers lisses de ces endroits, les individus devaient propulser à grandes vitesses à travers les gens. C'est pourquoi certains ont grandement apprécié s'entraîner dans des gymnases où ils pouvaient propulser à de plus grandes vitesses en toute sécurité. Tous les participants ont apprécié faire l'exercice de trouver des endroits convenables et agréables pour s'entraîner dans leur communauté. La plupart n'avaient jamais considéré cette façon de s'entraîner, car ils la croyaient réservée aux coureurs et aux cyclistes.

Cette étude relance le débat sur le manque d'accessibilité de lieux d'entraînement sécuritaires et adéquats pour les usagers d'un FR manuel, mais également le manque de connaissances des usagers concernant ce mode d'exercice. Bien que plusieurs ressources d'informations concernant l'activité physique chez les individus ayant des atteintes physiques soient disponibles sur internet, la qualité de ces dernières est souvent limitée (Shaw, Mallory, Arkell et Martin Ginis, 2017). De nouvelles sources d'information de haute qualité sont

nécessaires pour aider à promouvoir l'activité physique chez les usagers d'un FR manuel notamment chez ceux ayant une LM (Best, Arbour-Nicitopoulos, et al., 2017). Ces sources d'informations devraient être également mieux diffusées. Il s'avère également très important que les professionnels de la réadaptation et de l'activité physique aient de meilleures connaissances sur l'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel ainsi que sur les ressources disponibles dans la communauté et sur internet afin d'offrir un support adéquat aux usagers. Le manque de connaissances, d'éducation et d'expérience des professionnels représente d'ailleurs une barrière importante à l'exercice physique rapportée dans la littérature (Rimmer et al., 2004; Scelza et al., 2005). En effet, ils jouent un rôle clé dans la promotion de la santé et leurs interventions peuvent augmenter l'adhérence à la participation à des activités physiques (Froehlich-Grobe et al., 2014).

De plus, des programmes de promotion de l'activité physique tels que du soutien téléphonique (Arbour-Nicitopoulos et al., 2014; Froehlich-Grobe et al., 2014) et des formations cognitivo-comportementales en groupe (Brawley, Arbour-Nicitopoulos et Martin Ginis, 2013) ont eu un certain impact positif sur la participation à des activités physiques chez les individus ayant des atteintes physiques (Best, Arbour-Nicitopoulos, et al., 2017). D'ailleurs, les participants du projet #3 étaient satisfaits du suivi téléphonique hebdomadaire (Article #4, figure 5.10) et ont rapporté qu'il a contribué à leur motivation à poursuivre le programme d'entraînement. Une revue canadienne des programmes d'activité physique et de mobilité en FR offerts dans la communauté a récemment permis d'identifier plusieurs écarts importants entre les évidences scientifiques, les ressources offertes et les besoins des individus (Best, Arbour-Nicitopoulos, et al., 2017). En effet, les quelques programmes de soutien disponibles sont principalement offerts dans le cadre de recherches ou dans certains grands centres de réadaptation localisés dans des centres urbains et peuvent demeurer inaccessibles pour les individus vivant dans des zones rurales. Aussi, certains programmes, quoique peu nombreux, existent dans la communauté, mais ont été peu évalués au niveau scientifique. Finalement, les meilleures modalités pour promouvoir la participation aux activités physiques ont été peu étudiées. En résumé, d'autres études portant sur la participation aux activités physiques dans la communauté telles que l'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel demeurent essentielles.

### **6.1.6.2. Entraînement HIIT en FR manuel**

Les résultats de l'étude #3 ont permis de déterminer que le programme d'entraînement HIIT en FR manuel proposé est sécuritaire au niveau cardiorespiratoire pour les individus ayant une LM. De plus, aucun incident n'est survenu au cours des trois projets de recherche malgré que les participants aient tous atteint des intensités d'effort maximal pendant les collectes de données. Ces résultats sont en accord avec une revue systématique ayant rapporté que les incidents sérieux n'étaient pas communs lors d'entraînements supervisés chez des individus ayant une LM (Warms et al., 2014). Cependant, peu d'études dans cette revue avaient utilisé l'entraînement HIIT. Plusieurs études ont rapporté que ce type d'entraînement était sécuritaire, et ce, même chez des individus ayant des problèmes cardiaques importants (Haykowsky et al., 2013; Malmo et al., 2016; Rognmo et al., 2012). Chez les personnes ayant une LM, il y a cependant des risques de dysrégulation autonome lors d'activités physiques. Ces personnes sont généralement à l'affût des facteurs de risque, des signes et des symptômes et connaissent les lignes directrices à suivre dans l'éventualité d'un épisode. Le risque d'incidents graves liés à la dysrégulation n'apparaît donc pas considérable (Nightingale, Metcalfe, Vollaard et Bilzon, 2017).

Le programme d'entraînement HIIT peut cependant créer des douleurs élevées aux membres supérieurs comme le démontrent les résultats de notre étude. En effet, chez un participant ayant déjà de la douleur légère aux épaules, l'entraînement HIIT a augmenté significativement la douleur à ses épaules. La douleur a ensuite diminué suite à quelques semaines d'entraînement de type CMIT en FR manuel. Ceci indique qu'un programme d'entraînement cardiorespiratoire en FR peut être bénéfique dans le cas de douleurs musculosquelettiques, mais que l'intensité de l'exercice doit être personnalisée et sélectionnée adéquatement. Les autres participants ayant effectué le programme HIIT et ceux ayant complété le programme CMIT n'ont pas rapporté de changement significatif de leur douleur globale aux épaules indiquant que dans la majorité des cas l'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel ne cause pas de douleur aux épaules. Ces résultats sont en accord avec les études sur l'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel qui ne documentent pas de douleurs excessives

suite aux entraînements (Bougenot et al., 2003; Le Foll-de Moro et al., 2005; Tordi et al., 2001), et ce, même chez les nouveaux usagers d'un FR manuel (Le Foll-de Moro et al., 2005). Afin de réduire les risques de blessures aux membres supérieurs, les lignes directrices d'activité physique spécifiques pour les individus ayant une LM recommandent de faire également deux séances par semaine d'exercices de renforcement musculaire et d'étirements des membres supérieurs (Arbour-Nicitopoulos et al., 2013; Cratsenberg et al., 2015; Ginis et al., 2011; Martin Ginis et al., 2017).

Des changements significatifs de la capacité cardiorespiratoire et de la force des principaux muscles des membres supérieurs étaient attendus suite aux programmes d'entraînement cardiorespiratoires. Cependant, aucun des programmes d'entraînement n'a apporté d'amélioration objective après six semaines d'entraînement bien que des améliorations significatives aient été rapportées par tous les participants. Les intensités d'exercice sélectionnées initialement étaient pour des individus étant en réadaptation fonctionnelle intensive. Par la suite, lorsque le projet #3 a été modifié, l'intensité n'a pas été augmentée par souci de sécurité puisque les participants devaient s'entraîner de façon autonome. Les études portant sur l'entraînement supervisé de type HIIT chez des usagers d'un FR manuel ont utilisé pour la plupart des intensités d'exercice plus grandes que celles utilisées dans le projet #3 (Bougenot et al., 2003; Harnish, Daniels et Caruso, 2017; Tordi et al., 2001). Ces études ont rapporté pour leur part, des changements significatifs de la  $VO_{2\text{pointe}}$  même après seulement quatre semaines d'entraînement en HIIT en FR manuel. Aucun incident cardiorespiratoire ni d'augmentation de douleur n'a été rapporté au cours de ces études. En bref, tout laisse croire qu'un programme d'entraînement HIIT en FR dans la communauté avec des intensités plus élevées serait sécuritaire en prenant soin de choisir un lieu d'entraînement approprié et d'y inclure un programme de renforcement musculaire et d'étirement des membres supérieurs. L'idée d'initier un tel programme avant un programme d'entraînement de type HIIT mériterait aussi d'être explorée.

## **6.2. Limites des projets de recherche**

Les différents projets de recherche inclus dans cette thèse comportent certaines limites, documentées dans chacun des articles, dont les principales seront discutées dans cette section. Ces principales limites permettront de suggérer des avenues d'amélioration pour de futurs projets de recherche. Ainsi, les limites reliées aux protocoles expérimentaux, aux outils de mesures et aux variables seront discutées. De plus des limites reliées à l'échantillon étudié ainsi qu'à la généralisation des résultats de recherche seront abordées.

### **6.2.1. Limites reliées aux protocoles expérimentaux**

#### **6.2.1.1. Familiarisation des participants**

Les différents protocoles expérimentaux déterminés pour chacun des projets de recherche apportent des limites à ces derniers et, par conséquent, aussi à l'interprétation des résultats. Tout d'abord, bien que la propulsion sur un tapis roulant soit la modalité qui s'approche le plus de la propulsion au sol, elle comporte certaines différences (Mason et al., 2014). En effet, la vitesse étant imposée sur le tapis roulant motorisé, les individus doivent ajuster leur cadence de poussée ainsi que la force qu'ils appliquent afin de suivre adéquatement la vitesse du tapis roulant. Au sol, la vitesse du FR est dépendante de la cadence de poussée et de la force de propulsion. Il faut donc un certain temps d'adaptation aux individus avant de s'ajuster aux paramètres du tapis roulant. De plus, la période d'adaptation fut plus longue pour certains participants lorsque les pentes étaient importantes ou que la vitesse était plus élevée que leur vitesse naturelle. Une période de familiarisation plus grande aurait permis aux participants de mieux s'adapter à la propulsion sur le tapis roulant et peut-être d'améliorer leur performance.

De plus, bien que plusieurs participants étaient actifs physiquement, aucun n'avait jamais complété une épreuve d'effort maximal en FR manuel comme mentionnée précédemment. Certains ont donc cessé le test par eux même pensant avoir atteint leur capacité maximale, puisque leur perception d'effort était beaucoup plus importante qu'à l'habitude. Il pourrait exister un certain effet d'apprentissage entre la première et la deuxième épreuve d'effort surtout chez les individus peu entraînés bien que ce dernier n'ait pas été documenté dans la présente

étude (Laursen, Shing et Jenkins, 2003). La performance d'un premier essai de familiarisation apparaît une alternative à recommander dans de futures études notamment pour des études visant à quantifier la fidélité et le seuil de changement minimalement détectable auprès d'un échantillon élargi de participants (Currell et Jeukendrup, 2008; Laursen et al., 2003).

#### **6.2.1.2.        Ordre des conditions expérimentales**

Dans le projet #1 (Article #1), l'ordre de passation des essais de propulsion était aléatoire afin de minimiser l'effet de fatigue à travers les différentes combinaisons de vitesses et de pentes. Rappelons que l'objectif principal de ce projet visait d'étudier l'effet de la pente et de la vitesse sur les réponses cardiorespiratoires lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé. Afin de limiter l'effet de fatigue sur la performance, les essais de propulsion étaient entrecoupés par une période de repos de deux minutes. Cette période a été jugée suffisamment longue pour que les valeurs cardiorespiratoires des participants retournent aux valeurs pré-effort. Malgré ces précautions, un effet cumulatif de fatigue pourrait s'être développé progressivement auprès de certains participants après plusieurs essais de propulsion. Ainsi, les réponses cardiorespiratoires de certaines combinaisons de pente et de vitesse, considérées peu exigeantes, peuvent sembler anormalement élevées ou à l'inverse, anormalement faibles. Cela peut être dû au fait que les participants n'auraient pas eu suffisamment de temps pour récupérer lors de la période de repos suite à l'accumulation de fatigue ou n'auraient pas une endurance cardiorespiratoire suffisante pour tolérer le protocole expérimental dans son entièreté. Puisque les temps de repos et les essais de propulsion étaient standardisés, les valeurs cardiorespiratoires n'étaient donc pas vérifiées avant de débiter un nouvel essai de propulsion. Lors de futurs projets de recherche, il serait pertinent d'allouer des périodes de repos variables jusqu'au retour des valeurs cardiorespiratoires à celles pré-effort. La collecte de données pourrait également être fragmentée sur plus d'une journée tout en répétant certaines combinaisons pour d'identifier l'effet d'apprentissage possible.

Pour l'article #3, l'ordre des tests était fixe. Ainsi, l'épreuve sur le tapis roulant était effectuée en premier et l'épreuve avec l'ergocycle était effectuée au moins deux heures après la fin du test sur le tapis étant donné certaines contraintes méthodologiques. Cette décision fut

prise afin de prioriser l'étude sur la fidélité de l'épreuve en FR sur le tapis roulant (Article #2). Il est recommandé dans la littérature de laisser au moins 48 heures entre la performance de deux épreuves d'effort maximales. Cependant, considérant les problématiques de transport vécues par les usagers d'un FR manuel, il aurait été difficile de faire déplacer les participants pour une troisième visite au laboratoire. Le fait de faire les différentes épreuves sur trois journées distinctes aurait certainement limité le recrutement des participants. Une étude de Mayer et al. ont cependant déterminé qu'une période de repos d'une heure n'avait pas d'impact significatif sur la performance entre deux épreuves d'effort effectuées sur un ergocycle pour les membres supérieurs chez des individus ayant une LM (Maher et Cowan, 2016). Une période de repos de deux heures a donc été choisie afin de minimiser davantage l'effet probable de la fatigue. Cette période s'est d'ailleurs avérée suffisante puisqu'aucune fatigue n'a été rapportée avant de débiter la seconde épreuve, sauf par un participant. De plus, tous les participants ont été capables d'atteindre un niveau d'effort maximal lors de l'épreuve sur l'ergocycle. Les valeurs de perception d'effort musculaire et cardiorespiratoire étaient même similaires à celles rapportées lors de l'épreuve sur le tapis roulant. Somme toute, il ne semble donc pas avoir eu d'effet de fatigue musculaire ou cardiorespiratoire lors de la seconde épreuve.

### **6.2.1.3. Port du matériel expérimental**

Le port du matériel expérimental peut avoir dans certaines situations affecté la performance des participants ainsi que la mesure des résultats. En effet, l'appareil Cosmed K4b2 pèse au total 0,8 kg et inclus un masque de caoutchouc qui se place autour de la bouche et du nez ainsi qu'un harnais placé sur le tronc sur lequel est posé en antérieur le boîtier d'analyse et en postérieur la batterie. Le poids de l'appareil peut avoir affecté les mouvements et l'équilibre des participants, en particulier ceux ayant de la faiblesse musculaire du tronc. De plus, les différents fils reliant les composantes entre elles ont parfois altéré les mouvements de propulsion des participants. Finalement, plusieurs participants ont rapporté que le masque adhérent au visage avait rendu leur respiration parfois difficile lors d'effort à haute intensité. Cependant, tous les appareils de mesure des échanges gazeux disponibles ont les mêmes caractéristiques

soient des tubes ou fils pouvant encombrer les mouvements et un masque ou un embout buccal pouvant gêner la respiration.

Lors du projet #2, le FR des participants fut équipé de roues instrumentées SMARTWheels (SMARTWheel; Londonderry, New Hampshire) afin de mesurer les forces de propulsion. Ces roues pèsent 4 kg alors que des roues conventionnelles pèsent environ 1,1 kg. Le poids plus important de ces roues a fort probablement influencé l'effort requis pour la propulsion, particulièrement avec la progression de la pente du tapis roulant pendant l'administration de test. De plus, l'ajustement de la main courante des SMARTWheel peut être différent de celui des participants. Ainsi, la biomécanique de la propulsion des participants peut donc avoir été modifiée avec ces roues instrumentées. Lors de futurs projets de recherche, il serait préférable de ne pas modifier les composantes des FR des participants afin d'éviter de modifier leurs paramètres de propulsions habituels.

### **6.2.2. Limites reliées aux outils de mesures et aux traitements des données**

L'appareil Cosmed K4b<sup>2</sup> est valide et fidèle (Duffield et al., 2004; McLaughlin et al., 2001) pour mesurer les échanges gazeux. Cependant, McLaughling et al. ont rapporté que bien que l'appareil Cosmed K4b<sup>2</sup> mesure adéquatement les gaz respiratoires, il a tendance à surestimer le  $VO_2$  et a sous-estimé le volume respiratoire par minute ( $V_E$ ) et le  $VCO_2$ . De plus, les erreurs techniques de la mesure de l'appareil Cosmed pour les différentes variables mesurées varient entre 1,24 % et 10,87% (Duffield et al., 2004). Ces possibles erreurs techniques s'ajoutent aux autres facteurs de variation des données de la méthodologie ainsi qu'aux facteurs propres aux participants et peuvent expliquer en partie les grandes valeurs de changements minimaux détectables calculées pour l'épreuve d'effort cardiorespiratoire en FR manuel sur le tapis roulant.

Par ailleurs, la méthode de traitement des données d'échanges gazeux peut induire des erreurs. En effet, lors de la mesure directe du  $VO_2$  avec un appareil analysant les échanges gazeux à chaque respiration, il existe une variabilité non négligeable de ces mesures. Des données aberrantes peuvent facilement se glisser et biaiser les résultats. Il convient donc de



traiter adéquatement les données afin de réduire l'effet de ces erreurs. Cependant, nous retrouvons dans la littérature une panoplie d'approches méthodologiques dont les plus courantes sont de faire la moyenne par le temps (entre 15 et 60 secondes) ou par le nombre de respirations (entre 5 et 21 respirations) et la filtration fréquentielle (entre 0,005 et 1,15 Hz)(Robergs, Dwyer et Astorino, 2010). Le choix d'une méthode peut induire un pourcentage d'erreur plus ou moins important. Dans cette thèse, une moyenne mobile, calculée sur une fenêtre de 20 secondes, a été utilisée afin de lisser suffisamment les mesures aberrantes tout en gardant assez de données pour voir leur variabilité (Robergs et al., 2010).

Finalement, lors du projet #2, un appareil d'électromyographie a été utilisé afin de quantifier la fatigue musculaire causée par l'épreuve d'effort sur le tapis roulant motorisé. L'utilisation simultanée de plusieurs appareils de mesure utilisant la transmission de données sans fils a, à certains moments, occasionné une interférence et altéré la transmission des données de la FC. Cette dernière n'a donc pas pu être utilisée dans l'analyse des données pour certains participants ce qui explique l'échantillon faible (n=13) pour cette variable.

### **6.2.3. Limites reliées à la population à l'étude et généralisation des résultats**

Le moyen de recrutement utilisé pour les différents projets de recherche a amené certaines limites quant à la généralisation des résultats de cette thèse. En effet, le fait que la majorité des participants ont été recrutés à l'aide d'une liste de participants ayant déjà participé à un ou des projets recherche et ayant accepté d'être contactés à nouveau crée un biais de sélection. Ainsi, les participants les plus motivés ont été les plus susceptibles de répondre favorablement à l'invitation de participer aux projets de recherche. D'ailleurs, cette hypothèse a été confirmée lors du projet #3 où la majorité des participants (*c.-à-d.*, 9/11) étaient physiquement actifs alors que la majorité des usagers d'un FR manuel sont typiquement sédentaires et participent peu à des activités physiques. En outre, le fait que les participants étaient déjà particulièrement actifs peut, en partie, expliquer l'absence d'amélioration significative suite aux programmes d'entraînement du projet #3. Dans le futur, les critères de sélection devront être resserrés afin de cibler les personnes sédentaires, c'est-à-dire participant à moins d'une session d'exercice par semaine (Irazusta et al., 2006).

Puisque cette thèse comprend trois projets de recherche distincts s'étant chacun échelonnés sur quelques mois, le nombre de participants compris dans chacun est relativement petit ce qui pourrait limiter la puissance d'analyse statistique liée à certains constats. Le nombre de participants prévu initialement était plus important soit plus de 30 participants pour les projets #1 et #2 et plus de 20 participants pour le projet #3. Cependant, les usagers d'un FR manuel demeurent une population difficile à recruter, car ils font face à plusieurs barrières pour la participation à des projets de recherche tels que de nombreux problèmes de santé, des problèmes de déplacement et de transport, particulièrement en saison hivernale, et des contraintes de temps. De plus, la mise en place des centres intégrés universitaires de services de santé et de services sociaux (CIUSSS) impliquant la fusion de l'IRGLM, un des principaux lieux de recrutement pour les projets #2 et #3, avec d'autres centres de services a perturbé le recrutement des participants. En effet, durant cette période il y eut des modifications de l'offre de service ainsi qu'une réorganisation des programmes clientèles (ex : programme 'blessés médullaires' de l'IRGLM) et de l'administration. Le climat d'incertitude des ressources disponibles pendant ces transformations a entraîné une modification du dernier projet en plus de compliquer le recrutement de participants. De plus, la réduction importante du temps de séjour ne permettait plus aux participants en réadaptation fonctionnelle intensive de participer aux programmes d'entraînement de six semaines. Afin d'augmenter le nombre de participants des projets #2 et #3, la décision a été prise d'inclure également des individus ayant une LM au-dessus de T6 et des usagers d'un FR manuel ayant d'autres conditions neurologiques. Cet élargissement du recrutement apporte également une certaine limite dans la généralisation des résultats puisque l'hétérogénéité de l'échantillon étudié s'est trouvée augmentée. En revanche, une grande similitude existe en termes de déficiences sensorimotrices entre les individus participants inclus dans ces échantillons et personnes ayant une LM.

### **6.3. Avenues de futurs projets de recherche**

L'analyse des résultats des projets de recherche effectués ainsi que les différentes limites rencontrées lors de ceux-ci ont soulevé de nouvelles interrogations pour de futurs projets de recherche. Quelques-unes de celles-ci sont présentées dans les sections suivantes.

#### **6.3.1. Validation de l'équation de prédiction de la VO<sub>2</sub> lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé**

L'équation de prédiction de la VO<sub>2</sub> proposée dans l'article #1 a permis de déterminer un protocole d'épreuve d'effort maximal lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant. Cependant, cette équation pourrait être également utilisée pour estimer la VO<sub>2pointe</sub> lorsque la mesure directe de la VO<sub>2</sub> n'est pas possible. De plus, elle pourrait servir à la prescription de programmes d'exercices individualisés basés sur les pourcentages de la VO<sub>2pointe</sub>. Finalement, cette équation pourrait être utilisée afin d'estimer la VO<sub>2</sub> lors de différentes situations de propulsion sur le tapis roulant. Il serait donc pertinent de faire la validation de l'équation de prédiction de la VO<sub>2</sub> selon la pente et la vitesse du tapis roulant.

#### **6.3.2. Étude clinique randomisée comparant un programme HIIT avec un groupe complétant un programme MCIT et un groupe contrôle.**

Suite aux constats relevés par l'étude pilote sur l'entraînement cardiorespiratoire HIIT en FR manuel, il serait pertinent d'effectuer une étude clinique randomisée comprenant cette fois un groupe d'entraînement en HIIT, un groupe d'entraînement MCIT ainsi qu'un groupe contrôle. La durée des programmes d'entraînement devrait être de plus de quatre semaines afin d'augmenter l'impact de ces derniers. De plus, les critères de sélection devraient être modifiés afin de recruter principalement des usagers d'un FR manuel sédentaires.

#### **6.3.3. Entraînement précoce pendant la réadaptation fonctionnelle intensive**

Le projet #3 initialement prévu devait se dérouler pendant la réadaptation fonctionnelle intensive des nouveaux usagers d'un FR manuel. Lors de la réadaptation qui suit

l'hospitalisation et de longues périodes d'inactivité au lit, ces individus voient réduire l'intégrité de certains de leurs systèmes tels que leur système cardiorespiratoire (Zbogar, Eng, Miller, Krassioukov et Verrier, 2016). Il s'ensuit habituellement un déconditionnement important qui peut nuire à la participation à la réadaptation et ralentir la récupération (Haisma et al., 2007). Il s'avérait donc important de débiter un programme d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel le plus tôt possible dans le programme de réadaptation afin d'augmenter l'endurance de ces individus et optimiser la réadaptation (Pelletier, 2014; Zbogar et al., 2016). D'ailleurs, la majorité du temps passé entre les séances de réadaptation est consacrée à des activités sédentaires (Zbogar et al., 2016). De plus, l'intensité d'exercice requise pour permettre une amélioration de la capacité cardiorespiratoire soit une zone d'entraînement  $\geq 40\%$  de la FC de réserve, est rarement atteinte lors des séances de réadaptation (Koopman, Eken, van Bezeij, Valent et Houdijk, 2013; Zbogar et al., 2017). Ce temps libre pourrait cependant être employé en partie pour participer à un programme d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel. Il permettrait aux individus de débiter un programme d'entraînement dans un environnement sécuritaire où des professionnels de la réadaptation et, dans certains cas, de l'activité physique sont disponibles pour répondre à leurs besoins. Cette intervention précoce pourrait favoriser des habitudes menant à un mode de vie physiquement actif lors de leur retour à la maison (Zbogar et al., 2016). C'est d'ailleurs cette idée qui devait être étudiée à priori, mais qui a dû être modifiée dans le contexte et le délai de réalisation du projet.

Il continu donc d'être pertinent dans de futurs projets de recherche d'étudier les effets de l'ajout d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire pendant la réadaptation fonctionnelle intensive sur l'intégrité du système cardiorespiratoire et du système musculaire. Il serait également fort intéressant de s'intéresser à l'impact d'un tel programme d'entraînement sur les capacités fonctionnelles des usagers d'un FR manuel à leur congé de réadaptation et lors de leur retour à la maison. Il serait également pertinent de déterminer si un programme d'entraînement entrepris au cours de la réadaptation permet d'augmenter le niveau d'activité physique suite au congé comparativement à des individus qui n'auraient pas eu de programme d'entraînement pendant leur séjour ou qui en aurait eu un après leur séjour.

### **6.3.4. Existe-t-il un seuil critique de douleur et de force musculaire aux membres supérieurs pour entreprendre un entraînement en FR manuel?**

Lors de l'étude sur les programmes d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel, un participant a développé des douleurs incapacitantes aux épaules. Cependant, les douleurs aux membres supérieurs sont très fréquentes dans cette population et doivent être évitées afin de préserver les fonctions optimales des membres supérieurs et la capacité fonctionnelle en FR manuel. Il serait donc intéressant de faire une étude avec un devis adaptatif permettant de déterminer des critères devant être atteints préalablement à un programme d'entraînement en FR manuel de type HIIT. Ainsi, des seuils de douleur aux membres supérieurs et de force musculaire des muscles clés de la propulsion pourraient être déterminés. Ces critères permettraient de personnaliser la prescription du type de programme d'entraînement cardiorespiratoire recommandé afin d'éviter les blessures aux épaules.

### **6.3.5. Un entraînement cardiorespiratoire en FR manuel permet-il d'améliorer les paramètres biomécaniques de propulsion d'un FR manuel et prévenir les douleurs aux membres supérieurs?**

Les blessures aux membres supérieurs sont souvent reliées à une surutilisation de ces derniers lors de la réalisation de tâches fonctionnelles. Cependant, les différents paramètres de la biomécanique de la propulsion tels que les paramètres spatio-temporaux, les TUM et le taux de croissance de la force ont une influence importante sur la charge imposée aux articulations et donc sur le risque de blessure et de douleur. D'ailleurs, il a été suggéré que c'est davantage la biomécanique de la propulsion qui cause la douleur aux épaules plutôt que ce soit la douleur qui modifie le patron de propulsion (Rice, Jayaraman, Hsiao-Wecksler et Sosnoff, 2014). Mercer et al. (2006) a d'ailleurs démontré l'association entre la cinétique des épaules et la présence de pathologies indépendamment de la présence de douleur (Mercer et al., 2006). Une seule étude (Rodgers et al., 2001) a rapporté qu'un programme d'entraînement MCIT de six semaines avait permis d'améliorer significativement la biomécanique de la propulsion chez 19 usagers d'un FR manuel. Cependant, cette étude est la seule ayant étudié l'effet d'un programme

cardiorespiratoire en FR manuel sur la biomécanique de propulsion. D'autres études sont nécessaires afin de confirmer cette hypothèse. De plus, il serait intéressant de comparer un programme HIIT et un programme MCIT.

De plus, il est recommandé de réduire la force globale requise pour propulser un FR manuel afin de réduire les forces et moments aux articulations de l'épaule. Un des moyens pour réduire la force requise est de réduire le poids à propulser afin de réduire la friction au sol du FR. Le poids de l'individu ainsi que de son FR manuel doivent donc être minimisés. Mercer et al. (2006) a également trouvé que le poids des individus était positivement associé à la présence d'œdème et d'augmentation de l'épaisseur des ligaments aux épaules. Ainsi, les individus plus lourds ont plus de chance de développer des pathologies des épaules. L'entraînement cardiorespiratoire peut être efficace pour les usagers d'un FR manuel pour maintenir un poids santé et donc réduire la charge à propulser.

### **6.3.6. Effets psychologiques de l'activité physique à haute intensité et sentiment d'efficacité**

Un des éléments importants qui prédit le niveau d'engagement dans la pratique d'activités physiques et sociales est le sentiment d'efficacité personnelle (Bisson et Newsam, 2017; Cijssouw et al., 2017; Ginis et al., 2013; McAuley, Szabo, Gothe et Olson, 2011). D'ailleurs, un des aspects importants qui a été souvent soulevé lors des discussions avec les participants est leur sentiment d'efficacité lors de l'épreuve d'effort maximal en FR manuel sur le tapis roulant. Pour la majorité d'entre eux, c'était leur première expérience d'une épreuve d'effort maximal, mais c'était également la première fois qu'ils atteignaient une intensité d'exercice élevée en FR. Plusieurs ont rapporté avoir été surpris de leur capacité et avoir apprécié l'expérience. Cet accomplissement a même motivé certains d'entre eux à participer davantage à des activités physiques en FR et ce à de hautes intensités puisqu'ils étaient maintenant confiants de pouvoir le faire. Une récente étude de cas chez un individu ayant une LM incomplète a d'ailleurs démontré qu'un entraînement HIIT pouvait améliorer le sentiment d'efficacité personnelle, la confiance ainsi que la fonction (Bisson et Newsam, 2017). La

relation entre le niveau de capacité et de fonction physique et le sentiment d'efficacité personnelle suggère qu'une intervention visant à améliorer une de ces composantes pourrait améliorer l'autre également (Hill, Etingen, Miskevics et LaVela, 2017; McAuley et al., 2011). Il serait donc fort intéressant d'étudier les effets d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel incluant des périodes à haute intensité sur le sentiment d'efficacité personnelle. La comparaison avec un programme plus conventionnel de type CMIT serait également pertinente.

## Chapitre 7. Conclusion

---

La capacité cardiorespiratoire est souvent réduite chez les usagers d'un FR manuel. Combinée aux autres déficiences sensorimotrices répertoriées chez cette population, cette diminution peut aggraver certaines de leurs incapacités fonctionnelles (ex. : propulsion du FR manuel) et, *de facto*, avoir un effet néfaste sur leur participation sociale et leur qualité de vie. Malgré l'importance de la capacité cardiorespiratoire chez cette population, celle-ci a été peu étudiée jusqu'à maintenant et le niveau de preuves scientifiques demeure à améliorer. Ce manque de preuves scientifiques se reflète d'ailleurs dans les milieux de réadaptation où l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire sont souvent négligés chez cette population. Le manque de protocoles d'épreuves d'effort standardisés présentant de bonnes qualités psychométriques pour les usagers d'un FR manuel peut expliquer, en partie, pourquoi l'évaluation est négligée. De plus, les professionnels de la réadaptation et de l'activité physique, ne sachant pas quels paramètres sélectionner, hésitent souvent à prescrire des programmes d'entraînement cardiorespiratoire en FR à leur clientèle.

Cette thèse avait deux objectifs principaux afin d'adresser ces problématiques. Le premier objectif était d'étudier les réponses cardiorespiratoires lors de la propulsion d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé afin de proposer un protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel sur un tapis roulant motorisé standardisé. Le second objectif était d'étudier la faisabilité, la sécurité et l'efficacité d'un entraînement cardiorespiratoire par intervalles à haute intensité en FR manuel effectué dans la communauté et de le comparer à un programme d'entraînement continu à intensité modérée.

L'utilisation d'un tapis roulant motorisé pour la propulsion d'un FR manuel est de plus en plus fréquente tant dans les milieux de recherche ainsi que les milieux cliniques puisqu'il offre de nombreux avantages. Parmi ceux-ci, notons que le tapis roulant motorisé permet de reproduire facilement des conditions de pente et de vitesse de propulsion se rapprochant de celles rencontrées dans la vie quotidienne. Cependant, l'impact du changement de ces paramètres sur les réponses cardiorespiratoires n'a pas été étudié. Il s'avérait donc pertinent de quantifier les réponses cardiorespiratoires résultant de l'augmentation de la vitesse et de la pente du tapis roulant lors de la propulsion d'un FR manuel. Cette analyse a permis de définir une



équation de prédiction de la  $VO_2$  en fonction de la pente et de la vitesse du tapis roulant qui peut être utilisée afin de prescrire des programmes d'entraînement individualisés. D'ailleurs, cette équation a permis de proposer un protocole d'épreuve d'effort maximal standardisé lors de la propulsion d'un FR manuel sur le tapis roulant. Ce protocole comprend 15 paliers progressifs d'une minute composés de combinaison d'une pente ( $0^\circ$ ,  $2,9^\circ$ ,  $3,6^\circ$  et  $4,8^\circ$ ) et d'une vitesse (0,6, 0,8 et 1,0 m/s). La fidélité test-retest des mesures de la capacité cardiorespiratoire de cette épreuve d'effort s'est avérée excellente alors que les valeurs d'ESM et de CMD sont bonnes. L'excellente association entre les résultats obtenus lors de l'épreuve proposée sur le tapis roulant et une épreuve conventionnelle avec un ergocycle pour les membres supérieurs confirme que ces épreuves sont interchangeable. L'épreuve d'effort maximal proposée en FR manuel sur un tapis roulant motorisé représente donc une alternative spécifique à la tâche de propulsion fidèle et valide pour évaluer la capacité cardiorespiratoire des usagers d'un FR manuel.

Le projet pilote portant sur la faisabilité, la sécurité et l'efficacité d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire HIIT en FR manuel dans la communauté apporte une contribution originale et significative à l'avancement des connaissances dans ce domaine. En effet, plusieurs aspects ont été explorés dans cette étude et des recommandations relatives à chacun ont été émises grâce aux résultats ainsi qu'à l'expérience rapportée par les participants. Tout d'abord, la faisabilité et la sécurité de la propulsion d'un FR manuel dans le cadre d'un entraînement cardiorespiratoire effectué directement dans la communauté ont été confirmées. Cependant, les routes accidentées et inégales ainsi que les lieux publics commerciaux sont moins appréciés alors que les pistes cyclables et les gymnases représentent des lieux d'entraînement idéaux pour s'entraîner en sécurité. À notre connaissance, il s'agit d'une première étude à explorer l'entraînement en FR manuel de façon autonome dans la communauté. Dans cette étude, la faisabilité, la sécurité et l'efficacité d'un programme d'entraînement HIIT en FR manuel ont été également étudiées. Peu d'études ont regardé ce type d'entraînement cardiorespiratoire en FR manuel et aucune n'a proposé un tel programme dans la communauté (Zwinkels et al., 2014). Cette étude a permis de conclure qu'un entraînement HIIT en FR manuel est faisable et sécuritaire. Cependant, certaines précautions doivent être prises concernant le

développement de douleurs aux épaules surtout lorsque la douleur est déjà présente. Dans ce cas, il est préférable de faire préalablement des exercices de renforcement musculaire des membres supérieurs. Finalement, l'efficacité du programme d'entraînement en HIIT sur la capacité cardiorespiratoire et la force des membres supérieurs n'a pas été démontrée après quatre semaines d'entraînement bien que des améliorations subjectives significatives ont été notées par tous les participants. Une future étude clinique randomisée de plus grande envergure prenant en compte les constats relevés par cette étude pilote est nécessaire afin de confirmer l'efficacité d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire HIIT en FR manuel dans la communauté.

En conclusion, les différents projets de recherche inclus dans cette thèse ont permis d'adresser le manque de connaissances concernant l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire en FR manuel. De meilleures connaissances concernant la  $VO_2$  en fonction de la pente et la vitesse du tapis, plus particulièrement l'équation de prédiction, les différentes recommandations émises et les programmes d'entraînement étudiés aideront les professionnels à proposer des programmes d'entraînement personnalisés à leur clientèle. De plus, ils pourront utiliser l'épreuve d'effort maximal standardisée proposée afin d'évaluer ces programmes d'entraînement. Finalement, cette thèse propose également plusieurs avenues futures de recherche afin d'approfondir davantage les connaissances sur l'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire chez des usagers d'un FR manuel.

## Chapitre 8. Bibliographie

---

- Adriaansen, J. J., Ruijs, L. E., van Koppenhagen, C. F., van Asbeck, F. W., Snoek, G. J., van Kuppevelt, D., . . . Post, M. W. (2016). Secondary health conditions and quality of life in persons living with spinal cord injury for at least ten years. *J Rehabil Med*, 48(10), 853-860. doi: 10.2340/16501977-2166
- Akbar, M., Balean, G., Brunner, M., Seyler, T. M., Bruckner, T., Munzinger, J., . . . Loew, M. (2010). Prevalence of rotator cuff tear in paraplegic patients compared with controls. *J Bone Joint Surg Am*, 92(1), 23-30. doi: 10.2106/jbjs.h.01373
- Akbar, M., Penzkofer, S., Weber, M. A., Bruckner, T., Winterstein, M. et Jung, M. (2014). Prevalence of carpal tunnel syndrome and wrist osteoarthritis in long-term paraplegic patients compared with controls. *J Hand Surg Eur Vol*, 39(2), 132-138. doi: 10.1177/1753193413478550
- American College of Sports Medicine., Swain, D. P. et Brawner, C. A. (2014). *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. (7th<sup>e</sup> éd.). Philadelphia: Wolters Kluwer Health/Lippincott Williams & Wilkins.
- Amundsen, B. H., Rognmo, Ø., Hatlen-Rebhan, G. et Slørdahl, S. A. (2008). High-intensity aerobic exercise improves diastolic function in coronary artery disease. *Scandinavian Cardiovascular Journal*, 42(2), 110-117. doi: 10.1080/14017430701744477
- Andresen, E. M. (2000). Criteria for assessing the tools of disability outcomes research. *Arch Phys Med Rehabil*, 81(12 Suppl 2), S15-20.
- Arabi, H., Vandewalle, H., Kapitaniak, B. et Monod, H. (1999). Evaluation of wheelchair users in the field and in laboratory: Feasibility of progressive tests and critical velocity tests. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 24(5), 483-491. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-8141\(98\)00057-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-8141(98)00057-2)
- Arabi, H., Vandewalle, H., Pitor, P., de Lattre, J. et Monod, H. (1997). Relationship between maximal oxygen uptake on different ergometers, lean arm volume and strength in paraplegic subjects. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 76(2), 122-127. doi: 10.1007/s004210050223
- Arbour-Nicitopoulos, K. P., Ginis, K. A. et Latimer, A. E. (2009). Planning, leisure-time physical activity, and coping self-efficacy in persons with spinal cord injury: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*, 90(12), 2003-2011. doi: 10.1016/j.apmr.2009.06.019
- Arbour-Nicitopoulos, K. P., Martin Ginis, K. A., Latimer-Cheung, A. E., Bourne, C., Campbell, D., Cappe, S., . . . Smith, K. (2013). Development of an evidence-informed leisure time physical activity resource for adults with spinal cord injury: the SCI Get Fit Toolkit. *Spinal Cord*, 51(6), 491-500. doi: 10.1038/sc.2013.7

- Arbour-Nicitopoulos, K. P., Tomasone, J. R., Latimer-Cheung, A. E. et Martin Ginis, K. A. (2014). Get in motion: an evaluation of the reach and effectiveness of a physical activity telephone counseling service for Canadians living with spinal cord injury. *PM R*, 6(12), 1088-1096. doi: 10.1016/j.pmrj.2014.05.018
- Arena, R., Myers, J., Williams, M. A., Gulati, M., Kligfield, P., Balady, G. J., . . . Fletcher, G. (2007). Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing. *Circulation*, 116(3), 329-343. doi: 10.1161/circulationaha.106.184461
- Balady, G. J., Weiner, D. A., McCabe, C. H. et Ryan, T. J. (1985). Value of arm exercise testing in detecting coronary artery disease. *Am J Cardiol*, 55(1), 37-39.
- Bar-Or, O. et Zwiren, L. D. (1975). Maximal oxygen consumption test during arm exercise--reliability and validity. *J Appl Physiol*, 38(3), 424-426.
- Barfield, J. P., Newsome, L., John, E. B., Sallee, D., Frames, C., Soangra, R. et Malone, L. A. (2016). A case report of shoulder fatigue imbalance in wheelchair rugby: implications to pain and injury. *Spinal Cord Series and Cases*, 2, 16002. doi: 10.1038/scsandc.2016.2
- Bartlett, J. D., Close, G. L., MacLaren, D. P., Gregson, W., Drust, B. et Morton, J. P. (2011). High-intensity interval running is perceived to be more enjoyable than moderate-intensity continuous exercise: implications for exercise adherence. *J Sports Sci*, 29(6), 547-553. doi: 10.1080/02640414.2010.545427
- Bayley, J. C., Cochran, T. P. et Sledge, C. B. (1987). The weight-bearing shoulder. The impingement syndrome in paraplegics. *J Bone Joint Surg Am*, 69(5), 676-678.
- Beltz, N. M., Gibson, A. L., Janot, J. M., Kravitz, L., Mermier, C. M. et Dalleck, L. C. (2016). Graded Exercise Testing Protocols for the Determination of VO<sub>2</sub>max: Historical Perspectives, Progress, and Future Considerations. *Journal of Sports Medicine*, 2016, 3968393. doi: 10.1155/2016/3968393
- Bentley, D. J., Newell, J. et Bishop, D. (2007). Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports Med*, 37(7), 575-586.
- Best, K. L., Arbour-Nicitopoulos, K. P. et Sweet, S. N. (2017). Community-based physical activity and wheelchair mobility programs for individuals with spinal cord injury in Canada: Current reflections and future directions. *J Spinal Cord Med*, 1-6. doi: 10.1080/10790268.2017.1367363
- Best, K. L. et Miller, W. C. (2011). Physical and leisure activity in older community-dwelling Canadians who use wheelchairs: a population study. *J Aging Res*, 2011, 147929. doi: 10.4061/2011/147929
- Best, K. L., Routhier, F., Sweet, S. N., Arbour-Nicitopoulos, K. P., Borisoff, J. F., Noreau, L. et Martin Ginis, K. A. (2017). The Smartphone Peer Physical Activity Counseling

- (SPPAC) Program for Manual Wheelchair Users: Protocol of a Pilot Randomized Controlled Trial. *JMIR Res Protoc*, 6(4), e69. doi: 10.2196/resprot.7280
- Biering-Sorensen, F., Biering-Sorensen, T., Liu, N., Malmqvist, L., Wecht, J. M. et Krassioukov, A. (2017). Alterations in cardiac autonomic control in spinal cord injury. *Auton Neurosci*. doi: 10.1016/j.autneu.2017.02.004
- Bisson, T. et Newsam, C. J. (2017). Short-duration, high-intensity bouts of physical therapy to increase self-efficacy, confidence, and function in an individual with incomplete spinal cord injury: A case report. *Physiother Theory Pract*, 1-8. doi: 10.1080/09593985.2017.1357155
- Bizier, C., Fawcett, G. et Gilbert, D. (2016). *Enquête canadienne sur l'incapacité; Les troubles de mobilité chez les Canadiens âgés de 15 ans et plus, 2012*. Statistique Canada.
- Bizzarini, E., Saccavini, M., Lipanje, F., Magrin, P., Malisan, C. et Zampa, A. (2005). Exercise prescription in subjects with spinal cord injuries. *Arch Phys Med Rehabil*, 86(6), 1170-1175. doi: 10.1016/j.apmr.2004.11.014
- Blackmer, J. (2003). Rehabilitation medicine: 1. Autonomic dysreflexia. *CMAJ: Canadian Medical Association Journal*, 169(9), 931-935.
- Blair, S. N., Kampert, J. B., Kohl, H. W., 3rd, Barlow, C. E., Macera, C. A., Paffenbarger, R. S., Jr. et Gibbons, L. W. (1996). Influences of cardiorespiratory fitness and other precursors on cardiovascular disease and all-cause mortality in men and women. *JAMA*, 276(3), 205-210.
- Bland, J. M. et Altman, D. G. (1999). Measuring agreement in method comparison studies. *Stat Methods Med Res*, 8(2), 135-160. doi: 10.1177/096228029900800204
- Bloemen, M. A., de Groot, J. F., Backx, F. J., Westerveld, R. A. et Takken, T. (2015). Arm cranking versus wheelchair propulsion for testing aerobic fitness in children with spina bifida who are wheelchair dependent. *J Rehabil Med*, 47(5), 432-437. doi: 10.2340/16501977-1944
- Bogey, R. A. et Barnes, L. A. (2017). Estimates of individual muscle power production in normal adult walking. *J Neuroeng Rehabil*, 14(1), 92. doi: 10.1186/s12984-017-0306-2
- Boileau, R. A., Bonen, A., Heyward, V. H. et Massey, B. H. (1977). Maximal aerobic capacity on the treadmill and bicycle ergometer of boys 11-14 years of age. *J Sports Med Phys Fitness*, 17(2), 153-162.
- Boninger, M. L., Koontz, A. M., Sisto, S. A., Dyson-Hudson, T. A., Chang, M., Price, R. et Cooper, R. A. (2005). Pushrim biomechanics and injury prevention in spinal cord injury: recommendations based on CULP-SCI investigations. *J Rehabil Res Dev*, 42(3 Suppl 1), 9-19.
- Boninger, M. L., Souza, A. L., Cooper, R. A., Fitzgerald, S. G., Koontz, A. M. et Fay, B. T. (2002). Propulsion patterns and pushrim biomechanics in manual wheelchair propulsion. *Arch Phys Med Rehabil*, 83(5), 718-723.

- Boot, C. R., Binkhorst, R. A. et Hopman, M. T. (2006). Body temperature responses in spinal cord injured individuals during exercise in the cold and heat. *Int J Sports Med*, 27(8), 599-604. doi: 10.1055/s-2005-865955
- Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. *Scand J Work Environ Health*, 16 Suppl 1, 55-58.
- Bougenot, M. P., Tordi, N., Betik, A. C., Martin, X., Le Foll, D., Parratte, B., . . . Rouillon, J. D. (2003). Effects of a wheelchair ergometer training programme on spinal cord-injured persons. *Spinal Cord*, 41(8), 451-456. doi: 10.1038/sj.sc.3101475
- Brawley, L. R., Arbour-Nicitopoulos, K. P. et Martin Ginis, K. A. (2013). Developing physical activity interventions for adults with spinal cord injury. Part 3: a pilot feasibility study of an intervention to increase self-managed physical activity. *Rehabil Psychol*, 58(3), 316-321. doi: 10.1037/a0032814
- Bredin, S. S., Gledhill, N., Jamnik, V. K. et Warburton, D. E. (2013). PAR-Q+ and ePARmed-X+: new risk stratification and physical activity clearance strategy for physicians and patients alike. *Canadian Family Physician*, 59(3), 273-277.
- Buchheit, M. et Laursen, P. B. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med*, 43(5), 313-338. doi: 10.1007/s40279-013-0029-x
- Bulthuis, Y., Drossaers-Bakker, W., Oosterveld, F., van der Palen, J. et van de Laar, M. (2010). Arm crank ergometer is reliable and valid for measuring aerobic capacity during submaximal exercise. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2809-2815. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e31242
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., Macdonald, M. J., McGee, S. L. et Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *J Physiol*, 586(1), 151-160. doi: 10.1113/jphysiol.2007.142109
- Chilibeck, P. D., Bell, G. J., Farrar, R. P. et Martin, T. P. (1998). Higher mitochondrial fatty acid oxidation following intermittent versus continuous endurance exercise training. *Can J Physiol Pharmacol*, 76(9), 891-894.
- Chow, J. W., Millikan, T. A., Carlton, L. G., Chae, W. S., Lim, Y. T. et Morse, M. I. (2009). Kinematic and electromyographic analysis of wheelchair propulsion on ramps of different slopes for young men with paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*, 90(2), 271-278. doi: 10.1016/j.apmr.2008.07.019
- Cijsouw, A., Adriaansen, J. J., Tepper, M., Dijkstra, C. A., van Linden, S., de Groot, S. et Post, M. W. (2017). Associations between disability-management self-efficacy, participation and life satisfaction in people with long-standing spinal cord injury. *Spinal Cord*, 55(1), 47-51. doi: 10.1038/sc.2016.80
- Ciolac, E. G., Bocchi, E. A., Greve, J. M. et Guimaraes, G. V. (2011). Heart rate response to exercise and cardiorespiratory fitness of young women at high familial risk for

- hypertension: effects of interval vs continuous training. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 18(6), 824-830. doi: 10.1177/1741826711398426
- Cirnigliaro, C. M., La Fontaine, M. F., Emmons, R., Kirshblum, S. C., Asselin, P., Spungen, A. M. et Bauman, W. A. (2013). Prediction of limb lean tissue mass from bioimpedance spectroscopy in persons with chronic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*, 36(5), 443-453. doi: 10.1179/2045772313y.0000000108
- Cooper, R. A. (2009). SMARTWheel: From concept to clinical practice. *Prosthet Orthot Int*, 33(3), 198-209. doi: 10.1080/03093640903082126
- Cosar, S. N., Yemisci, O. U., Oztop, P., Cetin, N., Sarifakioglu, B., Yalbuздag, S. A., . . . Karatas, M. (2010). Demographic characteristics after traumatic and non-traumatic spinal cord injury: a retrospective comparison study. *Spinal Cord*, 48(12), 862-866. doi: 10.1038/sc.2010.49
- Costill, D. L., Wilmore, J. H. et W.L., K. (2009). *Physiologie du sport et de l'exercice: adaptations physiologiques à l'exercice physique*. (4e édition<sup>e</sup> éd.). De Boeck.
- Coulson, M. et Archer, D. (2015). *Practical Fitness Testing: Analysis in Exercise and Sport*. Bloomsbury Publishing.
- Cragg, J. J., Ravensbergen, H. J., Borisoff, J. F. et Claydon, V. E. (2015). Optimal scaling of weight and waist circumference to height for adiposity and cardiovascular disease risk in individuals with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 53(1), 64-68. doi: 10.1038/sc.2014.165
- Cratsenberg, K. A., Deitrick, C. E., Harrington, T. K., Kopecky, N. R., Matthews, B. D., Ott, L. M. et Coeytaux, R. R. (2015). Effectiveness of Exercise Programs for Management of Shoulder Pain in Manual Wheelchair Users With Spinal Cord Injury. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 39(4), 197-203. doi: 10.1097/npt.0000000000000103
- Currell, K. et Jeukendrup, A. E. (2008). Validity, reliability and sensitivity of measures of sporting performance. *Sports Med*, 38(4), 297-316.
- Curtis, K. A., Roach, K. E., Applegate, E. B., Amar, T., Benbow, C. S., Genecco, T. D. et Gualano, J. (1995a). Development of the Wheelchair User's Shoulder Pain Index (WUSPI). *Paraplegia*, 33(5), 290-293. doi: 10.1038/sc.1995.65
- Curtis, K. A., Roach, K. E., Applegate, E. B., Amar, T., Benbow, C. S., Genecco, T. D. et Gualano, J. (1995b). Reliability and validity of the Wheelchair User's Shoulder Pain Index (WUSPI). *Paraplegia*, 33(10), 595-601. doi: 10.1038/sc.1995.126
- Darter, B. J., Rodriguez, K. M. et Wilken, J. M. (2013). Test-retest reliability and minimum detectable change using the K4b2: oxygen consumption, gait efficiency, and heart rate for healthy adults during submaximal walking. *Res Q Exerc Sport*, 84(2), 223-231. doi: 10.1080/02701367.2013.784720

- Day, J. R., Rossiter, H. B., Coats, E. M., Skasick, A. et Whipp, B. J. (2003). The maximally attainable VO<sub>2</sub> during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *J Appl Physiol* (1985), 95(5), 1901-1907. doi: 10.1152/jappphysiol.00024.2003
- de Groot, P. C., Hjeltnes, N., Heijboer, A. C., Stal, W. et Birkeland, K. (2003). Effect of training intensity on physical capacity, lipid profile and insulin sensitivity in early rehabilitation of spinal cord injured individuals. *Spinal Cord*, 41(12), 673-679. doi: 10.1038/sj.sc.3101534
- de Groot, S., Veeger, H. E., Hollander, A. P. et van der Woude, L. H. (2004). Effect of wheelchair stroke pattern on mechanical efficiency. *Am J Phys Med Rehabil*, 83(8), 640-649.
- Décary, S., Gagnon, D., Brosseau, R. et A, R. (2014). Comparison of Cardiorespiratory Response During a 6-Minutes Manual Wheelchair Propulsion and an Arm Crank Ergometer Tests in Individuals with Spinal Cord Injury. *PHYSICAL THERAPY*, [manuscript submitted for initial review].
- DeFina, L. F., Haskell, W. L., Willis, B. L., Barlow, C. E., Finley, C. E., Levine, B. D. et Cooper, K. H. (2015). Physical activity versus cardiorespiratory fitness: two (partly) distinct components of cardiovascular health? *Prog Cardiovasc Dis*, 57(4), 324-329. doi: 10.1016/j.pcad.2014.09.008
- Devillard, X., Rimaud, D., Roche, F. et Calmels, P. (2007). Effects of training programs for spinal cord injury. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 50(6), 490-498, 480-499. doi: 10.1016/j.annrmp.2007.04.013
- DiCarlo, S. E. (1988). Effect of arm ergometry training on wheelchair propulsion endurance of individuals with quadriplegia. *Phys Ther*, 68(1), 40-44.
- DiCarlo, S. E., Supp, M. D. et Taylor, H. C. (1983). Effect of arm ergometry training on physical work capacity of individuals with spinal cord injuries. *Phys Ther*, 63(7), 1104-1107.
- Dolbow, D. R., Gorgey, A. S., Ketchum, J. M., Moore, J. R., Hackett, L. A. et Gater, D. R. (2012). Exercise adherence during home-based functional electrical stimulation cycling by individuals with spinal cord injury. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 91(11), 922-930. doi: 10.1097/PHM.0b013e318269d89f
- Duffield, R., Dawson, B., Pinnington, H. C. et Wong, P. (2004). Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 7(1), 11-22.
- Duncan, G. E., Howley, E. T. et Johnson, B. N. (1997). Applicability of VO<sub>2</sub>max criteria: discontinuous versus continuous protocols. *Med Sci Sports Exerc*, 29(2), 273-278.
- Duran, F. S., Lugo, L., Ramirez, L. et Eusse, E. (2001). Effects of an exercise program on the rehabilitation of patients with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 82(10), 1349-1354.



- El-Sayed, M. S., Younesian, A., Rahman, K., Ismail, F. M. et El-Sayed Ali, Z. (2004). The effects of arm cranking exercise and training on platelet aggregation in male spinal cord individuals. *Thromb Res*, 113(2), 129-136. doi: 10.1016/j.thromres.2004.02.014
- Esfandiari, S., Sasson, Z. et Goodman, J. M. (2014). Short-term high-intensity interval and continuous moderate-intensity training improve maximal aerobic power and diastolic filling during exercise. *Eur J Appl Physiol*, 114(2), 331-343. doi: 10.1007/s00421-013-2773-x
- Evans, N., Wingo, B., Sasso, E., Hicks, A., Gorgey, A. S. et Harness, E. (2015). Exercise Recommendations and Considerations for Persons With Spinal Cord Injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 96(9), 1749-1750. doi: 10.1016/j.apmr.2015.02.005
- Fahs, C. A., Heffernan, K. S., Ranadive, S., Jae, S. Y. et Fernhall, B. (2010). Muscular strength is inversely associated with aortic stiffness in young men. *Med Sci Sports Exerc*, 42(9), 1619-1624. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181d8d834
- Fairshter, R. D., Walters, J., Salness, K., Fox, M., Minh, V. D. et Wilson, A. F. (1983). A comparison of incremental exercise tests during cycle and treadmill ergometry. *Med Sci Sports Exerc*, 15(6), 549-554.
- Farry, A. et Baxter, D. (2010). The Incidence and Prevalence of Spinal Cord Injury in Canada Overview and estimates based on current evidence: Rick Hansen Institute and Urban Futures Institute.
- Ferretti, G. (2014). Maximal oxygen consumption in healthy humans: theories and facts. *Eur J Appl Physiol*, 114(10), 2007-2036. doi: 10.1007/s00421-014-2911-0
- Field-Fote, E. (2009). *Spinal Cord Injury Rehabilitation*. F.A. Davis.
- Finley, M. A. et Rodgers, M. M. (2004). Prevalence and identification of shoulder pathology in athletic and nonathletic wheelchair users with shoulder pain: A pilot study. *J Rehabil Res Dev*, 41(3B), 395-402.
- Fleiss, J. L. (1981). *Statistical Methods for Rates and Proportions*. Wiley.
- Fliess-Douer, O., Vanlandewijck, Y. C., Lubel Manor, G. et Van Der Woude, L. H. (2010). A systematic review of wheelchair skills tests for manual wheelchair users with a spinal cord injury: towards a standardized outcome measure. *Clin Rehabil*, 24(10), 867-886. doi: 10.1177/0269215510367981
- Fournier, C., Dubé, G., Linda, C., Godbout, M. et Murphy, M. (2013). *Enquête québécoise sur les limitations d'activités, les maladies chroniques et le vieillissement 2010-2011: Utilisation des services de santé et des services sociaux des personnes avec incapacité*. Québec: Institut de la statistique du Québec,.
- Freyssin, C., Verkindt, C., Prieur, F., Benaich, P., Maunier, S. et Blanc, P. (2012). Cardiac rehabilitation in chronic heart failure: effect of an 8-week, high-intensity interval

- training versus continuous training. *Arch Phys Med Rehabil*, 93(8), 1359-1364. doi: 10.1016/j.apmr.2012.03.007
- Froehlich-Grobe, K., Lee, J., Aaronson, L., Nary, D. E., Washburn, R. A. et Little, T. D. (2014). Exercise for everyone: a randomized controlled trial of project workout on wheels in promoting exercise among wheelchair users. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(1), 20-28. doi: 10.1016/j.apmr.2013.07.006
- Froelicher, V. F., Brammell, H., Davis, G., Noguera, I., Stewart, A. et Lancaster, M. C. (1974a). A Comparison of the Reproducibility and Physiologic Response to Three Maximal Treadmill Exercise Protocols. *Chest*, 65(5), 512-517. doi: <https://doi.org/10.1378/chest.65.5.512>
- Froelicher, V. F., Jr., Brammell, H., Davis, G., Noguera, I., Stewart, A. et Lancaster, M. C. (1974b). A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. *J Appl Physiol*, 36(6), 720-725.
- Fukuoka, Y., Nakanishi, R., Ueoka, H., Kitano, A., Takeshita, K. et Itoh, M. (2006). Effects of wheelchair training on VO<sub>2</sub> kinetics in the participants with spinal-cord injury. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 1(3), 167-174.
- Gagnon, D., Babineau, A. C., Champagne, A., Desroches, G. et Aissaoui, R. (2015). Trunk and shoulder kinematic and kinetic and electromyographic adaptations to slope increase during motorized treadmill propulsion among manual wheelchair users with a spinal cord injury. *Biomed Res Int*, 2015, 636319. doi: 10.1155/2015/636319
- Gagnon, D. H., Babineau, A. C., Champagne, A., Desroches, G. et Aissaoui, R. (2014). Pushrim biomechanical changes with progressive increases in slope during motorized treadmill manual wheelchair propulsion in individuals with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*, 51(5), 789-802. doi: 10.1682/jrrd.2013.07.0168
- Gagnon, D. H., Jouval, C. et Chenier, F. (2016). Estimating pushrim temporal and kinetic measures using an instrumented treadmill during wheelchair propulsion: A concurrent validity study. *J Biomech*, 49(9), 1976-1982. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.04.035
- Gagnon, D. H., Roy, A., Verrier, M. C., Duclos, C., Craven, B. C. et Nadeau, S. (2016). Do Performance-Based Wheelchair Propulsion Tests Detect Changes Among Manual Wheelchair Users With Spinal Cord Injury During Inpatient Rehabilitation in Quebec? *Arch Phys Med Rehabil*, 97(7), 1214-1218. doi: 10.1016/j.apmr.2016.02.018
- Gangelhoff, J., Cordain, L., Tucker, A. et Sockler, J. (1988). Metabolic and heart rate responses to submaximal arm lever and arm crank ergometry. *Arch Phys Med Rehabil*, 69(2), 101-105.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., . . . Swain, D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7), 1334-1359. doi: 10.1249/MSS.0b013e318213fefb

- Garshick, E., Kelley, A., Cohen, S. A., Garrison, A., Tun, C. G., Gagnon, D. et Brown, R. (2005). A prospective assessment of mortality in chronic spinal cord injury. *Spinal Cord*, 43(7), 408-416. doi: 10.1038/sj.sc.3101729
- Gass, E. M., Harvey, L. A. et Gass, G. C. (1995). Maximal physiological responses during arm cranking and treadmill wheelchair propulsion in T4-T6 paraplegic men. *Paraplegia*, 33(5), 267-270. doi: 10.1038/sc.1995.60
- Gass, G. C. et Camp, E. M. (1984). The maximum physiological responses during incremental wheelchair and arm cranking exercise in male paraplegics. *Med Sci Sports Exerc*, 16(4), 355-359.
- Gass, G. C., Watson, J., Camp, E. M., Court, H. J., McPherson, L. M. et Redhead, P. (1980). The effects of physical training on high level spinal lesion patients. *Scand J Rehabil Med*, 12(2), 61-65.
- Gauthier, C., Grangeon, M., Ananos, L., Brosseau, R. et Gagnon, D. H. (2017). Quantifying cardiorespiratory responses resulting from speed and slope increments during motorized treadmill propulsion among manual wheelchair users. *Ann Phys Rehabil Med*. doi: 10.1016/j.rehab.2017.02.007
- Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J. et Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *The Journal Physiology*, 590(5), 1077-1084. doi: 10.1113/jphysiol.2011.224725
- Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., . . . Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *J Physiol*, 575(Pt 3), 901-911. doi: 10.1113/jphysiol.2006.112094
- Gibbons, R. S., Stock, C. G., Andrews, B. J., Gall, A. et Shave, R. E. (2016). The effect of FES-rowing training on cardiac structure and function: pilot studies in people with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 54(10), 822-829. doi: 10.1038/sc.2015.228
- Gil-Agudo, A., Del Ama-Espinosa, A., Perez-Rizo, E., Perez-Nombela, S. et Crespo-Ruiz, B. (2010). Shoulder joint kinetics during wheelchair propulsion on a treadmill at two different speeds in spinal cord injury patients. *Spinal Cord*, 48(4), 290-296. doi: 10.1038/sc.2009.126
- Ginis, K. A., Arbour-Nicitopoulos, K. P., Latimer, A. E., Buchholz, A. C., Bray, S. R., Craven, B. C., . . . Wolfe, D. L. (2010). Leisure time physical activity in a population-based sample of people with spinal cord injury part II: activity types, intensities, and durations. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(5), 729-733. doi: 10.1016/j.apmr.2009.12.028
- Ginis, K. A. et Hicks, A. L. (2007). Considerations for the development of a physical activity guide for Canadians with physical disabilities. *Can J Public Health*, 98 Suppl 2, S135-147.

- Ginis, K. A., Hicks, A. L., Latimer, A. E., Warburton, D. E., Bourne, C., Ditor, D. S., . . . Wolfe, D. L. (2011). The development of evidence-informed physical activity guidelines for adults with spinal cord injury. *Spinal Cord*, 49(11), 1088-1096. doi: 10.1038/sc.2011.63
- Ginis, K. A., Latimer, A. E., Arbour-Nicitopoulos, K. P., Buchholz, A. C., Bray, S. R., Craven, B. C., . . . Wolfe, D. L. (2010). Leisure time physical activity in a population-based sample of people with spinal cord injury part I: demographic and injury-related correlates. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 91(5), 722-728. doi: 10.1016/j.apmr.2009.12.027
- Ginis, K. A., Tomasone, J. R., Latimer-Cheung, A. E., Arbour-Nicitopoulos, K. P., Bassett-Gunter, R. L. et Wolfe, D. L. (2013). Developing physical activity interventions for adults with spinal cord injury. Part 1: a comparison of social cognitions across actors, intenders, and nonintenders. *Rehabil Psychol*, 58(3), 299-306. doi: 10.1037/a0032815
- Glaser, R. M., Sawka, M. N., Brune, M. F. et Wilde, S. W. (1980). Physiological responses to maximal effort wheelchair and arm crank ergometry. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*, 48(6), 1060-1064.
- Gordon, D., Mehter, M., Gernigon, M., Caddy, O., Keiller, D. et Barnes, R. (2012). The effects of exercise modality on the incidence of plateau at VO<sub>2</sub>max. *Clin Physiol Funct Imaging*, 32(5), 394-399. doi: 10.1111/j.1475-097X.2012.01142.x
- Gorman, P. H., Geigle, P. R., Chen, K., York, H. et Scott, W. (2014). Reliability and relatedness of peak VO<sub>2</sub> assessments during body weight supported treadmill training and arm cycle ergometry in individuals with chronic motor incomplete spinal cord injury. *Spinal Cord*, 52(4), 287-291. doi: 10.1038/sc.2014.6
- Guiraud, T., Nigam, A., Gremeaux, V., Meyer, P., Juneau, M. et Bosquet, L. (2012). High-intensity interval training in cardiac rehabilitation. *Sports Medicine*, 42(7), 587-605. doi: 10.2165/11631910-000000000-00000
- Haisma, J. A., Bussmann, J. B., Stam, H. J., Sluis, T. A., Bergen, M. P., Dallmeijer, A. J., . . . van der Woude, L. H. (2006). Changes in physical capacity during and after inpatient rehabilitation in subjects with a spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 87(6), 741-748. doi: 10.1016/j.apmr.2006.02.032
- Haisma, J. A., Bussmann, J. B., Stam, H. J., Sluis, T. A., Bergen, M. P., Post, M. W., . . . van der Woude, L. H. (2007). Physical fitness in people with a spinal cord injury: the association with complications and duration of rehabilitation. *Clin Rehabil*, 21(10), 932-940. doi: 10.1177/0269215507079134
- Haisma, J. A., van der Woude, L. H., Stam, H. J., Bergen, M. P., Sluis, T. A. et Bussmann, J. B. (2006). Physical capacity in wheelchair-dependent persons with a spinal cord injury: a critical review of the literature. *Spinal Cord*, 44(11), 642-652. doi: 10.1038/sj.sc.3101915
- Hambrecht, R. P., Schuler, G. C., Muth, T., Grunze, M. F., Marburger, C. T., Niebauer, J., . . . Kubler, W. (1992). Greater diagnostic sensitivity of treadmill versus cycle exercise

- testing of asymptomatic men with coronary artery disease. *Am J Cardiol*, 70(2), 141-146.
- Haram, P. M., Kemi, O. J., Lee, S. J., Bendheim, M. O., Al-Share, Q. Y., Waldum, H. L., . . . Wisloff, U. (2009). Aerobic interval training vs. continuous moderate exercise in the metabolic syndrome of rats artificially selected for low aerobic capacity. *Cardiovascular Research*, 81(4), 723-732. doi: 10.1093/cvr/cvn332
- Harnish, C. R., Daniels, J. A. et Caruso, D. (2017). Training response to high-intensity interval training in a 42-year-old man with chronic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*, 40(2), 246-249. doi: 10.1080/10790268.2015.1136783
- Hartung, G. H., Lally, D. A. et Blancq, R. J. (1993). Comparison of treadmill exercise testing protocols for wheelchair users. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 66(4), 362-365.
- Harvey, L. (2008). *Management of Spinal Cord Injuries: A Guide for Physiotherapists*. Butterworth-Heinemann.
- Hastings, J. D., Dickson, J., Tracy, L., Baniewicz, C. et Levine, C. (2014). Conservative treatment of neuromuscular scoliosis in adult tetraplegia: a case report. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(12), 2491-2495. doi: 10.1016/j.apmr.2014.04.016
- Hastings, J. D., Fanucchi, E. R. et Burns, S. P. (2003). Wheelchair configuration and postural alignment in persons with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 84(4), 528-534. doi: 10.1053/apmr.2003.50036
- Haykowsky, M. J., Timmons, M. P., Kruger, C., McNeely, M., Taylor, D. A. et Clark, A. M. (2013). Meta-analysis of aerobic interval training on exercise capacity and systolic function in patients with heart failure and reduced ejection fractions. *Am J Cardiol*, 111(10), 1466-1469. doi: 10.1016/j.amjcard.2013.01.303
- Helgerud, J., Hoydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., . . . Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665-671. doi: 10.1249/mss.0b013e3180304570
- Hicks, A. L., Martin Ginis, K. A., Pelletier, C. A., Ditor, D. S., Foulon, B. et Wolfe, D. L. (2011). The effects of exercise training on physical capacity, strength, body composition and functional performance among adults with spinal cord injury: a systematic review. *Spinal Cord*, 49(11), 1103-1127. doi: 10.1038/sc.2011.62
- Hill, A. V. et Lupton, H. (1923). *Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen*.
- Hill, D. W. (1996). Effect of time of day on aerobic power in exhaustive high-intensity exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, 36(3), 155-160.
- Hill, J. N., Etingen, B., Miskevics, S. et LaVela, S. L. (2017). Correlates of self-reported physical function in individuals with spinal cord injuries and disorders: does self-efficacy matter? *Spinal Cord*. doi: 10.1038/sc.2017.35

- Hintzy, F., Tordi, N. et Perrey, S. (2002). Muscular efficiency during arm cranking and wheelchair exercise: a comparison. *Int J Sports Med*, 23(6), 408-414. doi: 10.1055/s-2002-33734
- Hinzpeter, J., Zamorano, A., Cuzmar, D., Lopez, M. et Burboa, J. (2014). Effect of active versus passive recovery on performance during intrameet swimming competition. *Sports Health*, 6(2), 119-121. doi: 10.1177/1941738113500769
- Hiremath, S. V., Ding, D., Farrington, J. et Cooper, R. A. (2012). Predicting energy expenditure of manual wheelchair users with spinal cord injury using a multisensor-based activity monitor. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 93(11), 1937-1943. doi: 10.1016/j.apmr.2012.05.004
- Hjeltnes, N. (1986). Cardiorespiratory capacity in tetra- and paraplegia shortly after injury. *Scand J Rehabil Med*, 18(2), 65-70.
- Hjeltnes, N. et Wallberg-Henriksson, H. (1998). Improved work capacity but unchanged peak oxygen uptake during primary rehabilitation in tetraplegic patients. *Spinal Cord*, 36(10), 691-698.
- Hol, A. T., Eng, J. J., Miller, W. C., Sproule, S. et Krassioukov, A. V. (2007). Reliability and validity of the six-minute arm test for the evaluation of cardiovascular fitness in people with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 88(4), 489-495. doi: 10.1016/j.apmr.2006.12.044
- Hooker, S. P. et Wells, C. L. (1989). Effects of low- and moderate-intensity training in spinal cord-injured persons. *Med Sci Sports Exerc*, 21(1), 18-22.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 30(1), 1-15.
- Howarth, S. J., Polgar, J. M., Dickerson, C. R. et Callaghan, J. P. (2010). Trunk muscle activity during wheelchair ramp ascent and the influence of a geared wheel on the demands of postural control. *Arch Phys Med Rehabil*, 91(3), 436-442. doi: 10.1016/j.apmr.2009.10.016
- Hu, L., McAuley, E., Motl, R. W. et Konopack, J. F. (2007). Influence of self-efficacy on the functional relationship between ratings of perceived exertion and exercise intensity. *J Cardiopulm Rehabil Prev*, 27(5), 303-308; quiz 309-310. doi: 10.1097/01.HCR.0000291298.70517.7e
- Hwang, C. L., Wu, Y. T. et Chou, C. H. (2011). Effect of aerobic interval training on exercise capacity and metabolic risk factors in people with cardiometabolic disorders: a meta-analysis. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation and Prevention*, 31(6), 378-385. doi: 10.1097/HCR.0b013e31822f16cb
- Irazusta, A., Gil, S., Ruiz, F., Gondra, J., Jauregi, A., Irazusta, J. et Gil, J. (2006). Exercise, physical fitness, and dietary habits of first-year female nursing students. *Biological Research for Nursing*, 7(3), 175-186.

- Jack, L. P., Purcell, M., Allan, D. B. et Hunt, K. J. (2010). Comparison of peak cardiopulmonary performance parameters during robotics-assisted treadmill exercise and arm crank ergometry in incomplete spinal cord injury. *Technol Health Care*, 18(4-5), 285-296. doi: 10.3233/thc-2010-0591
- Jamnik, V. K., Warburton, D. E., Makarski, J., McKenzie, D. C., Shephard, R. J., Stone, J. A., . . . Gledhill, N. (2011). Enhancing the effectiveness of clearance for physical activity participation: background and overall process. *Appl Physiol Nutr Metab*, 36 Suppl 1, S3-13. doi: 10.1139/h11-044
- Jehn, M., Halle, M., Schuster, T., Hanssen, H., Weis, M., Koehler, F. et Schmidt-Trucksass, A. (2009). The 6-min walk test in heart failure: is it a max or sub-maximum exercise test? *Eur J Appl Physiol*, 107(3), 317-323. doi: 10.1007/s00421-009-1128-0
- Jewell, T. R. I. N. R. G. V. D. V. (2011). *Guide to Evidence-Based Physical Therapist Practice*. Jones & Bartlett Learning, LLC.
- Jones, L. M., Legge, M. et Goulding, A. (2003). Healthy body mass index values often underestimate body fat in men with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 84(7), 1068-1071.
- Kaminsky, L. A. et Whaley, M. H. (1998). Evaluation of a new standardized ramp protocol: the BSU/Bruce Ramp protocol. *J Cardiopulm Rehabil*, 18(6), 438-444.
- Kessler, H. S., Sisson, S. B. et Short, K. R. (2012). The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Medicine*, 42(6), 489-509. doi: 10.2165/11630910-000000000-00000
- Keyser, R. E., Rodgers, M. M. et Rasch, E. R. (2001). Reliability of cardiorespiratory measurements during wheelchair ergometry. *J Rehabil Res Dev*, 38(4), 423-430.
- Kilkens, O. J., Dallmeijer, A. J., Nene, A. V., Post, M. W. et van der Woude, L. H. (2005). The longitudinal relation between physical capacity and wheelchair skill performance during inpatient rehabilitation of people with spinal cord injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86(8), 1575-1581. doi: 10.1016/j.apmr.2005.03.020
- Kilpatrick, M. W. et Greeley, S. J. (2014). Exertional responses to sprint interval training: a comparison of 30-sec. and 60-sec. conditions. *Psychological Reports*, 114(3), 854-865. doi: 10.2466/06.15.PR0.114k27w8
- Kilpatrick, M. W., Martinez, N., Little, J. P., Jung, M. E., Jones, A. M., Price, N. W. et Lende, D. H. (2014). Impact of High-Intensity Interval Duration on Perceived Exertion. *Med Sci Sports Exerc*. doi: 10.1249/mss.0000000000000495
- Kirshblum, S. C., Burns, S. P., Biering-Sorensen, F., Donovan, W., Graves, D. E., Jha, A., . . . Waring, W. (2011). International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *J Spinal Cord Med*, 34(6), 535-546. doi: 10.1179/204577211x13207446293695

- Kloosterman, M. G., Snoek, G. J., van der Woude, L. H., Buurke, J. H. et Rietman, J. S. (2013). A systematic review on the pros and cons of using a pushrim-activated power-assisted wheelchair. *Clin Rehabil*, 27(4), 299-313. doi: 10.1177/0269215512456387
- Kodama, S., Saito, K., Tanaka, S., Maki, M., Yachi, Y., Asumi, M., . . . Sone, H. (2009). Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*, 301(19), 2024-2035. doi: 10.1001/jama.2009.681
- Koopman, A. D., Eken, M. M., van Bezeij, T., Valent, L. J. et Houdijk, H. (2013). Does clinical rehabilitation impose sufficient cardiorespiratory strain to improve aerobic fitness? *J Rehabil Med*, 45(1), 92-98. doi: 10.2340/16501977-1072
- Koufaki, P., Mercer, T. H., George, K. P. et Nolan, J. (2014). Low-volume high-intensity interval training vs continuous aerobic cycling in patients with chronic heart failure: a pragmatic randomised clinical trial of feasibility and effectiveness. *Journal of Rehabilitation Medicine*, 46(4), 348-356. doi: 10.2340/16501977-1278
- Kwarciak, A. M., Turner, J. T., Guo, L. et Richter, W. M. (2012). The effects of four different stroke patterns on manual wheelchair propulsion and upper limb muscle strain. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 7(6), 459-463. doi: 10.3109/17483107.2011.650781
- Langeskov-Christensen, M., Langeskov-Christensen, D., Overgaard, K., Moller, A. B. et Dalgas, U. (2014). Validity and reliability of VO<sub>2</sub>-max measurements in persons with multiple sclerosis. *J Neurol Sci*, 342(1-2), 79-87. doi: 10.1016/j.jns.2014.04.028
- Larsen, R. T., Christensen, J., Tang, L. H., Keller, C., Doherty, P., Zwisler, A.-D., . . . Langberg, H. (2016). A SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS COMPARING CARDIOPULMONARY EXERCISE TEST VALUES OBTAINED FROM THE ARM CYCLE AND THE LEG CYCLE RESPECTIVELY IN HEALTHY ADULTS. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 11(7), 1006-1039.
- Laure, P. (2007). *Activités physiques et santé*. Ellipses.
- Laursen, P. B. et Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73.
- Laursen, P. B., Shing, C. M. et Jenkins, D. G. (2003). Reproducibility of a laboratory-based 40-km cycle time-trial on a stationary wind-trainer in highly trained cyclists. *Int J Sports Med*, 24(7), 481-485. doi: 10.1055/s-2003-42012
- Le Foll-de Moro, D., Tordi, N., Lonsdorfer, E. et Lonsdorfer, J. (2005). Ventilation efficiency and pulmonary function after a wheelchair interval-training program in subjects with recent spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 86(8), 1582-1586. doi: 10.1016/j.apmr.2005.03.018
- Lear, S. A., Brozic, A., Myers, J. N. et Ignaszewski, A. (1999). Exercise stress testing. An overview of current guidelines. *Sports Med*, 27(5), 285-312.



- Leicht, A. S., Sealey, R. M. et Sinclair, W. H. (2009). The reliability of VO<sub>2</sub>(peak) determination in healthy females during an incremental arm ergometry test. *Int J Sports Med*, 30(7), 509-515. doi: 10.1055/s-0029-1202351
- Leicht, C. A., Griggs, K. E., Lavin, J., Tolfrey, K. et Goosey-Tolfrey, V. L. (2014). Blood lactate and ventilatory thresholds in wheelchair athletes with tetraplegia and paraplegia. *Eur J Appl Physiol*, 114(8), 1635-1643. doi: 10.1007/s00421-014-2886-x
- Leicht, C. A., Tolfrey, K., Lenton, J. P., Bishop, N. C. et Goosey-Tolfrey, V. L. (2013). The verification phase and reliability of physiological parameters in peak testing of elite wheelchair athletes. *Eur J Appl Physiol*, 113(2), 337-345. doi: 10.1007/s00421-012-2441-6
- Levinger, I., Goodman, C., Hare, D. L., Jerums, G., Toia, D. et Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *J Sci Med Sport*, 12(2), 310-316. doi: 10.1016/j.jsams.2007.10.007
- Lindemann, U., Oksa, J., Skelton, D. A., Beyer, N., Klenk, J., Zscheile, J. et Becker, C. (2014). Effect of cold indoor environment on physical performance of older women living in the community. *Age Ageing*, 43(4), 571-575. doi: 10.1093/ageing/afu057
- Linossier, M. T., Denis, C., Dormois, D., Geysant, A. et Lacour, J. R. (1993). Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 67(5), 408-414.
- Little, J. P., Gillen, J. B., Percival, M. E., Safdar, A., Tarnopolsky, M. A., Punthakee, Z., . . . Gibala, M. J. (2011). Low-volume high-intensity interval training reduces hyperglycemia and increases muscle mitochondrial capacity in patients with type 2 diabetes. *J Appl Physiol* (1985), 111(6), 1554-1560. doi: 10.1152/jappphysiol.00921.2011
- Lussier, M. et Toussaint, P. M. (2012). *Mythes et réalités sur l'entraînement physique*. Les Editions de l'Homme.
- MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J. et Smith, K. M. (1998). Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology*, 84(6), 2138-2142.
- Maeder, M. T., Wolber, T., Ammann, P., Myers, J., Brunner-La Rocca, H. P., Hack, D., . . . Rickli, H. (2008). Cardiopulmonary exercise testing in mild heart failure: impact of the mode of exercise on established prognostic predictors. *Cardiology*, 110(2), 135-141. doi: 10.1159/000110493
- Maher, J. L. et Cowan, R. E. (2016). Comparison of 1- Versus 3-Minute Stage Duration During Arm Ergometry in Individuals With Spinal Cord Injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 97(11), 1895-1900. doi: 10.1016/j.apmr.2016.04.020
- Malmo, V., Nes, B. M., Amundsen, B. H., Tjonna, A. E., Stoylen, A., Rossvoll, O., . . . Loennechen, J. P. (2016). Aerobic Interval Training Reduces the Burden of Atrial

- Fibrillation in the Short Term: A Randomized Trial. *Circulation*, 133(5), 466-473. doi: 10.1161/circulationaha.115.018220
- Martel, G., Noreau, L. et Jobin, J. (1991). Physiological responses to maximal exercise on arm cranking and wheelchair ergometer with paraplegics. *Paraplegia*, 29(7), 447-456. doi: 10.1038/sc.1991.61
- Martin Ginis, K. A., van der Scheer, J. W., Latimer-Cheung, A. E., Barrow, A., Bourne, C., Carruthers, P., . . . Goosey-Tolfrey, V. L. (2017). Evidence-based scientific exercise guidelines for adults with spinal cord injury: an update and a new guideline. *Spinal Cord*. doi: 10.1038/s41393-017-0017-3
- Martin, N. A., Zoeller, R. F., Robertson, R. J. et Lephart, S. M. (1998). The comparative effects of sports massage, active recovery, and rest in promoting blood lactate clearance after supramaximal leg exercise. *J Athl Train*, 33(1), 30-35.
- Martins, J., da Silva, J. R., da Silva, M. R. B. et Bevilaqua-Grossi, D. (2017). Reliability and Validity of the Belt-Stabilized Handheld Dynamometer in Hip- and Knee-Strength Tests. *J Athl Train*. doi: 10.4085/1062-6050-52.6.04
- Mason, B., Lenton, J., Leicht, C. et Goosey-Tolfrey, V. (2014). A physiological and biomechanical comparison of over-ground, treadmill and ergometer wheelchair propulsion. *J Sports Sci*, 32(1), 78-91. doi: 10.1080/02640414.2013.807350
- Masse, L. C., Lamontagne, M. et O'Riain, M. D. (1992). Biomechanical analysis of wheelchair propulsion for various seating positions. *J Rehabil Res Dev*, 29(3), 12-28.
- McAuley, E. et Courneya, K. S. (1992). Self-Efficacy Relationships With Affective and Exertion Responses to Exercise. *Journal of Applied Social Psychology*, 22(4), 312-326. doi: 10.1111/j.1559-1816.1992.tb01542.x
- McAuley, E., Szabo, A., Gothe, N. et Olson, E. A. (2011). Self-efficacy: Implications for Physical Activity, Function, and Functional Limitations in Older Adults. *Am J Lifestyle Med*, 5(4). doi: 10.1177/1559827610392704
- McConnell, T. J., Horvat, M. A., Beutel-Horvat, T. A. et Golding, L. A. (1989). Arm crank versus wheelchair treadmill ergometry to evaluate the performance of paraplegics. *Paraplegia*, 27(4), 307-313. doi: 10.1038/sc.1989.46
- McKinley, W., Kulkarni, U. et Pai, A. B. (2015). Functional Outcomes per Level of Spinal Cord Injury. *Physical Medicine and Rehabilitation*.
- McLaughlin, J. E., King, G. A., Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr. et Ainsworth, B. E. (2001). Validation of the COSMED K4 b2 portable metabolic system. *Int J Sports Med*, 22(4), 280-284. doi: 10.1055/s-2001-13816
- Medicine, A. C. o. S. (1993). *ACSM's resource manual for guidelines for exercise testing and prescription*. (2nd<sup>e</sup> éd.). Philadelphia: Lea & Febiger.
- Medicine, A. C. o. S. (2013). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. Lippincott Williams & Wilkins.

- Medicine, C. f. S. C. (2005). Preservation of upper limb function following spinal cord injury: a clinical practice guideline for health-care professionals. *J Spinal Cord Med*, 28(5), 434-470.
- Mercer, J. L., Boninger, M., Koontz, A., Ren, D., Dyson-Hudson, T. et Cooper, R. (2006). Shoulder joint kinetics and pathology in manual wheelchair users. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 21(8), 781-789. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2006.04.010
- Meyer, K., Lehmann, M., Sunder, G., Keul, J. et Weidemann, H. (1990). Interval versus continuous exercise training after coronary bypass surgery: a comparison of training-induced acute reactions with respect to the effectiveness of the exercise methods. *Clin Cardiol*, 13(12), 851-861.
- Midgley, A. W., Earle, K., McNaughton, L. R., Siegler, J. C., Clough, P. et Earle, F. (2017). Exercise tolerance during VO<sub>2</sub>max testing is a multifactorial psychobiological phenomenon. *Res Sports Med*, 25(4), 480-494. doi: 10.1080/15438627.2017.1365294
- Midgley, A. W., Marchant, D. C. et Levy, A. R. (2017). A call to action towards an evidence-based approach to using verbal encouragement during maximal exercise testing. *Clin Physiol Funct Imaging*. doi: 10.1111/cpf.12454
- Moon, Y., Jayaraman, C., Hsu, I. M., Rice, I. M., Hsiao-Wecksler, E. T. et Sosnoff, J. J. (2013). Variability of peak shoulder force during wheelchair propulsion in manual wheelchair users with and without shoulder pain. *Clin Biomech*, 28(9-10), 967-972. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2013.10.004
- Morse, L. R., Nguyen, N., Battaglini, R. A., Guarino, A. J., Gagnon, D. R., Zafonte, R. et Garshick, E. (2016). Wheelchair use and lipophilic statin medications may influence bone loss in chronic spinal cord injury: findings from the FRASCI-bone loss study. *Osteoporos Int*, 27(12), 3503-3511. doi: 10.1007/s00198-016-3678-4
- Mulroy, S. J., Gronley, J. K., Newsam, C. J. et Perry, J. (1996). Electromyographic activity of shoulder muscles during wheelchair propulsion by paraplegic persons. *Arch Phys Med Rehabil*, 77(2), 187-193.
- Munk, P. S., Butt, N. et Larsen, A. I. (2010). High-intensity interval exercise training improves heart rate variability in patients following percutaneous coronary intervention for angina pectoris. *Int J Cardiol*, 145(2), 312-314. doi: 10.1016/j.ijcard.2009.11.015
- Murray, D., Meldrum, D., Moloney, R., Champion, A., Horgan, F. et Hardiman, O. (2012). The effects of a home-based arm ergometry exercise programme on physical fitness, fatigue and activity in polio survivors: protocol for a randomised controlled trial. *BMC Neurol*, 12. doi: 10.1186/1471-2377-12-157
- Myers, J. et Bellin, D. (2000). Ramp exercise protocols for clinical and cardiopulmonary exercise testing. *Sports Med*, 30(1), 23-29.
- Myers, J., Buchanan, N., Walsh, D., Kraemer, M., McAuley, P., Hamilton-Wessler, M. et Froelicher, V. F. (1991). Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol*, 17(6), 1334-1342.

- Myers, J., Lee, M. et Kiratli, J. (2007). Cardiovascular disease in spinal cord injury: an overview of prevalence, risk, evaluation, and management. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 86(2), 142-152. doi: 10.1097/PHM.0b013e31802f0247
- Newsam, C. J., Rao, S. S., Mulroy, S. J., Gronley, J. K., Bontrager, E. L. et Perry, J. (1999). Three dimensional upper extremity motion during manual wheelchair propulsion in men with different levels of spinal cord injury. *Gait Posture*, 10(3), 223-232.
- Nightingale, T. E., Metcalfe, R. S., Vollaard, N. B. et Bilzon, J. L. (2017). Exercise Guidelines to Promote Cardiometabolic Health in Spinal Cord Injured Humans: Time to Raise the Intensity? *Arch Phys Med Rehabil*. doi: 10.1016/j.apmr.2016.12.008
- Nightingale, T. E., Rouse, P. C., Thompson, D. et Bilzon, J. L. J. (2017). Measurement of Physical Activity and Energy Expenditure in Wheelchair Users: Methods, Considerations and Future Directions. *Sports Medicine - Open*, 3, 10. doi: 10.1186/s40798-017-0077-0
- Nightingale, T. E., Walhin, J. P., Thompson, D. et Bilzon, J. L. J. (2017). Impact of Exercise on Cardiometabolic Component Risks in Spinal Cord-injured Humans. *Med Sci Sports Exerc*. doi: 10.1249/mss.0000000000001390
- Nilsson, S., Staff, P. H. et Pruett, E. D. (1975). Physical work capacity and the effect of training on subjects with long-standing paraplegia. *Scand J Rehabil Med*, 7(2), 51-56.
- No, M. et Kwak, H. B. (2016). Effects of environmental temperature on physiological responses during submaximal and maximal exercises in soccer players. *Integr Med Res*, 5(3), 216-222. doi: 10.1016/j.imr.2016.06.002
- Noonan, V. K., Fingas, M., Farry, A., Baxter, D., Singh, A., Fehlings, M. G. et Dvorak, M. F. (2012). Incidence and prevalence of spinal cord injury in Canada: a national perspective. *Neuroepidemiology*, 38(4), 219-226. doi: 10.1159/000336014
- Noreau, L. et Shephard, R. J. (1995). Spinal cord injury, exercise and quality of life. *Sports Med*, 20(4), 226-250.
- O'Donovan, G., Owen, A., Bird, S. R., Kearney, E. M., Nevill, A. M., Jones, D. W. et Woolf-May, K. (2005). Changes in cardiorespiratory fitness and coronary heart disease risk factors following 24 wk of moderate- or high-intensity exercise of equal energy cost. *Journal of Applied Physiology*, 98(5), 1619-1625. doi: 10.1152/jappphysiol.01310.2004
- Osnabrugge, R. L., Arnold, S. V., Reynolds, M. R., Magnuson, E. A., Wang, K., Gaudiani, V. A., . . . Cohen, D. J. (2015). Health status after transcatheter aortic valve replacement in patients at extreme surgical risk: results from the CoreValve U.S. trial. *JACC Cardiovasc Interv*, 8(2), 315-323. doi: 10.1016/j.jcin.2014.08.016
- Paralyzed Veterans of America Consortium for Spinal Cord, M. (2005). Preservation of Upper Limb Function Following Spinal Cord Injury: A Clinical Practice Guideline for Health-Care Professionals. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 28(5), 434-470.

- Paulson, T. A., Goosey-Tolfrey, V. L., Lenton, J. P., Leicht, C. A. et Bishop, N. C. (2013). Spinal cord injury level and the circulating cytokine response to strenuous exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 45(9), 1649-1655. doi: 10.1249/MSS.0b013e31828f9bbb
- Pelletier, C. A. (2014). Incorporating physical activity into the rehabilitation process after spinal cord injury. *Appl Physiol Nutr Metab*, 39(4), 513. doi: 10.1139/apnm-2013-0482
- Pelletier, C. A., Jones, G., Latimer-Cheung, A. E., Warburton, D. E. et Hicks, A. L. (2013). Aerobic capacity, orthostatic tolerance, and exercise perceptions at discharge from inpatient spinal cord injury rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*, 94(10), 2013-2019. doi: 10.1016/j.apmr.2013.05.011
- Pender, N. J., Bar-Or, O., Wilk, B. et Mitchell, S. (2002). Self-efficacy and perceived exertion of girls during exercise. *Nurs Res*, 51(2), 86-91.
- Phillips, W. T., Kiratli, B. J., Sarkarati, M., Weraarchakul, G., Myers, J., Franklin, B. A., . . . Froelicher, V. (1998). Effect of spinal cord injury on the heart and cardiovascular fitness. *Curr Probl Cardiol*, 23(11), 641-716.
- Pinnington, H. C., Wong, P., Tay, J., Green, D. et Dawson, B. (2001). The level of accuracy and agreement in measures of FEO<sub>2</sub>, FECO<sub>2</sub> and VE between the Cosmed K4b2 portable, respiratory gas analysis system and a metabolic cart. *J Sci Med Sport*, 4(3), 324-335.
- Portney, L. G. et Watkins, M. P. (2000). *Foundations of Clinical Research: Applications to Practice*. Prentice Hall Health.
- Price, M. J. et Campbell, I. G. (2003). Effects of spinal cord lesion level upon thermoregulation during exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc*, 35(7), 1100-1107. doi: 10.1249/01.mss.0000074655.76321.d7
- Québec, G. d. (2010). *Normes de conception sans obstacles: Guide d'utilisation* Gouvernement du Québec Quebec City (Canada).
- Rankin, J. W., Kwarciak, A. M., Richter, W. M. et Neptune, R. R. (2012). The influence of wheelchair propulsion technique on upper extremity muscle demand: a simulation study. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 27(9), 879-886. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2012.07.002
- Rasch, E. K., Hochberg, M. C., Magder, L., Magaziner, J. et Altman, B. M. (2008). Health of community-dwelling adults with mobility limitations in the United States: prevalent health conditions. Part I. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(2), 210-218. doi: 10.1016/j.apmr.2007.08.146
- Reichard, A., Stolzle, H. et Fox, M. H. (2011). Health disparities among adults with physical disabilities or cognitive limitations compared to individuals with no disabilities in the United States. *Disabil Health J*, 4(2), 59-67. doi: 10.1016/j.dhjo.2010.05.003
- Rice, I. M., Jayaraman, C., Hsiao-Weckslers, E. T. et Sosnoff, J. J. (2014). Relationship between shoulder pain and kinetic and temporal-spatial variability in wheelchair users. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(4), 699-704. doi: 10.1016/j.apmr.2013.11.005

- Rice, I. M., Pohlig, R. T., Gallagher, J. D. et Boninger, M. L. (2013). Handrim wheelchair propulsion training effect on overground propulsion using biomechanical real-time visual feedback. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 94(2), 256-263. doi: 10.1016/j.apmr.2012.09.014
- Richards, C. L., Malouin, F., Wood-Dauphinee, S., Williams, J. I., Bouchard, J. P. et Brunet, D. (1993). Task-specific physical therapy for optimization of gait recovery in acute stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil*, 74(6), 612-620.
- Richter, W. M., Rodriguez, R., Woods, K. R. et Axelson, P. W. (2007). Stroke pattern and handrim biomechanics for level and uphill wheelchair propulsion at self-selected speeds. *Arch Phys Med Rehabil*, 88(1), 81-87. doi: 10.1016/j.apmr.2006.09.017
- Riggins, M. S., Kankipati, P., Oyster, M. L., Cooper, R. A. et Boninger, M. L. (2011). The relationship between quality of life and change in mobility 1 year postinjury in individuals with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 92(7), 1027-1033. doi: 10.1016/j.apmr.2011.02.010
- Rimaud, D., Calmels, P. et Devillard, X. (2005). [Training programs in spinal cord injury]. *Ann Readapt Med Phys*, 48(5), 259-269. doi: 10.1016/j.annrmp.2004.12.004
- Rimmer, J. H., Riley, B., Wang, E., Rauworth, A. et Jurkowski, J. (2004). Physical activity participation among persons with disabilities: barriers and facilitators. *Am J Prev Med*, 26(5), 419-425. doi: 10.1016/j.amepre.2004.02.002
- Robergs, R. A., Dwyer, D. et Astorino, T. (2010). Recommendations for improved data processing from expired gas analysis indirect calorimetry. *Sports Med*, 40(2), 95-111. doi: 10.2165/11319670-000000000-00000
- Robergs, R. A. et Keteyian, S. J. (2003). *Fundamentals of Exercise Physiology: For Fitness, Performance and Health*. McGraw-Hill Education.
- Rodgers, M. M., Keyser, R. E., Rasch, E. K., Gorman, P. H. et Russell, P. J. (2001). Influence of training on biomechanics of wheelchair propulsion. *J Rehabil Res Dev*, 38(5), 505-511.
- Rognmo, O., Hetland, E., Helgerud, J., Hoff, J. et Slordahl, S. A. (2004). High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *European Journal of Cardiovascular Prevention & Rehabilitation*, 11(3), 216-222.
- Rognmo, O., Moholdt, T., Bakken, H., Hole, T., Molstad, P., Myhr, N. E., . . . Wisloff, U. (2012). Cardiovascular risk of high- versus moderate-intensity aerobic exercise in coronary heart disease patients. *Circulation*, 126(12), 1436-1440. doi: 10.1161/circulationaha.112.123117
- Rousseau-Harrison, K., Rochette, A., Routhier, F., Dessureault, D., Thibault, F. et Cote, O. (2012). Perceived impacts of a first wheelchair on social participation. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 7(1), 37-44. doi: 10.3109/17483107.2011.562957

- Rousseau, J., Assaoui, R. et Bourbonnais, D. (2003). Measuring the Effort Needed to Climb Access Ramps in a Manual Wheelchair. *Canada Mortgage and Housing Corporation* 60(05-011).
- Sabick, M. B., Kotajarvi, B. R. et An, K.-N. (2004). A new method to quantify demand on the upper extremity during manual wheelchair propulsion1. *Arch Phys Med Rehabil*, 85(7), 1151-1159. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2003.10.024>
- Saengsuwan, J., Nef, T., Laubacher, M. et Hunt, K. J. (2015). Comparison of Peak Cardiopulmonary Performance Parameters on a Robotics-Assisted Tilt Table, a Cycle and a Treadmill. *PLoS One*, 10(4), e0122767. doi: 10.1371/journal.pone.0122767
- santé, O. m. d. l. (2000). *Classification internationale du handicap, du fonctionnement et de la santé: CIH-2*. Repéré à <http://www.who.int/icidh>
- Savic, G., DeVivo, M. J., Frankel, H. L., Jamous, M. A., Soni, B. M. et Charlifue, S. (2017). Causes of death after traumatic spinal cord injury-a 70-year British study. *Spinal Cord*. doi: 10.1038/sc.2017.64
- Sawatzky, B., DiGiovine, C., Berner, T., Roesler, T. et Katte, L. (2015). The need for updated clinical practice guidelines for preservation of upper extremities in manual wheelchair users: a position paper. *Am J Phys Med Rehabil*, 94(4), 313-324. doi: 10.1097/phm.0000000000000203
- Scelza, W. M., Kalpakjian, C. Z., Zemper, E. D. et Tate, D. G. (2005). Perceived barriers to exercise in people with spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil*, 84(8), 576-583.
- Schrack, J. A., Simonsick, E. M. et Ferrucci, L. (2010). Comparison of the Cosmed K4b(2) portable metabolic system in measuring steady-state walking energy expenditure. *PLoS One*, 5(2), e9292. doi: 10.1371/journal.pone.0009292
- Schrieks, I. C., Barnes, M. J. et Hodges, L. D. (2011). Comparison study of treadmill versus arm ergometry. *Clin Physiol Funct Imaging*, 31(4), 326-331. doi: 10.1111/j.1475-097X.2011.01014.x
- Shaw, R. B., Mallory, K. D., Arkell, J. et Martin Ginis, K. A. (2017). The technical quality of online leisure time physical activity resources for people with physical disabilities. *Disabil Health J*, 10(1), 93-99. doi: 10.1016/j.dhjo.2016.09.002
- Shephard, R. J. (1984). Tests of maximum oxygen intake. A critical review. *Sports Med*, 1(2), 99-124.
- Shields, M., Tremblay, M. S., Laviolette, M., Craig, C. L., Janssen, I. et Gorber, S. C. (2010). Condition physique des adultes au Canada: résultats de l'Enquête canadienne sur les mesures de la santé, 2007-2009: Statistique Canada.
- Shore, S. (2017). The long-term impact of wheelchair delivery on the lives of people with disabilities in three countries of the world. *Afr J Disabil*, 6, 344. doi: 10.4102/ajod.v6i0.344

- Sie, I. H., Waters, R. L., Adkins, R. H. et Gellman, H. (1992). Upper extremity pain in the postrehabilitation spinal cord injured patient. *Arch Phys Med Rehabil*, 73(1), 44-48.
- Silva, S. C. d., Monteiro, W. D. et Farinatti, P. d. T. V. (2011). Exercise maximum capacity assessment: a review on the traditional protocols and the evolution to individualized models. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, 17, 363-369.
- Simmons, O. L., Kressler, J. et Nash, M. S. (2014). Reference fitness values in the untrained spinal cord injury population. *Arch Phys Med Rehabil*, 95(12), 2272-2278. doi: 10.1016/j.apmr.2014.06.015
- Singh, A., Tetreault, L., Kalsi-Ryan, S., Nouri, A. et Fehlings, M. G. (2014). Global prevalence and incidence of traumatic spinal cord injury. *Clin Epidemiol*, 6, 309-331. doi: 10.2147/clep.s68889
- Sisto, S. A., Druin, E. et Sliwinski, M. M. (2008). *Spinal Cord Injuries - E-Book: Management and Rehabilitation*. Elsevier Health Sciences.
- Slowik, J. S., Requejo, P. S., Mulroy, S. J. et Neptune, R. R. (2016). The influence of wheelchair propulsion hand pattern on upper extremity muscle power and stress. *J Biomech*, 49(9), 1554-1561. doi: 10.1016/j.jbiomech.2016.03.031
- Snoza, C. T., Berg, K. E. et Slivka, D. R. (2016). Comparison of VO<sub>2</sub>peak and Achievement of VO<sub>2</sub>peak Criteria in Three Modes of Exercise in Female Triathletes. *J Strength Cond Res*, 30(10), 2816-2822. doi: 10.1519/jsc.0000000000000710
- Sonenblum, S. E., Sprigle, S. H. et Martin, J. S. (2016). Everyday sitting behavior of full-time wheelchair users. *J Rehabil Res Dev*, 53(5), 585-598. doi: 10.1682/jrrd.2015.07.0130
- Spaepen, A. J., Vanlandewijck, Y. C. et Lysens, R. J. (1996). Relationship between energy expenditure and muscular activity patterns in handrim wheelchair propulsion. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 17(2), 163-173. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0169-8141\(95\)00047-X](http://dx.doi.org/10.1016/0169-8141(95)00047-X)
- Steven, K. (2009). CHAPTER TWO - Medical Management and Complications of Spinal Cord Injury A2 - Sisto, Sue Ann. Dans E. Druin & M. M. Sliwinski (dir.), *Spinal Cord Injuries* (p. 18-36). Saint Louis: Mosby.
- Stoller, O., de Bruin, E. D., Schindelholz, M., Schuster-Amft, C., de Bie, R. A. et Hunt, K. J. (2014). Cardiopulmonary exercise testing early after stroke using feedback-controlled robotics-assisted treadmill exercise: test-retest reliability and repeatability. *J Neuroeng Rehabil*, 11, 145. doi: 10.1186/1743-0003-11-145
- Stutts, W. C. (2002). Physical activity determinants in adults. Perceived benefits, barriers, and self efficacy. *Aaohn j*, 50(11), 499-507.
- Sutbeyaz, S. T., Koseoglu, B. F. et Gokkaya, N. K. (2005). The combined effects of controlled breathing techniques and ventilatory and upper extremity muscle exercise on cardiopulmonary responses in patients with spinal cord injury. *Int J Rehabil Res*, 28(3), 273-276.



- Symonds, A., Barbareschi, G., Taylor, S. et Holloway, C. (2017). A systematic review: the influence of real time feedback on wheelchair propulsion biomechanics. *Disabil Rehabil Assist Technol*, 1-10. doi: 10.1080/17483107.2016.1278472
- Taylor-Schroeder, S., LaBarbera, J., McDowell, S., Zanca, J. M., Natale, A., Mumma, S., . . . Backus, D. (2011). The SCIRehab project: treatment time spent in SCI rehabilitation. Physical therapy treatment time during inpatient spinal cord injury rehabilitation. *J Spinal Cord Med*, 34(2), 149-161. doi: 10.1179/107902611X12971826988057
- Taylor, A. W., McDonell, E. et Brassard, L. (1986). The effects of an arm ergometer training programme on wheelchair subjects. *Paraplegia*, 24(2), 105-114. doi: 10.1038/sc.1986.14
- Taylor, J. D., Bandy, W. D. et Whittemore, J. D. (2011). Test retest reliability and minimal detectable change of a novel submaximal graded exercise test in the measurement of graded exercise test duration. *J Strength Cond Res*, 25(5), 1465-1469. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181d686a4
- Teeter, L., Gassaway, J., Taylor, S., LaBarbera, J., McDowell, S., Backus, D., . . . Whiteneck, G. (2012). Relationship of physical therapy inpatient rehabilitation interventions and patient characteristics to outcomes following spinal cord injury: the SCIRehab project. *J Spinal Cord Med*, 35(6), 503-526. doi: 10.1179/2045772312Y.0000000058
- Tenan, M. S., McMurray, R. G., Blackburn, B. T., McGrath, M. et Leppert, K. (2011). The relationship between blood potassium, blood lactate, and electromyography signals related to fatigue in a progressive cycling exercise test. *J Electromyogr Kinesiol*, 21(1), 25-32. doi: 10.1016/j.jelekin.2010.09.002
- Thijssen, D. H., De Groot, P. C., van den Bogerd, A., Veltmeijer, M., Cable, N. T., Green, D. J. et Hopman, M. T. (2012). Time course of arterial remodelling in diameter and wall thickness above and below the lesion after a spinal cord injury. *Eur J Appl Physiol*, 112(12), 4103-4109. doi: 10.1007/s00421-012-2400-2
- Thomas, S., Reading, J. et Shephard, R. J. (1992). Revision of the Physical Activity Readiness Questionnaire (PAR-Q). *Can J Sport Sci*, 17(4), 338-345.
- Tolerico, M. L., Ding, D., Cooper, R. A., Spaeth, D. M., Fitzgerald, S. G., Cooper, R., . . . Boninger, M. L. (2007). Assessing mobility characteristics and activity levels of manual wheelchair users. *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 44(4), 561-571.
- Tordi, N., Dugue, B., Klupzinski, D., Rasseneur, L., Rouillon, J. D. et Lonsdorfer, J. (2001). Interval training program on a wheelchair ergometer for paraplegic subjects. *Spinal Cord*, 39(10), 532-537. doi: 10.1038/sj.sc.3101206
- Torhaug, T., Brurok, B., Hoff, J., Helgerud, J. et Leivseth, G. (2016). Arm Crank and Wheelchair Ergometry Produce Similar Peak Oxygen Uptake but Different Work Economy Values in Individuals with Spinal Cord Injury. *Biomed Res Int*, 2016, 5481843. doi: 10.1155/2016/5481843

- Tortora, G. J., Grabowski, S. R., Boudreault, F. et Desorcy, M. C. (2001). *Principes d'anatomie et de physiologie*. De Boeck Université.
- van den Berg-Emons, R. J., Bussmann, J. B., Haisma, J. A., Sluis, T. A., van der Woude, L. H., Bergen, M. P. et Stam, H. J. (2008). A prospective study on physical activity levels after spinal cord injury during inpatient rehabilitation and the year after discharge. *Arch Phys Med Rehabil*, 89(11), 2094-2101. doi: 10.1016/j.apmr.2008.04.024
- van den Berg, R., de Groot, S., Swart, K. M. et van der Woude, L. H. (2010). Physical capacity after 7 weeks of low-intensity wheelchair training. *Disabil Rehabil*, 32(26), 2244-2252. doi: 10.3109/09638288.2010.535688
- Van Der Horst, K., Paw, M. J., Twisk, J. W. et Van Mechelen, W. (2007). A brief review on correlates of physical activity and sedentariness in youth. *Med Sci Sports Exerc*, 39(8), 1241-1250. doi: 10.1249/mss.0b013e318059bf35
- van der Woude, L. H., Botden, E., Vriend, I. et Veeger, D. (1997). Mechanical advantage in wheelchair lever propulsion: effect on physical strain and efficiency. *J Rehabil Res Dev*, 34(3), 286-294.
- van der Woude, L. H., Veeger, H. E., Dallmeijer, A. J., Janssen, T. W. et Rozendaal, L. A. (2001). Biomechanics and physiology in active manual wheelchair propulsion. *Med Eng Phys*, 23(10), 713-733.
- van Drongelen, S., de Groot, S., Veeger, H. E., Angenot, E. L., Dallmeijer, A. J., Post, M. W. et van der Woude, L. H. (2006). Upper extremity musculoskeletal pain during and after rehabilitation in wheelchair-using persons with a spinal cord injury. *Spinal Cord*, 44(3), 152-159. doi: 10.1038/sj.sc.3101826
- van Drongelen, S., van der Woude, L. H., Janssen, T. W., Angenot, E. L., Chadwick, E. K. et Veeger, D. H. (2005). Glenohumeral contact forces and muscle forces evaluated in wheelchair-related activities of daily living in able-bodied subjects versus subjects with paraplegia and tetraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*, 86(7), 1434-1440.
- Van Straaten, M. G., Cloud, B. A., Zhao, K. D., Fortune, E. et Morrow, M. M. B. (2017). Maintaining Shoulder Health After Spinal Cord Injury: A Guide to Understanding Treatments for Shoulder Pain. *Arch Phys Med Rehabil*, 98(5), 1061-1063. doi: 10.1016/j.apmr.2016.10.005
- Vancampfort, D., Guelinckx, H., De Hert, M., Stubbs, B., Soundy, A., Rosenbaum, S., . . . Probst, M. (2014). Reliability and clinical correlates of the Astrand-Rhyming sub-maximal exercise test in patients with schizophrenia or schizoaffective disorder. *Psychiatry Res*, 220(3), 778-783. doi: 10.1016/j.psychres.2014.08.049
- Vanlandewijck, Y. C., Daly, D. J. et Theisen, D. M. (1999). Field test evaluation of aerobic, anaerobic, and wheelchair basketball skill performances. *Int J Sports Med*, 20(8), 548-554. doi: 10.1055/s-1999-9465

- Vanlandewijck, Y. C., Spaepen, A. J. et Lysens, R. J. (1994). Wheelchair propulsion efficiency: movement pattern adaptations to speed changes. *Med Sci Sports Exerc*, 26(11), 1373-1381.
- Veeger, H. E., Rozendaal, L. A. et van der Helm, F. C. (2002). Load on the shoulder in low intensity wheelchair propulsion. *Clinical Biomechanics*, 17(3), 211-218.
- Viale, F., Ranggeh, D., Nana-Ibrahim, S., Martin, R. et Laschet, F. (2007). Élaboration d'un nouveau protocole incrémental en rampe pour estimer la vitesse maximale aérobie en course à pied. *Science & Sports*, 22(3), 170-172. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2007.04.007>
- Vickers, R. (2003). *Measurement error in maximal oxygen uptake tests*. San Diego supported by the U.S. Army Medical Research and Materiel Command.
- Warm, C. A., Backus, D., Rajan, S., Bombardier, C. H., Schomer, K. G. et Burns, S. P. (2014). Adverse events in cardiovascular-related training programs in people with spinal cord injury: a systematic review. *J Spinal Cord Med*, 37(6), 672-692. doi: 10.1179/2045772313y.0000000115
- West, C. R., Bellantoni, A. et Krassioukov, A. V. (2013). Cardiovascular function in individuals with incomplete spinal cord injury: a systematic review. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*, 19(4), 267-278. doi: 10.1310/sci1904-267
- West, C. R., Leicht, C. A., Goosey-Tolfrey, V. L. et Romer, L. M. (2015). Perspective: Does Laboratory-Based Maximal Incremental Exercise Testing Elicit Maximum Physiological Responses in Highly-Trained Athletes with Cervical Spinal Cord Injury? *Frontiers in Physiology*, 6, 419. doi: 10.3389/fphys.2015.00419
- Westerhoff, P., Graichen, F., Bender, A., Halder, A., Beier, A., Rohlmann, A. et Bergmann, G. (2011). Measurement of shoulder joint loads during wheelchair propulsion measured in vivo. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 26(10), 982-989. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2011.05.017
- Weston, K. S., Wisloff, U. et Coombes, J. S. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(16), 1227-1234. doi: 10.1136/bjsports-2013-092576
- Wezenberg, D., de Haan, A., van der Woude, L. H. et Houdijk, H. (2012). Feasibility and validity of a graded one-legged cycle exercise test to determine peak aerobic capacity in older people with a lower-limb amputation. *Phys Ther*, 92(2), 329-338. doi: 10.2522/ptj.20110125
- Whipp, B. J. (2010). The peak versus maximum oxygen uptake issue. *CPX International Inc*, 1-9.
- Whiting, R. B., Dreisinger, T. E. et Hayden, C. R. (1984). Wheelchair exercise testing: comparison of continuous and discontinuous exercise. *Paraplegia*, 22(2), 92-98. doi: 10.1038/sc.1984.17

- Wiewelhove, T., Fernandez-Fernandez, J., Raeder, C., Kappenstein, J., Meyer, T., Kellmann, M., . . . Ferrauti, A. (2015). Acute responses and muscle damage in different high-intensity interval running protocols. *J Sports Med Phys Fitness*.
- Williams, T. L., Smith, B. et Papatomas, A. (2014). The barriers, benefits and facilitators of leisure time physical activity among people with spinal cord injury: a meta-synthesis of qualitative findings. *Health Psychology Review*, 8(4), 404-425. doi: 10.1080/17437199.2014.898406
- Williford, H. N., Sport, K., Wang, N., Olson, M. S. et Blessing, D. (1994). The prediction of fitness levels of United States Air Force officers: validation of cycle ergometry. *Mil Med*, 159(3), 175-178.
- Wilson, R. C. et Jones, P. W. (1989). A comparison of the visual analogue scale and modified Borg scale for the measurement of dyspnoea during exercise. *Clinical Science*, 76(3), 277-282.
- Wisloff, U., Stoylen, A., Loennechen, J. P., Bruvold, M., Rognum, O., Haram, P. M., . . . Skjaerpe, T. (2007). Superior cardiovascular effect of aerobic interval training versus moderate continuous training in heart failure patients: a randomized study. *Circulation*, 115(24), 3086-3094. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.675041
- Wu, H. M., Chu, B. Y., Hsu, C. C., Wang, C. W., Wong, A. M. et Huang, S. C. (2017). Accelerated Arterial Stiffening Change in Early Years of Spinal Cord Injury. *Am J Phys Med Rehabil*, 96(2), 120-123. doi: 10.1097/phm.0000000000000565
- Yang, J., Boninger, M. L., Leath, J. D., Fitzgerald, S. G., Dyson-Hudson, T. A. et Chang, M. W. (2009). Carpal tunnel syndrome in manual wheelchair users with spinal cord injury: a cross-sectional multicenter study. *Am J Phys Med Rehabil*, 88(12), 1007-1016. doi: 10.1097/PHM.0b013e3181bbddc9
- Yang, Y. S., Koontz, A. M., Yeh, S. J. et Chang, J. J. (2012). Effect of backrest height on wheelchair propulsion biomechanics for level and uphill conditions. *Arch Phys Med Rehabil*, 93(4), 654-659. doi: 10.1016/j.apmr.2011.10.023
- Yoon, B. K., Kravitz, L. et Robergs, R. (2007). VO<sub>2</sub>max, protocol duration, and the VO<sub>2</sub> plateau. *Med Sci Sports Exerc*, 39(7), 1186-1192. doi: 10.1249/mss.0b13e318054e304
- Zbogar, D., Eng, J. J., Miller, W. C., Krassioukov, A. V. et Verrier, M. C. (2016). Physical activity outside of structured therapy during inpatient spinal cord injury rehabilitation. *J Neuroeng Rehabil*, 13(1), 99. doi: 10.1186/s12984-016-0208-8
- Zbogar, D., Eng, J. J., Noble, J. W., Miller, W. C., Krassioukov, A. V. et Verrier, M. C. (2017). Cardiovascular Stress During Inpatient Spinal Cord Injury Rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. doi: 10.1016/j.apmr.2017.05.009
- Zhang, Y. Y., Johnson, M. C., 2nd, Chow, N. et Wasserman, K. (1991). Effect of exercise testing protocol on parameters of aerobic function. *Med Sci Sports Exerc*, 23(5), 625-630.

- Ziogas, G. G., Patras, K. N., Stergiou, N. et Georgoulis, A. D. (2011). Velocity at lactate threshold and running economy must also be considered along with maximal oxygen uptake when testing elite soccer players during preseason. *J Strength Cond Res*, 25(2), 414-419. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181bac3b9
- Zuniga, J. M., Housh, T. J., Camic, C. L., Bergstrom, H. C., Traylor, D. A., Schmidt, R. J. et Johnson, G. O. (2012). Metabolic parameters for ramp versus step incremental cycle ergometer tests. *Appl Physiol Nutr Metab*, 37(6), 1110-1117. doi: 10.1139/h2012-098
- Zwinkels, M., Verschuren, O., Janssen, T. W., Ketelaar, M. et Takken, T. (2014). Exercise training programs to improve hand rim wheelchair propulsion capacity: a systematic review. *Clin Rehabil*, 28(9), 847-861. doi: 10.1177/0269215514525181

## Annexe I : Consentements du comité d'éthique

---

Comité d'éthique de la recherche  
des établissements du CRIR



### Certificat d'éthique

Par la présente, le comité d'éthique de la recherche des établissements du CRIR (CÉR) atteste qu'il a évalué, lors de sa réunion du 15 avril 2014, le projet de recherche CRIR-943-0314 intitulé:

« Fidélité et validité d'un nouveau protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire pendant la propulsion sur tapis roulant motorisé chez des usagers d'un fauteuil roulant manuel : Une étude préliminaire ».

Présenté par:

Dany Gagnon, Ph.D.  
Audrey L. Hicks, Ph.D  
Cindy Gauthier, pht. MSc.

Le présent projet répond aux exigences éthiques de notre CÉR. Le Comité autorise donc sa mise en œuvre sur la foi des documents suivants :

- Lettre d'introduction datée du 11 mars 2014;
- Formulaire A daté du 11 mars 2014;
- Formulaire d'évaluation de l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal, daté du 27 mars 2014, mentionnant que le projet est acceptable sur le plan de la convenance institutionnelle;
- Grille d'évaluation scientifique du projet de recherche datée du 26 mars 2014;
- Protocole de recherche;
- Formulaire de consentement (version du 14 mai 2014);
- Lettre de recrutement (version du 14 mai 2014);
- Affiches de recrutement (version du 14 mai 2014);
- Questionnaire « Évaluation clinique »;
- Curriculum vitae de Mme Audrey Lyn Hicks.

Ce projet se déroulera dans le site du CRIR suivant :

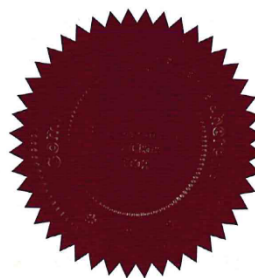
- Institut de réadaptation Gingras-Lindsay d Montréal.

Ce certificat est valable pour un an. En acceptant le présent certificat d'éthique, le chercheur s'engage à :

1. Informer, dès que possible, le CÉR de tout changement qui pourrait être apporté à la présente recherche ou aux documents qui en découlent (Formulaire M) ;
2. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout incident ou accident lié à la procédure du projet ;
3. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout nouveau renseignement susceptible d'affecter l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche, ou encore, d'influer sur la décision d'un sujet de recherche quant à sa participation au projet ;
4. Notifier, dès que possible, le CÉR de toute suspension ou annulation d'autorisation relative au projet qu'aura formulée un organisme de subvention ou de réglementation ;
5. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout problème constaté par un tiers au cours d'une activité de surveillance ou de vérification, interne ou externe, qui est susceptible de remettre en question l'intégrité ou l'éthicité du projet ainsi que la décision du CÉR ;
6. Notifier, dès que possible, le CÉR de l'interruption prématurée, temporaire ou définitive du projet. Cette modification doit être accompagnée d'un rapport faisant état des motifs à la base de cette interruption et des répercussions sur celles-ci sur les sujets de recherche ;
7. Fournir annuellement au CÉR un rapport d'étape l'informant de l'avancement des travaux de recherche (formulaire R) ;
8. Demander le renouvellement annuel de son certificat d'éthique ;
9. Tenir et conserver, selon la procédure prévue dans la *Politique portant sur la conservation d'une liste des sujets de recherche*, incluse dans le cadre réglementaire des établissements du CRIR, une liste des personnes qui ont accepté de prendre part à la présente étude ;
10. Envoyer au CÉR une copie de son rapport de fin de projet / publication ;
11. En vertu de l'article 19.2 de la *Loi sur les services de santé et les services sociaux*, obtenir l'autorisation du Directeur des services professionnels de l'établissement sollicité avant d'aller consulter les dossiers des usagers de cet établissement, le cas échéant.



Président du CÉR



Date d'émission  
14 mai 2014

## Certificat d'éthique

Par la présente, le comité d'éthique de la recherche des établissements du CRIR (CÉR) atteste qu'il a évalué, lors de sa réunion du 8 juin 2015, le projet de recherche CRIR-1068-0315 intitulé :

« Effet de l'ajout d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire par intervalles ou en continu en fauteuil roulant manuel sur un tapis roulant motorisé lors de la réadaptation fonctionnelle intensive de nouveaux usagers d'un fauteuil roulant manuel ».

Présenté par: Dany Gagnon, Ph.D.  
Audrey Hicks, Ph.D.  
Cindy Gauthier, candidate au Ph.D.  
Mylène Leclerc, étudiante à la maîtrise


Le présent projet répond aux exigences éthiques de notre CÉR. Le Comité autorise donc sa mise en œuvre sur la foi des documents suivants :

- Lettre d'introduction datée du 25 mai 2015 ;
- Formulaire A daté du 25 mai 2015;
- Formulaire d'évaluation de l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal du CIUSSS du Centre-Est de l'Île de Montréal, daté du 31 mars 2015, mentionnant que le projet est acceptable sur le plan de la convenance institutionnelle;
- Évaluation scientifique du projet de recherche du 19 mai 2015 effectuée par le Comité d'évaluation scientifique du CRIR;
- Protocole de recherche (version du 1<sup>er</sup> juillet 2015);
- Formule d'information et de consentement pour votre participation à un projet de recherche (1<sup>er</sup> juillet 2015);
- Questionnaires (1<sup>er</sup> juillet 2015) :
  - ✓ « Échelle de perception d'efficacité personnelle à faire de l'activité physique »;
  - ✓ « Wheelchair User's Shoulder Pain Index »;
  - ✓ « Journal de bord d'activités physique »;
  - ✓ « Activité de renforcement musculaire ».
- Curriculum vitae de Cindy Gauthier;
- Curriculum vitae d'Audrey Hicks;
- Curriculum vitae de Mylène Leclerc.



Ce certificat est valable pour un an. En acceptant le présent certificat d'éthique, le chercheur s'engage à :

1. Informer, dès que possible, le CÉR de tout changement qui pourrait être apporté à la présente recherche ou aux documents qui en découlent (Formulaire M) ;
2. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout incident ou accident lié à la procédure du projet ;
3. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout nouveau renseignement susceptible d'affecter l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche, ou encore, d'influer sur la décision d'un sujet de recherche quant à sa participation au projet ;
4. Notifier, dès que possible, le CÉR de toute suspension ou annulation d'autorisation relative au projet qu'aura formulée un organisme de subvention ou de réglementation ;
5. Notifier, dès que possible, le CÉR de tout problème constaté par un tiers au cours d'une activité de surveillance ou de vérification, interne ou externe, qui est susceptible de remettre en question l'intégrité ou l'éthicité du projet ainsi que la décision du CÉR ;
6. Notifier, dès que possible, le CÉR de l'interruption prématurée, temporaire ou définitive du projet. Cette modification doit être accompagnée d'un rapport faisant état des motifs à la base de cette interruption et des répercussions sur celles-ci sur les sujets de recherche ;
7. Fournir annuellement au CÉR un rapport d'étape l'informant de l'avancement des travaux de recherche (formulaire R) ;
8. Demander le renouvellement annuel de son certificat d'éthique ;
9. Tenir et conserver, selon la procédure prévue dans la *Politique portant sur la conservation d'une liste des sujets de recherche*, incluse dans le cadre réglementaire des établissements du CRIR, une liste des personnes qui ont accepté de prendre part à la présente étude ;
10. Envoyer au CÉR une copie de son rapport de fin de projet / publication ;
11. En vertu de l'article 19.2 de la *Loi sur les services de santé et les services sociaux*, obtenir l'autorisation du Directeur des services professionnels de l'établissement sollicité avant d'aller consulter les dossiers des usagers de cet établissement, le cas échéant.

  
Me Michel T. Giroux  
Président du CÉR



Date d'émission  
1<sup>er</sup> juillet 2015

Montréal, le 9 juin 2016

Monsieur Dany Gagnon, Ph.D.  
CRIR - site de l'IRGLM du  
CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal  
6300, avenue Darlington  
Montréal (Québec) H3S 2J4

o Centre de réadaptation  
Constance-Leihbridge

o Centre de réadaptation  
Lucie-Bruneau

o Hôpital juif de réadaptation

o Institut de réadaptation  
Gingras-Lindsay-de-Montréal

o Institut Nazareth  
et Louis-Braille

o Institut Raymond-Dewar

**Objet : Votre demande de modification pour le projet de recherche intitulé  
« Effet de l'ajout d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire  
par intervalles ou en continu en fauteuil roulant manuel sur un tapis  
roulant motorisé lors de la réadaptation fonctionnelle intensive de  
nouveaux usagers d'un fauteuil roulant manuel »  
Notre dossier : CRIR-1068-0315**

Partenaires

o Centre de réadaptation en  
déficience physique Le Bouclier

o Centre de réadaptation Estrie

o Centre de réadaptation  
MAB-Mackay

Monsieur,

À la suite de l'analyse de la demande de modification que vous nous avez soumise le 12 avril dernier, le Comité d'éthique de la recherche des établissements du CRIR tient à vous informer qu'il vous autorise à poursuivre le projet cité en rubrique, tout en lui apportant les amendements suivants :

- Nouveaux critères d'inclusion : Participants en réadaptation à la veille de leur congé et retournant dans la communauté et les usagers d'un fauteuil roulant manuel (FRM) déjà dans la communauté.

Les individus habitant dans un rayon de 75 km de l'île de Montréal pourront participer à ce projet.

- Nouvelles tâches expérimentales : Considérant qu'il demeure difficile pour ces personnes à mobilité réduite de se déplacer 3 fois/semaine pour les séances à l'IRGLM, les entraînements proposés sous supervision directe et indirecte seront complétés dans la communauté.

Les entraînements seront effectués de façon autonome par les participants dans la communauté avec une supervision indirecte d'un physiothérapeute, sauf pour la 1<sup>ère</sup> séance qui sera sous supervision directe. Un suivi téléphonique hebdomadaire sera effectué afin d'ajuster l'entraînement. Des programmes de 6 semaines auront lieu. L'évaluation de la VO<sub>2</sub>max sera réalisée à domicile à l'aide d'un ergocycle portatif pour membres supérieurs.

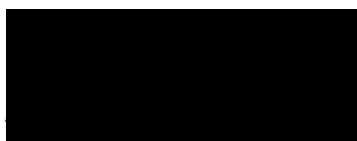
.../2

- Ajout d'une lettre d'invitation qui sera envoyée à une liste de personnes utilisant un fauteuil roulant motorisé à la suite d'une lésion médullaire, ayant eu congé de l'IRGLM dans les 5 dernières années, qui ont accepté d'intégrer le Registre Rick Hansen et d'être informées des futurs projets de recherche initiés localement par notre équipe de recherche.

La version du 9 juin 2016 des documents suivants répond aux exigences éthiques en vigueur :

- Protocole de recherche;
- Formulaire de consentement;
- Lettre de recrutement;
- Questionnaire Q-AAP+.

Veuillez recevoir, Monsieur Gagnon, mes cordiales salutations.



Coordonnatrice à l'éthique de la recherche  
des établissements du CRIR  
☎ (514) 527-4527, poste 2649  
✉ anolet.crir@ssss.gouv.qc.ca

AN/cl

p.j. : Documents approuvés

c.c. : Marie-Thérèse Laramée, IRGLM du CIUSSS du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal

## Annexe II : Formulaire de consentement projet #1

---



FORMULE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT  
POUR VOTRE PARTICIPATION À UN PROJET DE RECHERCHE

**COMPARAISON DES STRATÉGIES DE MOUVEMENTS, DES EFFORTS AUX MEMBRES SUPÉRIEURS ET DES EXIGENCES CARDIORESPIRATOIRES LORS DE LA PROPULSION DU FAUTEUIL ROULANT MANUEL AU SOL ET SUR TAPIS ROULANT CHEZ LES INDIVIDUS AYANT UNE LÉSION DE LA MOELLE ÉPINIÈRE : UNE ÉTUDE PRÉLIMINAIRE**

► ÉQUIPE DE RECHERCHE

**Dany Gagnon, Ph.D, pht**

Chercheur

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Rachid Aissaoui, Ph.D, Eng**

Chercheur associé

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Audrey Champagne**

Étudiante en physiothérapie/  
Stagiaire d'été en recherche

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Annie-Claude Babideau**

Étudiante en physiothérapie/  
Stagiaire d'été en recherche

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Ludivine Ananos**

Stagiaire en recherche

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Murielle Grangeon**

Stagiaire postdoctorale

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

## ORGANISME SUBVENTIONNAIRE

Cette étude est financée en partie par la subvention de recherche annuelle qui accompagne la bourse de chercheur-boursier Junior 1 du Fonds de la recherche en santé du Québec (FRSQ) détenue par Dany Gagnon et des fonds de démarrage mis à sa disposition par l'Université de Montréal et le Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation (CRIR). Les équipements requis pour la réalisation de ce projet ont été financés par le Fonds canadien pour l'innovation (FCI).

## **PRÉAMBULE**

---

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche visant à comparer les stratégies de mouvements et les efforts aux membres supérieurs lors de la propulsion du fauteuil roulant manuel (FRM) au sol et sur tapis roulant auprès d'un échantillon d'individus ayant une lésion de la moelle épinière. Les individus recrutés dans cette étude participeront à une seule séance d'évaluation au Laboratoire de pathokinésiologie au Centre de recherche (4<sup>ième</sup> étage) de l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal.

Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement l'ensemble des renseignements présentés dans ce formulaire de consentement. Ce formulaire de consentement vous explique le but, les procédures, les avantages, les risques et inconvénients de cette étude, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles aux chercheurs et aux autres membres du personnel affectés au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

## **DESCRIPTION DU PROJET ET DE SES OBJECTIFS**

---

La majorité des individus atteints d'une lésion de la moelle épinière ne retrouvera pas les fonctions sensorimotrices nécessaires pour marcher de façon autonome et efficace. Ces individus devront rapidement apprendre à se déplacer avec un FRM pendant le processus de réadaptation. L'entraînement de la propulsion du FRM sur tapis roulant s'avère une approche thérapeutique de plus en plus favorisée en pratique clinique. Cependant, il demeure difficile de connaître si les stratégies de mouvements, les efforts aux membres supérieurs et les exigences cardiorespiratoires lors de la propulsion du FRM sur un tapis roulant sont similaires à ceux requis lors de la propulsion du FRM au sol. De plus, les effets de l'angle

d'inclinaison du tapis roulant et de la vitesse de ce dernier sur ces principales mesures de résultats n'ont jamais été quantifiés.

L'objectif principal de la présente étude vise à comparer les mouvements du tronc et du membre supérieur non-dominant, les efforts générés au membre supérieur non-dominant, ainsi que les exigences cardiorespiratoires lors de la propulsion du FRM au sol et sur tapis roulant chez des individus ayant une lésion de la moelle épinière. L'objectif secondaire vise à quantifier les effets de quatre pentes différentes du tapis roulant (angles d'inclinaison) lors de la propulsion du FRM sur le tapis roulant. Spécifiquement, cette étude préliminaire nécessitera de 1) mesurer la force appliquée aux cerceaux des roues du FRM lors des poussées; 2) calculer les efforts générés aux poignets, coudes et épaules; 3) quantifier les efforts fournis par certains muscles du tronc et du membre supérieur non-dominant et 4) estimer la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène à l'effort pendant la propulsion du FRM.

Les résultats de la présente étude fourniront des données probantes utiles à la compréhension de la propulsion du FRM sur tapis roulant chez les individus ayant une lésion de la moelle épinière. Plus spécifiquement, les résultats permettront d'élaborer des protocoles spécifiques pour l'évaluation et l'entraînement de la propulsion du FRM sur tapis roulant et de la capacité cardiorespiratoire dans la pratique clinique et dans les protocoles de recherche futurs.

## **NATURE ET DURÉE DE LA PARTICIPATION**

---

Votre participation à ce projet implique que vous devrez participer à une seule séance d'évaluation au Laboratoire de pathokinésiologie d'une durée maximale de 3 heures au Centre de recherche (4<sup>ième</sup> étage) de l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal.

► Examen clinique

Un examen clinique, effectué par un physiothérapeute, comprendra une cueillette de certaines informations personnelles (âge, taille, masse corporelle, condition de santé, etc.), une évaluation clinique de la motricité, la sensibilité, la force de préhension et l'équilibre assis (*reaching test*). Vous aurez aussi à remplir deux questionnaires évaluant, respectivement, votre niveau d'indépendance fonctionnelle et la douleur aux épaules lors d'activités fonctionnelles. Cette première partie devrait durer environ 45 minutes et sera suivie d'une période de repos d'environ 15 minutes avant l'évaluation en laboratoire.

## **PARTIE #1 : STRATÉGIES DE MOUVEMENTS ET EFFORTS AUX MEMBRES SUPÉRIEURS**

### ► Propulsion du fauteuil roulant manuel (FRM) au sol

Lors de l'évaluation de la propulsion du fauteuil roulant au sol, vous effectuerez un test de propulsion du FRM de 20 mètres dans un corridor. Ce test sera complété à vitesse naturelle (2 essais) et à vitesse maximale (2 essais), dans un ordre établi au hasard, après une période de familiarisation. Une période de repos de deux minutes sera respectée entre chaque test.

Lors de ce test, des roues instrumentées, permettant d'enregistrer la force appliquée aux cerceaux des roues pendant la propulsion, seront installées sur votre FRM. Une fois montées sur votre FRM, ces roues ne modifieront pas les caractéristiques de votre FRM. Des électrodes de surface, permettant d'enregistrer l'activité de différents muscles du tronc et du membre supérieur non-dominant seront placées sur votre peau à des endroits spécifiques. Préalablement, la peau sera nettoyée avec de l'alcool et pourrait même être rasée sur de petites surfaces au besoin, afin de maximiser la qualité du signal enregistré. Ce signal permettra de mesurer l'activité musculaire pendant que vous exécuterez les différents tests de propulsion du FRM. L'installation des roues instrumentées et des électrodes



devrait prendre approximativement 20-30 minutes alors que la réalisation du test prendra environ 15 minutes.

► Propulsion du fauteuil roulant manuel (FRM) sur tapis roulant sans inclinaison

Lors de l'évaluation de la propulsion du FRM sur tapis roulant sans inclinaison, vous propulsez votre FRM pendant 30 secondes (2 essais) après une période de familiarisation. La vitesse du tapis roulant sera équivalente à la vitesse moyenne de propulsion mesurée lors du test de propulsion du FRM au sol de 20 m à vitesse naturelle.

Lors de ce test, en plus des roues instrumentées et des électrodes placée sur les différents muscles étudiés, des marqueurs seront collés afin d'enregistrer les mouvements du FRM, du tronc et du membre supérieur non-dominant avec un système d'analyse tridimensionnel du mouvement. Minimale, une période de repos de deux minutes sera respectée entre chaque test. Cette partie de l'expérimentation, incluant l'installation des marqueurs, devrait durer approximativement 30-45 minutes.

► Propulsion du fauteuil roulant manuel (FRM) sur tapis roulant avec quatre angles d'inclinaison différentes

Lors de l'évaluation de la propulsion du FRM sur tapis roulant avec inclinaison, vous propulsez votre FRM pendant 30 secondes (2 essais), après une période de familiarisation, à quatre angles d'inclinaison différents : 2,7°, 3,5°, 4,5° et 7°. Ces angles d'inclinaison sont compatibles avec des rampes qui progressent respectivement d'une unité de hauteur à chaque 8, 12, 16 et 20 unités de longueur. La vitesse du tapis roulant sera équivalente à la vitesse mesurée lors du test de propulsion du FRM au sol de 20 m à vitesse naturelle. L'ordre de l'angle d'inclinaison sera déterminé au hasard. Une période de repos de deux minutes sera respectée

entre chaque test. Lors de ces derniers tests, les roues instrumentées, les électrodes placées sur les différents muscles et les marqueurs collés au FRM, au tronc et au membre supérieur non-dominant seront encore utilisés. Cette partie de l'expérimentation devrait durer approximativement 20-30 minutes.

## **PARTIE #2 : EXIGENCES CARIORESPIRATOIRES**

► Propulsion du fauteuil roulant manuel (FRM) sur tapis roulant sans inclinaison et avec trois angles d'inclinaison différentes à trois vitesses différentes

Avant de débiter la partie #2, un cardiofréquencemètre sera installé autour de votre poitrine afin de surveiller continuellement votre fréquence cardiaque pendant la propulsion du FRM sur le tapis roulant. Un masque souple en caoutchouc, préalablement stérilisé, recouvrant votre bouche et votre nez sera aussi installé. Un tube relira ce masque au système portatif fixé derrière le dossier de votre fauteuil roulant afin d'analyser les échanges gazeux avant, pendant et après chaque essai de propulsion du FRM sur le tapis roulant. Vous garderez ce matériel pendant tous les essais de propulsion réalisés sur tapis roulant. De plus, votre tension artérielle, votre taux de saturation en oxygène et votre perception des efforts seront continuellement surveillés pendant les essais. Vous devrez aussi indiquer votre niveau d'effort perçu sur une échelle de mesure avant le début et après la fin de chaque essai.

Avant de débiter les essais de propulsion sur le tapis roulant, vous devrez maintenir une position de repos confortable dans votre FRM pendant 2 minutes pour l'enregistrement de vos paramètres cardio-respiratoires au repos. Il vous sera ensuite demandé de prendre place sur le tapis roulant afin que tout le matériel permettant votre sécurité soit installé. Le système de sécurité mis en place permet d'éviter toute chute ou sortie accidentelle du tapis roulant. Il vous sera ensuite demandé de vous propulser sur le tapis roulant sans inclinaison (0°) à une vitesse

confortable de 0.6m/s pendant 2 minutes afin de vous familiariser avec la propulsion du FRM sur le tapis roulant et de vous échauffer.

Une fois la période de familiarisation/échauffement terminée, vous alternerez 2 minutes de propulsion avec 2 minutes de repos (tapis à l'arrêt). À chaque essai de propulsion, une inclinaison (0°, 2.7°, 3.6° ou 4.8°) et une vitesse différente (0.6m/s, 0.8m/s ou 1m/s) sera testée. De sorte qu'à la fin de l'expérience, chaque inclinaison aura été testée pour chaque vitesse, représentant un nombre total de douze essais. L'ordre des essais est déterminé au hasard. Pendant le test, l'évaluateur restera à proximité de vous afin surveiller l'ensemble des paramètres cardiorespiratoires.

## **AVANTAGES PERSONNELS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

---

Puisque cette étude est expérimentale, il est probable que vous ne retiriez aucun avantage personnel en participant au présent projet de recherche. Par ailleurs, vous aurez contribué à l'avancement des connaissances nécessaires à l'amélioration des protocoles d'évaluation et d'interventions thérapeutiques ciblant la propulsion manuelle du fauteuil roulant et la capacité cardiorespiratoire chez les personnes ayant une lésion médullaire.

## **RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

---

La propulsion du FRM sur le tapis roulant sans ou avec inclinaison, qui diffère de celle au sol, comporte peu de risques lorsque des mesures de sécurité sont respectées. Parmi ces dernières, soulignons que 1) le FRM sera ancré au sol (tapis) avec des bandes élastiques ajustées afin de permettre une amplitude de déplacement avant-arrière d'environ 30 cm et d'éviter toutes sorties latérales ou arrière du FRM, 2) un membre de l'équipe de recherche se tiendra également à

proximité de vous en tout temps et 3) la vitesse, ainsi que l'angle d'inclinaison lorsque requis, seront augmentés progressivement. Une période de familiarisation de la propulsion du FRM sur le tapis roulant est également réalisée au début du protocole.

Pour certains participants, une irritation cutanée ou réaction allergique cutanée localisée pourrait survenir à l'endroit où seront collées les électrodes de surface permettant d'enregistrer l'activité électrique des muscles étudiés. Si tel est le cas, une lotion calmante sera initialement appliquée et tout disparaîtra en général en l'espace de quelques heures. Si l'irritation cutanée persiste plus de 3 jours, vous devrez aviser un des responsables du projet et possiblement consulter un professionnel de la santé. Cette situation pourrait même entraîner votre retrait de l'étude. L'utilisation d'électrodes hypoallergéniques sans latex minimise, voire élimine, généralement ce risque chez la majorité des personnes. De plus, le positionnement de certaines électrodes peut nécessiter le rasage des poils sur de petites surfaces de la peau. Les opérations de préparation de la peau sont faites selon les règles d'hygiène les plus strictes (rasoirs jetables, nettoyage de la peau avec alcool). Notez que ces électrodes ne comportent pas d'aiguille et qu'aucune douleur ne peut être ressentie lors de leur utilisation.

L'accumulation de fatigue musculaire aux membres supérieurs demeure possible étant donné le grand nombre d'essais (partie #1 = 14 essais; partie #2 = 12 essais) réalisés dans la présente étude. Afin de minimiser l'accumulation de fatigue, le nombre de tests et d'essais de propulsion du FRM a été réduit au minimum pour ce genre d'étude et plusieurs périodes de repos ont été prévues au protocole expérimental. Si besoin, la durée ou le nombre de périodes de repos pourra être modifié(e). Cette fatigue temporaire pourrait occasionnellement diminuer la force musculaire de votre tronc ou vos bras, voire réduire votre capacité fonctionnelle, pendant quelques jours (<3 jours).

Finalement, des douleurs musculaires diffuses aux membres supérieurs ou au tronc pourraient survenir dans les deux jours suivant votre participation à ce projet de recherche. Ces douleurs

sont normales suite à une sollicitation accrue et devraient disparaître rapidement par la suite. Pour soulager ces douleurs, l'application de glace et la performance d'exercices d'étirements seront suggérées.

## **INCONVÉNIENTS PERSONNELS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

---

Les inconvénients reliés à votre participation à cette étude sont minimes. Nous sommes toutefois conscients que la durée de la séance d'évaluation en laboratoire (3 heures ou 1.5 heure selon la partie réalisée) peut entraîner une certaine fatigue. Dans ce cas, des pauses sont permises en tout temps sur demande. Le déplacement pour vous rendre au laboratoire pourrait représenter un inconvénient pour certaines personnes.

## **ACCÈS À VOTRE DOSSIER MÉDICAL**

---

Vous acceptez que les personnes responsables de ce projet aient accès à votre dossier médical, si nécessaire, à l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal afin de recueillir certaines données utiles sur l'histoire de votre lésion médullaire (ex. : date, niveau ou région de la lésion, chirurgie de stabilisation des vertèbres), vos antécédents médicaux et sur les traitements que vous avez déjà reçus, recevez actuellement ou recevrez pendant la durée de la présente étude.

## **CONFIDENTIALITÉ**

---

Il est entendu que les observations effectuées en ce qui vous concerne, dans le cadre du projet de recherche décrit ci-dessus, demeureront strictement confidentielles. À cet effet, tous les renseignements personnels et cliniques recueillis à votre sujet au cours de l'étude sur les différents formulaires seront codés de façon à ce qu'ils demeurent confidentiels et conservés

sous clé dans une filière du Laboratoire de pathokinésiologie de l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal par le responsable de l'étude pendant une période de 5 ans suivant la fin du projet. Seuls les membres de l'équipe de recherche y auront accès.

Cependant, à des fins de contrôle du projet de recherche, votre dossier pourrait être consulté par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche des établissements du CRIR ou par l'Unité de l'éthique du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, qui adhère à une politique de stricte confidentialité. L'ensemble des renseignements personnels des participants sera détruit 5 ans après la fin du projet.

## **AUTORISATION D'UTILISER LES RÉSULTATS**

---

Vous acceptez que l'information recueillie puisse être utilisée pour fins de communication scientifique, professionnelle et d'enseignement. Il est entendu que lors de la présentation des résultats de cette recherche, rien ne pourra permettre de vous identifier.

## INFORMATIONS CONCERNANT LE PROJET ET PERSONNES RESSOURCES

On devra répondre, à votre satisfaction, à toute question que vous poserez à propos du projet de recherche auquel vous acceptez de participer. Pour toute information ou question, vous pourrez communiquer avec Dany Gagnon, pht, Ph. D. en sciences biomédicales (option réadaptation), responsable du projet, au numéro de téléphone [REDACTED] ou par courriel à l'adresse : [REDACTED] ou, si je suis absent, avec Marie-Thérèse Laramée, pht, M.Sc., coordonnatrice de la recherche clinique à l'IRGLM au [REDACTED].

Si vous avez des questions sur vos droits et recours ou sur votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Me Anik Nolet,

coordonnatrice à l'éthique de la recherche des établissements du CRIR au [REDACTED]  
ou par courriel à l'adresse : [REDACTED].

## **PARTICIPATION VOLONTAIRE ET RETRAIT DE VOTRE PARTICIPATION**

Il est entendu que votre participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait libre et volontaire; il est également entendu que vous avez le droit de refuser d'y participer ou que vous pourrez, à tout moment, mettre un terme à votre participation sans aucun préjudice et sans que cela n'affecte les services de santé auxquels vous aurez droit à l'Institut de Réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal ou dans d'autres établissements. En cas de retrait de votre part, les données recueillies seront conservées à moins que vous ne nous demandiez de les détruire.

## **CLAUSE DE RESPONSABILITÉ**

---

Il est entendu qu'en acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, les organismes subventionnaires et les institutions impliqués de leurs obligations légales et professionnelles.

## **INDEMNITÉ COMPENSATOIRE**

---

Une indemnité compensatoire de 60.00\$ (Partie #1= 3heures) ou de 30.00\$ (Partie #2= 1.5 heure) vous sera remise afin de compenser les dépenses encourues par votre participation à la séance évaluation prévue dans le présent projet de recherche.

## **CONSENTEMENT**

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les risques auxquels je m'expose tels que présentés dans le présent formulaire. J'ai eu

l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

Je, soussigné(e), accepte volontairement de participer à la partie suivante de cette étude :

**PARTIE #1 : STRATÉGIES DE MOUVEMENTS ET EFFORTS AUX MEMBRES SUPÉRIEURS**

**PARTIE #2 : EXIGENCES CARDIORESPIRATOIRES**

Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision et je sais qu'une copie de ce formulaire figurera dans mon dossier médical.

- J'accepte d'être contacté (e) dans le futur par le même chercheur principal pour d'autres études dans un domaine de recherche connexe :

non

oui (pour une durée d'un an) \*

oui (pour une durée de deux ans) \*

oui (pour une durée de cinq ans) \*

\* *Notez que si vous cochez l'une de ces trois cases, vos coordonnées personnelles seront conservées par le chercheur principal pour la période à laquelle vous avez consenti.*

- J'accepte que les données recueillies au cours de cette étude soient utilisées pour d'autres publications scientifiques demeurant en lien (domaine de recherche connexe) avec le présent projet.



oui  non

Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

---

Nom du participant

Signature

Fait à Montréal, le \_\_\_\_\_, 201\_\_.

**ENGAGEMENT DU CHERCHEUR**

Je, soussigné (e), \_\_\_\_\_ , certifie

- (a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire;
- (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- (c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus;
- (d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

\_\_\_\_\_

Signature du responsable du projet ou de son représentant

Fait à Montréal, le \_\_\_\_\_, 20\_\_\_\_\_.

## Annexe III : Formulaire de consentement projet #2

---



### Formule d'information et de consentement pour votre participation à un projet de recherche

**Fidélité et validité d'un nouveau protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire pendant la propulsion sur tapis roulant motorisé chez des usagers d'un fauteuil roulant manuel : Une étude préliminaire**

#### ► ÉQUIPE DE RECHERCHE

**Dany Gagnon, Ph.D, pht**  
Chercheur

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Cindy Gauthier, pht, M.Sc.**  
Étudiante au doctorat

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Audrey L. Hicks, Ph. D.**  
Chercheure

McMaster University  
Département de Kinésiologie

**Jasmine Arel**  
Étudiante en physiothérapie/  
Stagiaire d'été en recherche

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Félix Chénier, PhD, ing.**  
Stagiaire postdoctoral

Centre de recherche interdisciplinaire en  
réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site  
Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-  
Montréal (IRGLM)

---

## **PRÉAMBULE**

---

Nous vous demandons de participer à un projet de recherche qui implique un test d'effort maximal en fauteuil roulant manuel (FRM) sur un tapis roulant motorisé et un test d'effort maximal sur un ergomètre pour membres supérieurs.

Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent.

Ce formulaire de consentement vous explique le but de cette étude, les procédures, les avantages, les risques et inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur et aux autres membres du personnel affectés au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

## **DESCRIPTION DU PROJET ET DE SES OBJECTIFS**

---

Parmi les individus ayant subi une lésion du système nerveux et/ou du système musculosquelettique, une grande proportion devra apprendre à utiliser un fauteuil roulant manuel (FRM) comme moyen de locomotion. La propulsion d'un FRM requiert une bonne force musculaire au tronc et aux membres supérieurs et également une bonne capacité cardiorespiratoire. L'évaluation et l'entraînement de la capacité cardiorespiratoire en FRM sur tapis roulant motorisé s'avèrent des approches de plus en plus favorisées en pratique clinique. Cependant, aucune étude n'a pu proposer un protocole d'évaluation sur tapis roulant standardisé à ce jour. Un protocole préliminaire d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire en FRM sur tapis roulant motorisé, combinant différentes vitesses et différentes inclinaisons a récemment été développé à l'IRGLM.

Le premier objectif de la présente étude vise à vérifier si les mesures prises lors de deux tests d'effort maximal en FRM sur un tapis roulant motorisé chez des usagers de FRM sont similaires (fidélité des mesures). Le second objectif vise à s'assurer que les valeurs de la capacité cardiorespiratoire obtenues lors du test sur tapis roulant représentent bien la capacité cardiorespiratoire maximale (validité des mesures). Ainsi les valeurs maximales obtenues lors du test sur tapis roulant seront comparées avec celles obtenues lors d'un test d'effort maximal sur ergomètre pour membres supérieurs habituellement utilisé en clinique. Le troisième objectif de cette étude est d'évaluer la fatigue musculaire des membres supérieurs et ses effets sur la propulsion suite au test d'effort maximal en FRM sur un tapis roulant motorisé. Spécifiquement, cette étude préliminaire nécessitera de mesurer chez 30

usagers de FRM 1) les réponses cardiorespiratoires lors d'un test d'effort maximal en FRM sur un tapis roulant motorisé, 2) les réponses cardiorespiratoires lors d'un test d'effort maximal sur ergomètre pour membres supérieurs, 3) l'activité électrique de six muscles du membre supérieur non-dominant, les mouvements des membres supérieurs et les forces appliquées au cerceau lors du test d'effort maximal en FRM sur un tapis roulant motorisé (2<sup>ème</sup> séance seulement).

Les résultats de la présente étude fourniront des données probantes utiles à l'évaluation de la capacité cardiorespiratoire lors de la propulsion du FRM sur tapis roulant chez des usagers de FRM. Plus spécifiquement, les résultats de fidélité et de validité du nouveau protocole permettront l'utilisation judicieuse de ce test en clinique et en recherche.

## **NATURE ET DURÉE DE LA PARTICIPATION**

---

Votre participation à ce projet implique que vous devrez participer à deux séances d'évaluation à l'intérieur d'une période d'une semaine (3-7 jours) au Laboratoire de pathokinésiologie au Centre de recherche (4<sup>ème</sup> étage) de l'IRGLM. La première séance sera d'une durée maximale de 4 heures alors que la deuxième séance sera d'une durée maximale de 2 heures.

### **Séance #1 Tests d'effort maximal en FRM sur tapis roulant motorisé et sur ergomètre pour membres supérieurs (Durée estimée = 4 heures)**

#### **► Examen clinique (Durée estimée= 30 minutes)**

Un examen clinique, effectué par un physiothérapeute, comprendra une cueillette de certaines informations personnelles (âge, taille, masse corporelle, condition de santé, etc.), une évaluation clinique de la force des membres supérieurs, la force de préhension et la fonction respiratoire. Vous aurez aussi à remplir un questionnaire évaluant vos douleurs aux épaules lors d'activités fonctionnelles et un questionnaire évaluant votre aptitude à l'activité physique. Finalement, les données en lien avec votre FRM et votre positionnement dans celui-ci seront collectées. Cette première partie devrait durer environ 30 minutes et sera suivie d'une période de repos d'environ 15 minutes avant l'évaluation en laboratoire.

#### **► Évaluation en laboratoire**

L'évaluation en laboratoire lors de la première séance sera effectuée en deux parties distinctes séparées par une période de repos de deux heures. Vous effectuerez en premier le test d'effort maximal en FRM sur tapis roulant motorisé et par la suite, le test d'effort maximal sur ergomètre pour membres supérieurs.

► **Test d'effort maximal en FRM sur tapis roulant motorisé (Durée estimée = 45 minutes):**

Avant de débiter le test, un cardiofréquencemètre sera installé autour de votre poitrine afin de surveiller continuellement votre fréquence cardiaque pendant le test d'effort. Un masque souple en caoutchouc, préalablement stérilisé, recouvrant votre bouche et votre nez sera aussi installé sur votre visage. Un tube relira ce masque au système portatif fixé derrière le dossier de votre fauteuil roulant afin d'analyser les échanges gazeux avant, pendant et après la propulsion du FRM sur le tapis roulant. Vous garderez ce matériel pendant toute la durée du test d'effort en FRM réalisé sur tapis roulant. De plus, votre tension artérielle, votre taux de saturation en oxygène et votre perception des efforts seront continuellement surveillés pendant le test. Vous devrez aussi indiquer votre niveau d'effort cardiorespiratoire perçu ainsi que la fatigue ressentie au niveau de vos bras sur une échelle de mesure après la fin de chaque palier d'effort.



Test sur tapis

Avant de débiter le test, vous devrez maintenir une position de repos confortable dans votre FRM pendant 2 minutes pour l'enregistrement de vos paramètres cardiorespiratoires au repos. Il vous sera ensuite demandé de prendre place sur le tapis roulant afin que tout le matériel permettant votre sécurité soit installé. Le système de sécurité mis en place permet d'éviter toute chute ou sortie accidentelle du tapis roulant.

Vous aurez ensuite une période d'échauffement de deux minutes durant laquelle vous pourrez propulser votre FRM aux différentes vitesses et différentes inclinaisons utilisées pendant le test. Ensuite, vous devrez propulser votre FRM de manière continue sur le tapis roulant dont l'inclinaison et la vitesse varieront de manière à induire un effort d'intensité progressivement augmentée jusqu'à ce que vous ayez atteint votre niveau d'effort maximal perçu et que le test cesse. La vitesse ou l'inclinaison sera modifiée à chaque 60 secondes. Vous serez informé lorsque la vitesse ou l'inclinaison sera modifiée. L'évaluateur restera à proximité pour surveiller l'ensemble des paramètres cardiorespiratoires.

Notez que lors de ce test des roues instrumentées, permettant d'enregistrer la force appliquée aux cerceaux des roues pendant la propulsion, seront installées sur votre FRM. Une fois montées sur votre FRM, ces roues ne modifieront pas significativement les caractéristiques de votre FRM.

► **Test d'effort maximal sur ergomètre pour membres supérieurs (Durée estimée= 45 minutes):**

Lors de ce test, vous serez équipé des mêmes appareils que ceux décrits plus haut pour le test d'effort en FRM sur tapis roulant. De plus, les mêmes mesures seront prises pendant ce

test d'effort.

Après une période de familiarisation de 2 minutes, le départ du test sera donné et vous devrez pédaler avec vos bras à une vitesse constante et une résistance constante pendant une minute. La résistance sera légèrement augmentée à chaque minute afin d'induire une augmentation graduelle d'intensité jusqu'à ce que vous ayez atteint votre niveau d'effort maximal.



Test sur ergocycle

Pendant le test, vous serez informé lorsque la résistance de l'ergomètre sera modifiée. Vous devrez aussi indiquer votre niveau d'effort cardiorespiratoire perçu ainsi que la fatigue ressentie au niveau de vos bras sur une échelle de mesure après la fin de chaque palier d'effort.

L'évaluateur restera à proximité pour surveiller l'ensemble des paramètres cardiorespiratoires.

Notez que l'ensemble des tests sont réalisées sous la supervision directe d'un physiothérapeute. Une équipe médicale est également disponible sur place au besoin.

### **Séance #2 : Test d'effort maximal en FRM sur tapis roulant motorisé (Durée estimée = 2 heures)**

Vous serez invité à revenir au Laboratoire de pathokinésiologie au Centre de recherche (4<sup>ième</sup> étage) de l'IRGLM pour une deuxième séance d'évaluation en laboratoire trois à sept jours plus tard

#### **► Propulsion du fauteuil roulant manuel (FRM) au sol (Durée estimée= 30 minutes):**

Lors de l'évaluation de la propulsion du fauteuil roulant au sol, vous effectuerez un test de propulsion du FRM de 20 mètres dans un corridor afin de déterminer votre vitesse nature de propulsion du FRM. Ce test sera complété deux fois en sens inverse avec une période de repos de deux minutes entre chaque test. Lors de ce test, des roues instrumentées, permettant d'enregistrer les forces appliquées aux cerceaux des roues pendant la propulsion, seront installées sur votre FRM. Leur installation sur votre FRM devrait prendre 10 minutes alors que la réalisation du test prendra 20 minutes.

#### **► Test d'effort maximal en FRM sur tapis roulant motorisé (Durée estimée= 1.5 heures):**

Lors de la deuxième séance d'évaluation, vous devrez refaire un test d'effort maximal en FRM sur tapis roulant motorisé identique à celui de la première séance décrit ci-dessus. Cependant, au cours de celui-ci, en plus des roues instrumentées, des électrodes de surface, permettant d'enregistrer l'activité électrique de différents muscles du tronc et du membre



supérieur non-dominant seront placées sur votre peau à des endroits spécifiques. Préalablement, la peau sera nettoyée avec de l'alcool et pourrait même être rasée sur de petites surfaces au besoin, afin de maximiser la qualité du signal enregistré. Ce signal permettra de mesurer l'activité musculaire pendant que vous exécuterez le test d'effort maximal de propulsion du FRM. De plus, des marqueurs seront collés à votre FRM, sur votre tronc et vos membres supérieurs afin d'enregistrer les mouvements de ceux-ci pendant que vous exécuterez le test d'effort maximal de propulsion du FRM. Lors de cette séance, il vous sera également demandé de propulser pendant 30 secondes à vitesse naturelle sur tapis roulant avec et sans le système de stabilisation du fauteuil avant et après le test d'effort maximal. Lors de la propulsion sans le système d'ancrage, deux assistants de recherche seront positionnés de chaque côté de votre fauteuil pour le repositionner le FRM au besoin.

### **AVANTAGES PERSONNELS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

---

Puisque cette étude est expérimentale, il est probable que vous ne retiriez aucun avantage personnel en participant au présent projet de recherche. Par ailleurs, vous aurez contribué à l'avancement des connaissances nécessaires à l'amélioration des protocoles d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire chez des usagers d'un fauteuil roulant manuel. Un rapport individuel d'évaluation résumant les résultats obtenus lors de vos tests d'effort pourra vous être remis après l'étude si vous formulez cette demande à l'équipe de recherche

### **RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

---

La propulsion du FRM sur le tapis roulant sans ou avec inclinaison, qui diffère de celle au sol, ne devrait pas endommager votre fauteuil roulant personnel et comporte peu de risques de chutes lorsque des mesures de sécurité strictes sont respectées. Parmi ces dernières, soulignons que 1) le FRM sera ancré au sol (tapis) avec des bandes élastiques ajustées afin de permettre une amplitude de déplacement avant-arrière d'environ 30 cm et d'éviter toutes sorties latérales ou arrières du FRM, 2) un membre de l'équipe de recherche se tiendra également à proximité de vous en tout temps et 3) la vitesse et l'angle d'inclinaison seront augmentés progressivement 4) un seul paramètre (vitesse ou inclinaison) sera augmenté à la fois. Une période de familiarisation de la propulsion du FRM sur le tapis roulant est également réalisée au début du protocole.

L'exécution d'un test d'effort maximal comporte de faibles risques pour votre santé cardiorespiratoire générale ou musculosquelettique des bras (ex. : muscle, tendon) et toutes les mesures de sécurité afin de minimiser ses risques seront respectées. Parmi ces dernières, soulignons 1) que votre capacité cardiorespiratoire à effectuer un test d'effort et l'intégrité musculosquelettique de vos bras seront préalablement évaluées avec des questionnaires et

lors de l'évaluation clinique, 2) vos signes vitaux ainsi que les signes et symptômes d'intolérance à l'exercice ou de douleurs au bras seront surveillés tout au long des tests d'effort et 3) une période d'échauffement et de retour au calme seront effectués avant et après les tests respectivement.

Pour certains participants, une irritation cutanée ou réaction allergique cutanée localisée pourrait survenir à l'endroit où seront collées les électrodes de surface et les marqueurs. Si tel est le cas, une lotion calmante sera initialement appliquée et tout disparaîtra en général en l'espace de quelques heures. Si l'irritation cutanée persiste plus de 3 jours, vous devrez aviser un des responsables du projet et possiblement consulter un professionnel de la santé. Cette situation pourrait même entraîner votre retrait de l'étude. L'utilisation d'électrodes hypoallergéniques sans latex minimise, voire élimine, généralement ce risque chez la majorité des personnes. De plus, le positionnement de certaines électrodes peut nécessiter le rasage des poils sur de petites surfaces de la peau. Les opérations de préparation de la peau sont faites selon les règles d'hygiène les plus strictes (rasoirs jetables, nettoyage de la peau avec alcool). Notez que ces électrodes et les marqueurs ne comportent pas d'aiguille et qu'aucune douleur ne peut être ressentie lors de leur utilisation.

### **INCONVÉNIENTS PERSONNELS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

---

Les inconvénients liés à votre participation à cette étude sont minimes. Nous sommes toutefois conscients que la durée totale de la séance d'évaluation en laboratoire (4 heures pour la première séance et de 1,5 heures pour la deuxième séance) peut entraîner une certaine fatigue. Dans ce cas, des pauses sont permises en tout temps sur demande. Le déplacement pour vous rendre au laboratoire pourrait représenter un inconvénient pour certaines personnes.

Il se peut que les efforts demandés lors de l'évaluation en laboratoire (tests d'effort maximal) provoquent une certaine fatigue temporaire. Cette fatigue temporaire pourrait occasionnellement diminuer la force musculaire de votre tronc ou de vos bras, voire réduire votre capacité fonctionnelle, pendant quelques jours (<3 jours). Par ailleurs, si la fatigue devenait insupportable lors d'un test, vous pourrez arrêter et vous reposer selon vos besoins.

Finalement, des douleurs musculaires diffuses aux membres supérieurs ou au tronc pourraient survenir dans les deux jours suivant votre participation à ce projet de recherche. Ces douleurs sont normales suite à une sollicitation accrue et devraient disparaître rapidement par la suite. Pour soulager ces douleurs, l'application de glace et la performance d'exercices d'étirements seront suggérées.

## **ACCÈS À VOTRE DOSSIER MÉDICAL**

---

Vous acceptez que les personnes responsables de ce projet aient accès à votre dossier médical, si nécessaire, à l'Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal afin de recueillir certaines données utiles en lien avec l'histoire de votre condition (ex. : date, niveau ou région de la lésion de la moelle épinière, chirurgie effectuée), vos antécédents médicaux et sur les traitements que vous avez déjà reçus, recevez actuellement ou recevrez pendant la durée de la présente étude.

## **CONFIDENTIALITÉ**

---

Il est entendu que les observations effectuées en ce qui vous concerne, dans le cadre du projet de recherche décrit ci-dessus, demeureront strictement confidentielles. À cet effet, tous les renseignements personnels et cliniques recueillis à votre sujet au cours de l'étude sur les différents formulaires en papier seront codés de façon à ce qu'ils demeurent confidentiels et conservés sous clé dans une filière du Laboratoire de pathokinésiologie de l'IRGLM par le chercheur principal de l'étude pendant une période de 5 ans suivant la fin du projet. Quant aux documents et chiffriers électroniques associés à cette étude, ces derniers n'incluront aucune donnée permettant de vous identifier et seront conservés sur un réseau informatique sécurisé et à accès restreint par mot de passe à l'IRGLM.

Seuls les membres de l'équipe de recherche auront accès aux documents en papier ou en version électronique. Cependant, à des fins de contrôle du projet de recherche, votre dossier pourrait être consulté par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche des établissements du CRIR ou par l'Unité de l'éthique du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, qui adhère à une politique de stricte confidentialité. L'ensemble des renseignements personnels des participants sera détruit 5 ans après la fin du projet.

## **AUTORISATION D'UTILISER LES RÉSULTATS**

---

Vous acceptez que l'information recueillie puisse être utilisée pour fins de communication scientifique, professionnelle et d'enseignement. Il est entendu que lors de la présentation des résultats de cette recherche, rien ne pourra permettre de vous identifier.

## **INFORMATIONS CONCERNANT LE PROJET ET PERSONNES RESSOURCES**

On devra répondre, à votre satisfaction, à toute question que vous poserez à propos du projet de recherche auquel vous acceptez de participer. Pour toute information ou question,

vous pourrez communiquer avec Dany Gagnon, pht, Ph. D., responsable du projet, au numéro de téléphone [REDACTED] ou par courriel à l'adresse : [REDACTED] ou, s'il est absent, avec Cindy Gauthier, pht, M.Sc., étudiante au doctorat et coordonnatrice du projet au [REDACTED] ou par courriel à l'adresse [REDACTED].

Si vous avez des questions sur vos droits et recours ou sur votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Me Anik Nolet, coordonnatrice à l'éthique de la recherche des établissements du CRIR au [REDACTED] ou par courriel à l'adresse : [REDACTED] Pour ces questions, vous pouvez aussi contacter le commissaire local de votre établissement.

### **PARTICIPATION VOLONTAIRE ET RETRAIT DE VOTRE PARTICIPATION**

Il est entendu que votre participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait libre et volontaire; il est également entendu que vous avez le droit de refuser d'y participer ou que vous pourrez, à tout moment, mettre un terme à votre participation sans aucun préjudice et sans que cela n'affecte les services de santé auxquels vous aurez droit à l'IRGLM ou dans d'autres établissements. En cas de retrait de votre part, les données préalablement recueillies seront conservées par l'équipe de recherche à moins que vous ne nous demandiez de les détruire.

### **CLAUSE DE RESPONSABILITÉ**

---

Il est entendu qu'en acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits, ni ne libérez les chercheurs, les organismes subventionnaires et les institutions impliqués de leurs obligations légales et professionnelles.

### **INDEMNITÉ COMPENSATOIRE**

---

Une indemnité compensatoire de 50.00\$ (Séance #1= 4 heures) ou de 30.00\$ (Séance #2= 1,5 heure) vous sera remise afin de compenser les dépenses encourues par votre participation à la séance évaluation prévue dans le présent projet de recherche. De plus, les participants se déplaçant en véhicule pourront se garer gratuitement dans le stationnement de l'IRGLM.

**CONSENTEMENT**

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les risques auxquels je m'expose tels que présentés dans le présent formulaire. J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects de l'étude et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

Je, soussigné(e), accepte volontairement de participer aux parties suivantes de cette étude :

- Séance #1**  
 **Séance #2**

Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision et je sais qu'une copie de ce formulaire figurera dans mon dossier médical.

- J'accepte d'être contacté (e) dans le futur par le même chercheur principal pour d'autres études dans un domaine de recherche connexe :

- non  
 oui (pour une durée d'un an) \*  
 oui (pour une durée de deux ans) \*  
 oui (pour une durée de trois ans) \*

\* Notez que si vous cochez l'une de ces trois cases, vos coordonnées personnelles seront conservées par le chercheur principal pour la période à laquelle vous avez consenti.

- J'accepte que les données recueillies au cours de cette étude soient utilisées pour d'autres publications scientifiques demeurant en lien (domaine de recherche connexe) avec le présent projet.

oui  non

Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

\_\_\_\_\_  
 Nom du participant

\_\_\_\_\_  
 Signature

Fait à Montréal, le \_\_\_\_\_, 201\_\_.

**ENGAGEMENT DU CHERCHEUR**

Je, soussigné (e), \_\_\_\_\_, certifie

- (a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire;
- (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- (c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus;
- (d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

\_\_\_\_\_  
Signature du responsable du projet ou de son représentant

Fait à Montréal, le \_\_\_\_\_, 20\_\_\_\_\_.

## Annexe IV : Formulaire de consentement projet #3

---

Laboratoire de  
**Pathokinésiologie**



INSTITUT DE RÉADAPTATION  
Gingras-Lindsay-de-Montréal

### Formule d'information et de consentement pour votre participation à un projet de recherche

**COMPARAISON D'UN PROGRAMME D'ENTRAÎNEMENT CARDIORESPIRATOIRE PAR INTERVALLES OU EN CONTINU EN FAUTEUIL ROULANT MANUEL CHEZ DES USAGERS D'UN FAUTEUIL ROULANT MANUEL**

#### ► ÉQUIPE DE RECHERCHE

**Cindy Gauthier, pht, M.Sc.**  
Candidate au doctorat

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Mylène Leclerc, pht, B.Sc.**  
Étudiante à la maîtrise

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**Audrey L. Hicks, Ph. D.**  
Chercheure

McMaster University  
Département de Kinésiologie

**Dany Gagnon, pht, Ph. D.**  
Chercheur

Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation du Montréal métropolitain (CRIR), site Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM)

**PRÉAMBULE**

---

Nous vous invitons à participer à un projet de recherche visant à évaluer et comparer les effets de deux nouveaux programmes d'entraînement cardiorespiratoire en fauteuil roulant manuel (FRM). Ces programmes d'entraînement sont réalisés de façon autonome à domicile 3 fois par semaine pendant 6 semaines sous la supervision indirecte d'un(e) physiothérapeute.

Avant d'accepter de participer à ce projet de recherche, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement l'ensemble des renseignements présentés dans ce formulaire de consentement. Ce formulaire de consentement vous explique le but de ce projet de recherche, les procédures, les avantages, les risques et les inconvénients, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin.

Le présent formulaire de consentement peut contenir des mots que vous ne comprendrez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles aux chercheurs et aux autres membres du personnel affectés au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

**DESCRIPTION DU PROJET ET DE SES OBJECTIFS**

---

Plusieurs individus ayant une atteinte neurologique ou musculosquelettique grave doivent apprendre à utiliser un FRM comme moyen alternatif de locomotion. La propulsion d'un FRM requiert une bonne force musculaire aux bras et au tronc en plus d'une bonne capacité cardiorespiratoire. Lors de la réadaptation fonctionnelle intensive, l'accent est principalement mis sur l'augmentation de la force musculaire et l'apprentissage des habiletés en FRM. À leur retour à domicile, les usagers d'un FRM ont de la difficulté à concevoir un programme d'entraînement cardiorespiratoire personnalisé et adapté à leur condition. Par conséquent, la majorité des usagers d'un FRM adopte un style de vie sédentaire et leur capacité cardiorespiratoire est souvent diminuée.

Pour renverser cette situation, les physiothérapeutes pourraient proposer aux usagers d'un FRM des programmes d'entraînement cardiorespiratoire effectués directement dans la communauté. Cependant, l'approche à privilégier (c.-à-d. entraînement par intervalles vs en continu) afin d'augmenter la capacité cardiorespiratoire avec l'entraînement en FRM a été peu étudiée à ce jour et reste à clarifier.

L'objectif principal de ce projet vise à comparer les effets d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire par intervalles et d'un programme d'entraînement cardiorespiratoire en continu effectué en FRM dans votre communauté sur votre capacité cardiorespiratoire et votre force musculaire aux bras.



## NATURE ET DURÉE DE LA PARTICIPATION

Votre participation à ce projet implique que vous devrez participer à une séance d'évaluation initiale qui se déroulera directement à votre domicile. Par la suite, vous serez assigné au hasard dans l'un des 2 groupes de cette étude : 1) groupe d'entraînement par intervalles ou 2) groupe d'entraînement en continu. Vous devrez réaliser le programme d'entraînement cardiorespiratoire auquel vous aurez été assigné qui comprend 3 séances d'entraînement par semaine d'environ 30-40 minutes chacune pendant une durée de 6 semaines. Finalement, vous devrez participer à la séance d'évaluation finale qui se déroulera directement à votre domicile. Vous trouverez en annexe de ce document un schéma résumant le déroulement de ce projet. Chaque participant devra remplir un journal de bord résumant son activité physique réalisé quotidiennement, et ce, pour toute la durée de sa participation au projet. Un suivi téléphonique hebdomadaire sera assuré par un membre de l'équipe de recherche afin de prendre en compte les résultats du journal de bord et optimiser la réalisation du programme d'entraînement. Enfin, un suivi téléphonique sera effectué 3 mois après la fin du programme d'entraînement afin de documenter la poursuite de l'entraînement ainsi que l'impact à plus long terme de ce programme.

### Séance d'évaluation initiale ( ~ 2 heures)

#### *Informations personnelles et questionnaires ( ~ 1 heure)*

Un examen clinique, effectué par un physiothérapeute, comprendra une cueillette de certaines informations personnelles (âge, taille, masse corporelle, condition de santé, etc.) ainsi qu'une évaluation objective de la fonction respiratoire et de la force des bras et de la force de préhension. Vous aurez aussi à remplir un questionnaire évaluant vos douleurs aux épaules lors d'activités fonctionnelles et un questionnaire évaluant votre niveau de confiance à faire de l'activité physique. Finalement, les données en lien avec votre FRM et votre positionnement dans celui-ci seront collectées.

#### *Test d'effort maximal sur ergomètre pour membres supérieurs ( ~ 1 heure):*

Par la suite, vous ferez un test d'effort maximal. Pour ce test, vous devrez pédaler de manière continue sur un ergomètre pour membres supérieurs le plus longtemps possible. La résistance de l'appareil sera augmentée de 10 watts, à chaque minute de manière à augmenter l'intensité des efforts, et ce, jusqu'à ce que vous ayez atteint votre niveau d'effort maximal perçu. À ce moment, le test cessera.

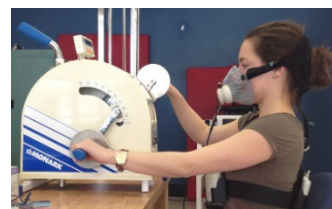


Figure 1: Test sur ergomètre pour membres supérieurs

Avant de débiter ce test d'effort cardiorespiratoire, un cardiofréquence-mètre sera installé autour de votre poitrine afin de surveiller continuellement votre fréquence cardiaque pendant ce test. Un masque souple en caoutchouc, préalablement stérilisé, recouvrant votre bouche et votre nez sera aussi installé sur votre visage. Un tube reliera ce masque au système portatif fixé derrière le dossier de votre FRM afin d'analyser les échanges gazeux avant et pendant le test.

De plus, votre tension artérielle, votre taux de saturation en oxygène et votre perception des efforts seront continuellement surveillés pendant le test.

Notez que lors de ce test, un physiothérapeute et un autre collaborateur de recherche resteront à proximité de vous pour surveiller l'ensemble de vos paramètres cardiorespiratoires et assurer votre sécurité.

### **INTERVENTION-Programmes d'entraînement**

À la fin de l'évaluation initiale, vous serez assigné à l'un des deux groupes au hasard : 1) groupe d'entraînement par intervalles ou 2) groupe d'entraînement en continu. Les membres de l'équipe de recherche discuteront avec vous afin de déterminer un lieu à proximité de chez vous où vous voudriez effectuer vos entraînements (c.-à-d., parcs, rues tranquilles, pistes cyclables, centre commercial, etc.). Le trajet et les paramètres d'entraînement seront alors déterminés. Notez que ce trajet et ces paramètres pourront être modifiés au besoin au cours du projet. De plus, afin de s'assurer que le trajet proposé est sécuritaire et adéquat, les membres de l'équipe de recherche visiteront les lieux avec vous et assisteront à votre premier entraînement. Vous devrez débiter votre programme d'entraînement de 6 semaines dès que possible après votre évaluation initiale. Vous devrez vous entraîner 3 fois par semaine pendant 6 semaines.

Avant de débiter votre programme d'entraînement, un membre de l'équipe de recherche vous expliquera l'échelle de cotation de votre perception d'effort à utiliser lors de vos entraînements pour ajuster l'intensité de l'effort adéquatement. De plus, il/elle pourra installer sur votre téléphone intelligent, si vous le désirez, une application permettant d'enregistrer les paramètres de vos entraînements (c.-à-d., temps de propulsion, dénivellation, vitesse, dépense énergétique, carte du parcours, etc.). Si vous acceptez, les données recueillies pourront être utilisées par l'équipe de recherche. Finalement, vous devrez visionner une vidéo éducative sur les éléments associés à la technique de propulsion optimale recommandée pour réduire les risques de blessure aux bras et optimiser votre performance.

- 1) *Entraînement par intervalles*** : Les participants devront propulser leur FRM en alternant des périodes de haute et faible intensités. Lors des périodes de haute intensité, les participants devront propulser leur FRM pendant 30 secondes à une vitesse suffisamment élevée ou sur un plan incliné afin que l'intensité de l'effort soit élevée. Lors des périodes de faible intensité, les participants devront propulser leur FRM pendant 60 secondes à vitesse confortable afin que l'intensité de l'effort soit faible et qu'une récupération soit possible (c.-à-d. période de repos actif). Le cycle 'haute-faible intensités' sera répété en fonction de votre endurance jusqu'à un maximum de 20 répétitions. La progression de l'entraînement se fera de façon individualisée et hebdomadaire.

- 2) Groupe d'entraînement en continu :** Les participants répartis dans ce groupe devront propulser leur FRM de façon continue à une vitesse confortable tout en s'assurant qu'une fatigue modérée s'installe progressivement pendant l'entraînement de 20-30 minutes. La progression de l'entraînement se fera de façon individualisée et hebdomadaire.

Une période d'échauffement et une période de retour au calme de 5 minutes devront être effectuées respectivement avant et après chaque séance d'entraînement en FRM.

### **Séance d'évaluation finale (~ 2 heures)**

À la fin de votre programme d'entraînement, vous devrez participer à une nouvelle séance d'évaluation clinique telle que décrite plus haut. Cette séance d'évaluation sera effectuée 2 à 5 jours après votre dernière séance d'entraînement.

### **AVANTAGES PERSONNELS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

Puisque ce projet de recherche est expérimental, il est probable que vous ne retiriez aucun avantage personnel en participant au présent projet de recherche. Par ailleurs, vous aurez contribué à l'avancement des connaissances nécessaires à l'amélioration des protocoles d'entraînement de la capacité cardiorespiratoire chez des individus utilisant un FRM. Un rapport individuel d'évaluation résumant les résultats obtenus lors de vos tests pourra vous être remis pendant ou après ce projet si vous formulez cette demande à l'équipe de recherche.

### **RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

La propulsion du FRM dans votre communauté ne devrait pas endommager votre FRM personnel. De plus, elle comporte peu de risques de chutes lorsque des mesures de sécurité strictes sont respectées. Parmi ces dernières, nous vous demandons de respecter 1) le port d'une ceinture de sécurité ou de soutien si votre équilibre est précaire, 2) le code de la route, 3) l'accompagnement d'une personne si vous en avez besoin et 4) le port de vêtements de couleurs voyantes ainsi qu'une lumière si vous vous entraînez à la tombée du jour.

Les membres de l'équipe de recherche visiteront les lieux avec vous et assisteront à votre premier entraînement afin de s'assurer que le trajet proposé est sécuritaire et adéquat. Un suivi téléphonique sera effectué à chaque semaine afin de modifier le programme d'entraînement et le trajet au besoin.

L'exécution du test d'effort maximal ainsi que l'entraînement cardiorespiratoire comporte de faibles risques pour votre santé et toutes les mesures de sécurité afin de minimiser ces risques seront respectées. Parmi ces dernières, soulignons 1) que votre capacité à effectuer un test d'effort et un entraînement cardiorespiratoire ainsi que l'intégrité musculosquelettique de vos bras seront préalablement évaluées avec des questionnaires et lors de l'évaluation clinique, 2) vos signes vitaux ainsi que les signes et symptômes d'intolérance à l'exercice ou de douleurs

au bras seront surveillés tout au long des tests d'effort maximal, 3) une période d'échauffement et de retour au calme devront être effectuées avant et après chaque entraînement respectivement et 4) votre état de santé général ainsi que l'intégrité de vos bras seront vérifiés avant chaque test d'effort maximal. Finalement, un physiothérapeute pourra se rendre à votre domicile pour faire un suivi en personne de votre condition au besoin.

### **INCONVÉNIENTS PERSONNELS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION**

---

Les inconvénients reliés à votre participation à ce projet de recherche sont minimes. Nous sommes toutefois conscients que les séances d'évaluation ainsi que les séances d'entraînement peuvent entraîner une certaine fatigue temporaire. C'est pourquoi des pauses sont permises en tout temps sur demande. Cette fatigue temporaire pourrait occasionnellement diminuer la force musculaire de votre tronc ou de vos bras, voire réduire votre capacité fonctionnelle, pendant quelques jours (<3 jours).

L'apparition de douleurs musculaires diffuses aux membres supérieurs ou au tronc est probable au début de votre participation à ce projet de recherche. Ces douleurs sont normales suite à une sollicitation accrue des muscles et devraient disparaître rapidement par la suite. Pour soulager ces douleurs, l'application de glace et des exercices d'étirement seront suggérés.

### **CONFIDENTIALITÉ**

---

Il est entendu que les observations effectuées en ce qui vous concerne, dans le cadre du projet de recherche décrit ci-dessus, demeureront strictement confidentielles. À cet effet, tous les renseignements personnels et cliniques recueillis à votre sujet au cours du projet sur les différents formulaires en papier seront codés de façon à ce qu'ils demeurent confidentiels. De plus, ils seront conservés sous clé dans une filière du Laboratoire de pathokinésiologie de l'IRGLM par le chercheur principal du projet pendant une période de 5 ans suivant la fin du projet. Après cette période, l'ensemble des renseignements personnels des participants sera détruit. Quant aux documents et chiffriers électroniques associés à ce projet, ces derniers n'incluront aucune donnée permettant de vous identifier et seront conservés sur un réseau informatique sécurisé et à accès restreint par mot de passe à l'IRGLM.

Seuls les membres de l'équipe de recherche auront accès aux documents en papier ou en version électronique. Cependant, à des fins de contrôle du projet de recherche, votre dossier pourrait être consulté par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche des établissements du CRIR ou par l'Unité de l'éthique du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, qui adhère à une politique de stricte confidentialité.

**AUTORISATION D'UTILISER LES RÉSULTATS**

---

Vous acceptez que l'information recueillie puisse être utilisée pour fins de communication scientifique, professionnelle et d'enseignement. Il est entendu que lors de la présentation des résultats de ce projet de recherche, rien ne pourra permettre de vous identifier.

**INFORMATIONS CONCERNANT LE PROJET ET PERSONNES RESSOURCES**

On devra répondre, à votre satisfaction, à toute question que vous poserez à propos du projet de recherche auquel vous acceptez de participer. Pour toute information ou question, vous pourrez communiquer avec Cindy Gauthier, pht, M.Sc., candidate au doctorat et responsable du projet au par courriel à l'adresse : [REDACTED] ou, si elle est absente, avec Dany Gagnon, pht, Ph. D., co-directeur du laboratoire, au numéro de téléphone [REDACTED] ou par courriel à l'adresse : [REDACTED]

Si vous avez des questions sur vos droits et recours ou sur votre participation à ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Me Anik Nolet, coordonnatrice à l'éthique de la recherche des établissements du CRIR au ou par courriel à l'adresse : [REDACTED] Pour ces questions, vous pouvez aussi contacter le commissaire local aux plaintes de votre établissement.

**PARTICIPATION VOLONTAIRE ET RETRAIT DE VOTRE PARTICIPATION**

Il est entendu que votre participation au projet de recherche décrit ci-dessus est tout à fait libre et volontaire. Il est également entendu que vous avez le droit de refuser d'y participer ou que vous pourrez, à tout moment, mettre un terme à votre participation sans aucun préjudice et sans que cela n'affecte les services de santé auxquels vous aurez droit à l'IRGLM ou dans d'autres établissements. En cas de retrait de votre part, les données préalablement recueillies seront conservées de façon anonymisée par l'équipe de recherche à moins que vous nous demandiez de les détruire.

**CLAUSE DE RESPONSABILITÉ**

---

Il est entendu qu'en acceptant de participer à ce projet de recherche, vous ne renoncez à aucun de vos droits, ni ne libérez les chercheurs, les organismes subventionnaires et les institutions impliqués de leurs obligations légales et professionnelles.

**INDEMNITÉ COMPENSATOIRE**

---

Une indemnité compensatoire vous sera remise en contrepartie de votre participation au projet de recherche.

**CONSENTEMENT**

---

Je déclare avoir lu et compris le présent projet, la nature et l'ampleur de ma participation, ainsi que les risques auxquels je m'expose tels que présentés dans le présent formulaire. J'ai eu

l'occasion de poser toutes les questions concernant les différents aspects du projet de recherche et de recevoir des réponses à ma satisfaction.

Je, soussigné(e), accepte volontairement de participer à ce projet de recherche.

Je peux me retirer en tout temps sans préjudice d'aucune sorte. Je certifie qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre ma décision et je sais qu'une copie de ce formulaire figurera dans mon dossier médical.

- J'accepte d'être contacté (e) dans le futur par le même chercheur principal pour d'autres projets de recherche dans un domaine de recherche connexe :

non

oui (pour une durée d'un an) \*

oui (pour une durée de deux ans) \*

oui (pour une durée de trois ans) \*

\* Notez que si vous cochez l'une de ces trois cases, vos coordonnées personnelles seront conservées par le chercheur principal pour la période à laquelle vous avez consenti.

- J'accepte que les données recueillies au cours de ce projet de recherche soient utilisées pour d'autres publications scientifiques demeurant en lien (domaine de recherche connexe) avec le présent projet.

oui  non

Une copie signée de ce formulaire d'information et de consentement doit m'être remise.

\_\_\_\_\_  
Nom du participant

\_\_\_\_\_  
Signature

Fait à Montréal, le \_\_\_\_\_, 201\_\_.

**ENGAGEMENT DU CHERCHEUR**

Je, soussigné (e), \_\_\_\_\_, certifie

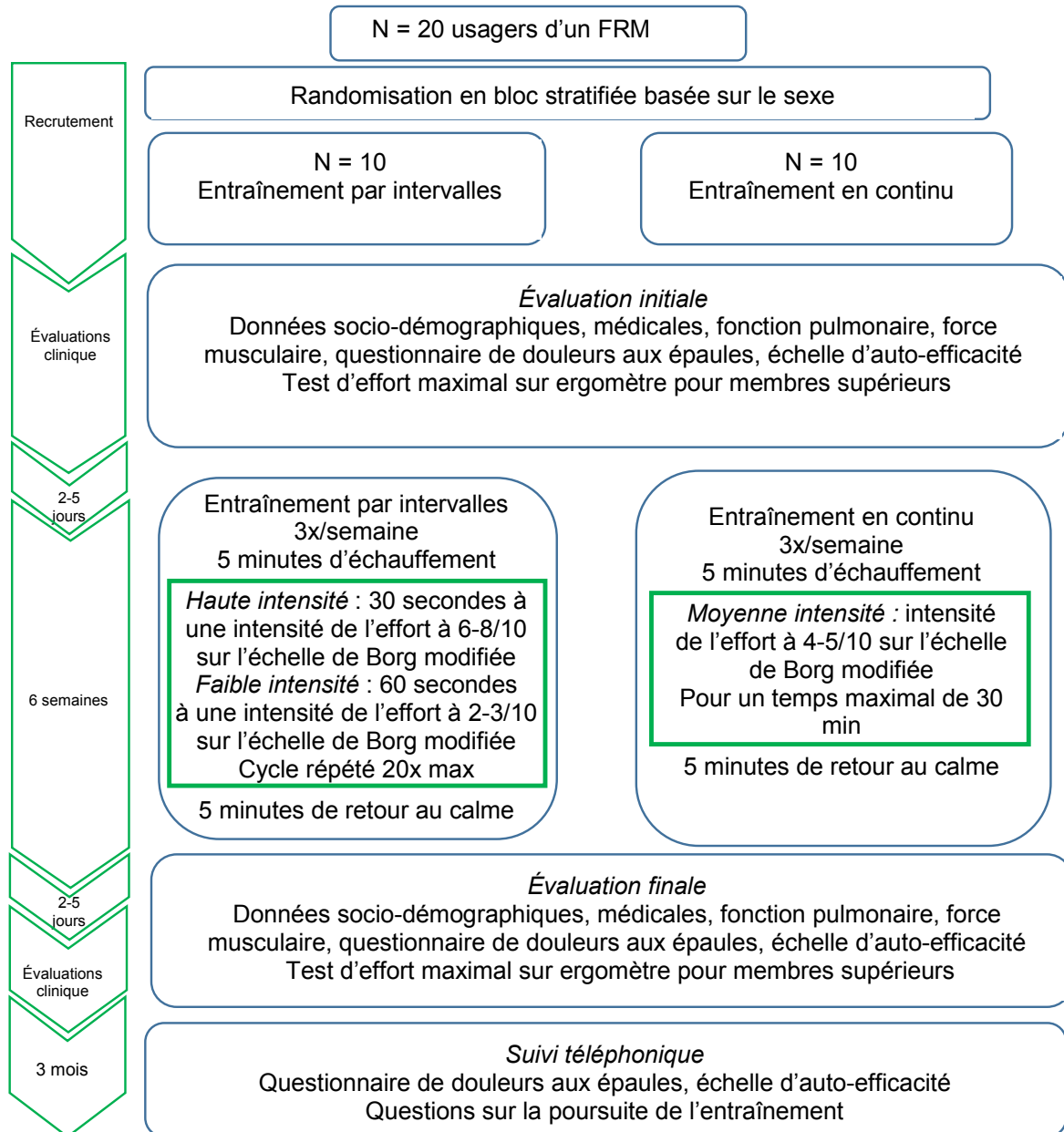
- (a) avoir expliqué au signataire les termes du présent formulaire;
- (b) avoir répondu aux questions qu'il m'a posées à cet égard;
- (c) lui avoir clairement indiqué qu'il reste, à tout moment, libre de mettre un terme à sa participation au projet de recherche décrit ci-dessus;
- (d) que je lui remettrai une copie signée et datée du présent formulaire.

\_\_\_\_\_  
Signature du responsable du projet ou de son représentant

Fait à Montréal, le \_\_\_\_\_, 201\_\_.

## Annexe

## COMPARAISON D'UN PROGRAMME D'ENTRAÎNEMENT CARDIORESPIRATOIRE PAR INTERVALLES OU EN CONTINU EN FAUTEUIL ROULANT MANUEL CHEZ DES USAGERS D'UN FAUTEUIL ROULANT MANUEL





## Annexe V : Journal de bord pour projet #3

### JOURNAL DE BORD D'ACTIVITÉ PHYSIQUE

SEMAINE :

#### ACTIVITÉ D'AÉROBIE

JOUR	TYPE D'ACTIVITÉ	DURÉE	INTENSITÉ
<b>Exemple</b>	- Ergocycle - Propulsion fauteuil roulant	30 minutes 20 minutes	Faible Modérée Élevée
<b>LUNDI</b>			
<b>MARDI</b>			
<b>MERCREDI</b>			
<b>JEUDI</b>			
<b>VENDREDI</b>			
<b>SAMEDI</b>			
<b>DIMANCHE</b>			

**Intensité faible** : facile; vous ne transpirez pas vraiment et votre respiration est normale; **Intensité modérée** : un peu dur; vous commencez à transpirer un peu, votre respiration devient un peu plus difficile et vous pouvez tenir une conversation mais vous ne pouvez pas chanter; **Intensité élevée**: dur; vous transpirez, vous êtes hors d'haleine et vous ne pouvez parler qu'en faisant des phrases courtes.

## ACTIVITÉ DE RENFORCEMENT MUSCULAIRE

JOUR	GROUPE MUSCULAIRE	SÉRIES	RÉPÉTITIONS	POIDS/ RÉSISTANCE	INTENSITÉ
<b>Exemple</b>	-Épaule -Biceps -Poitrine	3 3 2	12 10 12	5 lbs 15 lbs Élastique bleu	Faible Modérée Élevée
<b>LUNDI</b>					
<b>MARDI</b>					
<b>MERCREDI</b>					
<b>JEUDI</b>					
<b>VENDREDI</b>					
<b>SAMEDI</b>					
<b>DIMANCHE</b>					

## Annexe VI : Questionnaire pour projet #3

### Entraînement cardiorespiratoire en fauteuil roulant

*Questionnaire de satisfaction suite à la participation aux programmes d'entraînement*

### Bienvenue

Suite à votre participation au projet de recherche sur l'entraînement cardiorespiratoire en fauteuil roulant, nous vous invitons à prendre de 5 à 10 minutes de votre temps afin de compléter ce questionnaire de satisfaction sur le programme que vous avez effectué.

Votre opinion va nous aider à améliorer nos façons de faire et à proposer aux futurs participants une méthode d'entraînement qui soit la plus efficace possible.

Merci pour votre collaboration.

Dany Gagnon pht, Ph.D., Laboratoire de pathokinésiologie,  
CRIR - Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal,

\*\*\*\*\*

### Instructions afin de répondre aux questions

Pour chaque question, vous aurez à lire un énoncé puis à choisir le chiffre correspondant à votre réponse.

Veillez répondre à l'énoncé (exemple) suivant pour vous assurer que vous avez bien compris.

J'aime beaucoup jouer dehors en hiver

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

## Satisfaction générale

---

Après avoir lu l'énoncé suivant, veuillez indiquer votre niveau d'accord ou de désaccord.

1. De façon générale, je suis satisfait du programme d'entraînement cardiorespiratoire en fauteuil roulant que j'ai récemment complété à domicile avec supervision indirecte

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

2. Je recommanderais à d'autres personnes ayant une lésion de moelle épinière de participer au programme d'entraînement que j'ai récemment complété

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

## Programme d'entraînement

---

3. La durée totale du programme d'entraînement, qui s'échelonnait sur une période de 6 semaines, n'était pas trop contraignante considérant mes disponibilités

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

4. Le nombre de séances d'entraînement, qui est de 3 séances par semaine, est adéquat considérant mes disponibilités

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

5. La durée de chaque séance d'entraînement, qui est d'approximativement 40 minutes, est adéquate considérant mes disponibilités

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

6. La visite initiale à domicile d'une physiothérapeute et les suivis téléphoniques hebdomadaires étaient adéquats.

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

7. J'ai réussi à atteindre les niveaux d'effort recommandés pour le programme d'entraînement auquel j'ai été assigné.

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

### Bienfaits perçus sur ma santé

8. À la fin du programme d'entraînement, j'ai noté des changements généraux de mon état de santé.

1	2	3	4	5	6	7
Détériorations importantes	Détériorations modérées	Détériorations faibles	Pas de changement	Améliorations faibles	Améliorations modérées	Améliorations importantes

9. À la fin du programme d'entraînement, j'ai noté des changements au niveau de ma capacité cardiorespiratoire.

1	2	3	4	5	6	7
Détériorations importantes	Détériorations modérées	Détériorations faibles	Pas de changement	Améliorations faibles	Améliorations modérées	Améliorations importantes

10. À la fin du programme d'entraînement, j'ai noté des changements au niveau de la force musculaire de mes bras.

1	2	3	4	5	6	7
Détériorations importantes	Détériorations modérées	Détériorations faibles	Pas de changement	Améliorations faibles	Améliorations modérées	Améliorations importantes

11. À la fin du programme d'entraînement, j'ai noté des changements au niveau de mon endurance générale lors de mes activités quotidiennes.

1	2	3	4	5	6	7
Détériorations importantes	Détériorations modérées	Détériorations faibles	Pas de changement	Améliorations faibles	Améliorations modérées	Améliorations importantes

12. À la fin du programme d'entraînement, j'ai noté des changements dans la performance de mes activités quotidiennes.

1	2	3	4	5	6	7
Détériorations importantes	Détériorations modérées	Détériorations faibles	Pas de changement	Améliorations faibles	Améliorations modérées	Améliorations importantes

13. À la fin du programme d'entraînement, j'ai noté des changements au niveau de mon sommeil.

1	2	3	4	5	6	7
Détériorations importantes	Détériorations modérées	Détériorations faibles	Pas de changement	Améliorations faibles	Améliorations modérées	Améliorations importantes

## Risques perçus pendant l'entraînement

---

14. J'avais peur d'atteindre des intensités d'effort qui surpassent ma capacité

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

15. J'avais peur de provoquer ou d'accentuer des douleurs musculosquelettiques aux bras (c.-à-d. aux poignets, aux coudes ou aux épaules)

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total désaccord</b>						<b>Totalement d'accord</b>

16. J'avais peur de perdre l'équilibre ou de faire une chute

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total</b>						<b>Totalement</b>
<b>désaccord</b>						<b>d'accord</b>

### Motivation à poursuivre l'activité physique

17. À la fin du programme d'entraînement cardiorespiratoire en fauteuil roulant, j'avais l'intention de continuer le programme d'entraînement que j'avais commencé

1	2	3	4	5	6	7
<b>En total</b>						<b>Totalement</b>
<b>désaccord</b>						<b>d'accord</b>

### Commentaires

18. Si vous avez des commentaires généraux ou particuliers à nous faire part, veuillez utiliser l'espace ci-dessous.

L'équipe de recherche vous remercie d'avoir pris le temps de répondre à ce questionnaire.

-----

## Annexe VII : Preuve de soumission de l'article #3

---

### Submission Confirmation



---

Thank you for your submission

---

**Submitted to**  
Physical Therapy

**Manuscript ID**  
PTJ-2018-0052

**Title**  
Comparison of treadmill-based wheelchair propulsion and arm-crank ergometer incremental cardiorespiratory fitness tests among manual wheelchair users

**Authors**  
Gauthier, Cindy  
Brosseau, Rachel  
Arel, Jasmine  
Hicks, Audrey  
Gagnon, Dany

**Date Submitted**  
29-Jan-2018



## Annexe VIII : Preuve de soumission de l'article #4

---

### 8209360: Acknowledging Receipt

2 messages

28 septembre 2017 à 10:13

Dear Dr. Cindy Gauthier,

This is to inform you that your Research Article titled "Feasibility, safety and effectiveness of a home-based self-managed high-intensity interval training program offered to long-term manual wheelchair users" by Cindy Gauthier, Rachel Brosseau, Audrey L. Hicks and Dany Gagnon has been submitted to Rehabilitation Research and Practice by Dany Gagnon, and it has been assigned the manuscript number 8209360.

You will be receiving a copy of all the correspondence regarding this manuscript. However, only the submitting author will be able to upload any revisions to the Manuscript Tracking System.

In order to view the status of your manuscript, we have created an account for you in the journal's Manuscript Tracking System at <http://mts.hindawi.com/>, which you may access after resetting your password using the link below:

<http://mts.hindawi.com/reset.password/f4bc9d1f-f805-402f-aa94-f3c2a0960e05/>

Please feel free to contact me with any inquiries you may have.

Best regards,

--

\*\*\*\*\*  
Nancy Anis  
Editorial Office  
Hindawi  
<http://www.hindawi.com>  
\*\*\*\*\*

## **Annexe IX : Abrégés de communication publiés**

---

### **ABRÉGÉ #1**

6th National Spinal Cord Injury Conference (2014)

Toronto, 2-4 octobre 2014

Publié dans le recueil d'abrévés du congrès 6th National Spinal Cord Injury Conference

Présentation par affiche

## **Increased cardiorespiratory demands for overweight and obese manual wheelchair users with a spinal cord injury while propelling up slopes meeting Canadian building code requirements**

Cindy Gauthier, PT, MSc<sup>1,2</sup>, Murielle Grangeon, PhD.<sup>1,2</sup>, Ludivine Ananos, M.Sc. candidate<sup>1,2,3</sup>, Rachel Brosseau, MSc, PT<sup>2</sup>, Dany Gagnon, PT, PhD.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Pathokinesiology Laboratory, Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, Montreal, QC ([www.pathokin.ca](http://www.pathokin.ca)); <sup>2</sup>School of Rehabilitation, Université de Montréal, Montreal, QC; <sup>3</sup>University of Sport and Physical Activities, Université Paris Ouest, Nanterre la Défense, France

### **Background/Objectives:**

Many individuals with spinal cord injury (SCI) use a manual wheelchair (MW) for ambulation. Their sedentary lifestyle puts them at higher risk of obesity and cardiorespiratory diseases. However, little is known on the impact of overweight on the cardiorespiratory responses when propelling a MW in community. The objective of this study is to determine if body mass index (BMI) has an effect on cardiorespiratory responses when MW users with a SCI propel up slopes of different inclination angles at different speeds.

### **Methods/Overview:**

Thirteen MW users with a SCI (T6-T12; AIS A to C) completed 12 two-minute propulsion trials (3 speeds\*4 slopes) on a treadmill with their wheelchair, each separated by a two-minute rest period. Each trial was characterized by a specific slope (0, 2.7, 3.6 and 4.8) and a specific speed (0.6, 0.8 and 1.0m/s). Five key cardiorespiratory measures (heart rate, oxygen uptake (VO<sub>2</sub>), respiratory frequency, tidal volume, minute ventilation and respiratory ratio) were continuously recorded using a Cosmed K4b2 telemetry system and a Polar heart rate monitor. The BMI was calculated and the Physical Activity Scale for Individuals with Physical Disability (PASIPD) questionnaire was completed for each participant. Pearson correlation coefficients were used to quantify associations between BMI, PASIPD and cardiorespiratory measures.

### **Results:**

All participants attained a physiological plateau during the most intense loads, indicating

the maximal oxygen uptake ( $VO_{2max}$ ) may have been reached. This  $VO_{2max}$  was found to be negatively correlated with the BMI ( $r(13)=-0.73$ ,  $p<0.01$ ). Also, each submaximal loads represented greater relative effort on overweight ( $VO_2=43-92\%$  of  $VO_{2max}$ ) than on normal and underweight ( $VO_2=32-91\%$  of  $VO_{2max}$ ) MW users. A slope higher than 2.7 with a speed of 0.8m/s represented an intensity 80% of  $VO_{2max}$  in overweight MW users whereas this threshold was reached for the slopes of 3.6 and 4.8 at 0.8m/s and 1.0m/s in normal weight MW users. Finally, there were no correlations between the BMI, other cardiorespiratory measures and PASIPD score.

### **Conclusions:**

Manual wheelchair users with lower BMI have better cardiorespiratory capacity than those with the higher BMI. Propelling a MW over slopes represents a greater effort for overweight than for normal weight individuals. Therefore, maintaining a healthy BMI among MW users with a SCI should be encouraged to minimize relative cardiorespiratory demands and to optimize functional capacity and social participation.

**ABRÉGÉ #2**

4th joint meeting of ISCoS and ASIA (2015)

Montréal, 14-16 mai 2015

Publié dans le recueil d'abrégés du congrès 4th joint meeting of ISCoS and ASIA (S1P115)

Présentation par affiche

## VALIDITY OF A NEW TASK-SPECIFIC TREADMILL WHEELCHAIR PROPULSION TEST TO MEASURE CARDIORESPIRATORY FITNESS IN MANUAL WHEELCHAIR USERS

Cindy Gauthier, PT, MSc<sup>1,2</sup>, Jasmine Arel<sup>1,2</sup>, Rachel Brosseau, PT, MSc<sup>2</sup>, Murielle Grangeon, PhD<sup>1,2</sup>, Philippe Ménard PT<sup>1</sup>, Audrey L. Hicks, PhD<sup>3</sup>, Dany Gagnon, PT, PhD<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Pathokinesiology Laboratory, Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, Montreal, QC ([www.pathokin.ca](http://www.pathokin.ca)); <sup>2</sup>School of Rehabilitation, Université de Montréal, Montreal, QC; <sup>3</sup>Department of Kinesiology, McMaster University, Hamilton.

### Introduction

Cardiorespiratory fitness assessment remains challenging among manual wheelchair users (MWUs) with a spinal cord injury (SCI) while no task-specific standardized testing protocol is available to assess it during wheelchair propulsion on a motorized treadmill. This study aims to compare peak oxygen uptake ( $VO_{2peak}$ ) and heart rate ( $HR_{peak}$ ) values between a new task-specific treadmill wheelchair propulsion test ( $WPT_{Treadmill}$ ) and an arm crank ergometer test ( $ACT_{Ergometer}$ ) among MWUs with a SCI (i.e., convergent validity).

### Methods

Fifteen MWUs with a SCI (12males/3females; age=36.6±12.4yrs; AIS=A to D; Neurological level=C7-T12) completed a  $WPT_{Treadmill}$  and an  $ACT_{Ergometer}$ . During the  $WPT_{Treadmill}$ , participants continuously propelled their wheelchair on a motorized treadmill as the exercise intensity progressed every minute by increasing the slope (0°, 2.7°, 3.6°, 4.8° and 5.1°) and/or the speed (0.6, 0.8 and 1.0m/s) until exhaustion. During the  $ACT_{Ergometer}$ , participants continuously crank the ergometer as the resistance increased every minute by 10W until exhaustion. During both tests, cardiorespiratory responses were continuously recorded using a gaz analyzer system and a heart rate monitor to quantify  $VO_{2peak}$  and  $HR_{peak}$  respectively. Pearson correlation coefficients (r) and Bland-Altman plots determined respectively the strength of the association and the absolute agreement between outcome measures obtained during both tests.

### Results

Very good associations were found for the  $VO_{2peak}$  ( $r=0.83$ ,  $p<0.000$ ) and  $HR_{peak}$  ( $r=0.85$ ,  $p<0.000$ ) between the tests. Comparable absolute  $VO_{2peak}$  and  $HR_{peak}$  measures have been reached during both tests (mean differences:  $VO_{2peak}=220.4\pm 160.6$  mL/min and  $HR_{peak}=7.6\pm 7.4$  beats/min).

### **Conclusion**

The new task-specific treadmill wheelchair propulsion test is valid to assess cardiorespiratory fitness among MWUs with SCI.

**ABRÉGÉ #3**

World Confederation for Physical Therapy Congress 2015

Singapore, 1-4 mai 2015

Publié dans *Physiotherapy*, vol. 101, Supplement 1, p. eS448

Présentation orale



## **RELIABILITY AND MINIMAL DETECTABLE CHANGE OF A TASK-SPECIFIC TREADMILL WHEELCHAIR PROPULSION TEST TO MEASURE CARDIORESPIRATORY FITNESS IN MANUAL WHEELCHAIR USERS**

Cindy Gauthier, PT, MSc<sup>1,2</sup>, Jasmine Arel<sup>1,2</sup>, Rachel Brosseau, PT, MSc<sup>2</sup>, Philippe Ménard PT<sup>1</sup>, Audrey L. Hicks, PhD<sup>3</sup>, Dany Gagnon, PT, PhD<sup>1,2</sup>

### **Background:**

Many individuals who have severe sensorimotor impairments affecting their lower limbs and trunk with reduced walking ability will depend on a manual wheelchair for ambulation. These individuals need good upper limb strength and also good cardiorespiratory fitness to propel their wheelchair in the community. But When these individuals are admitted to rehabilitation following sometimes a long hospitalization period they are very deconditioned and have poor cardiorespiratory fitness. At that, physical therapists predominantly focus on upper limbs muscular strength and functional ability and little attention is specifically directed at cardiorespiratory fitness. The lack of specific and standardized assessments and training protocols for manual wheelchair users may explain this situation.

### **Purpose:**

So the purpose of our study was to measure test-retest reliability and minimal detectable change of a new task-specific treadmill wheelchair cardiorespiratory fitness test

### **Methods:**

Fifteen MWUs with sensorimotor impairments completed the treadmill wheelchair propulsion test on two occasions (T1 and T2) separated by 3 to 10 days. During the tests, participants had to continuously propel their wheelchair on a motorized treadmill. The exercise intensity was gradually increased every minute by changing the slope or the speed as described in the table here until exhaustion. Cardiorespiratory responses were continuously recorded using a Cosmed K4b<sup>2</sup> telemetry system and a Polar heart rate monitor during both tests. The outcome measures which were peak cardiorespiratory responses were averaged over a 30-second period during the last increment of the test.

Intra-class correlation coefficients (ICC) were calculated to determine test-retest reliability between measurements taken during the first (T1) and second session (T2) for each

outcome measure. Thereafter, the standard error of measurement using the difference between the two tests was calculated before determining the Minimal detectable change.

**Results:**

All participants reached a maximal intensity effort in an average of 9min42 and 9min09 which respect the recommended time of 8 to 12 minutes for a maximal exercise test. You can see on the left the average for some outcome measures.

For the main outcome measure, which is the peak oxygen uptake here the peak VO<sub>2</sub> the test-retest reliability coefficients calculated is excellent (ICC = 0.92) You can also see on the graph of peak oxygen uptake measured during both test that most of the points are near the trendline and that it is very closed to a perfect correlation. Also, the standard error of measurement is very low with 0,69 and the absolute and relative MDC<sub>90%</sub> were low as well with values of 1.60 mL\*kg<sup>-1</sup>\*min<sup>-1</sup> and 8.77%.

**Discussion:**

The new task-specific treadmill wheelchair propulsion test represents a safe, reliable, and precise test to assess cardiorespiratory fitness among MWUs. This test could be implemented in clinical and research settings to assess cardiorespiratory fitness. Finally Future studies will assess the validity (i.e., comparison with arm-crank ergometer test) and responsiveness (i.e., changes between rehabilitation admission and discharge).

**Implication:**

This study proposes a safe, reliable, and precise task-specific test for assessing the cardiorespiratory fitness of MWUs that can be useful in assessing change in performance over time and the impact of rehabilitation programs offered to MWUs.

**ABRÉGÉ #4**

Congrès québécois de recherche en adaptation-réadaptation

Rencontre des forces vives et de l'excellence en réadaptation physique

Boucherville, 21-22 mai 2015

Publié dans le recueil d'abrégés du Congrès québécois de recherche en adaptation-  
réadaptation

Présentation par affiche

## FIDÉLITÉ ET CHANGEMENT MINIMAL DÉTECTABLE D'UN TEST CARDIORESPIRATOIRE SPÉCIFIQUE À LA TÂCHE POUR LES USAGERS D'UN FAUTEUIL ROULANT MANUEL SUR UN TAPIS ROULANT MOTORISÉ

GAUTHIER, Cindy<sup>1,2</sup>; AREL, Jasmine<sup>1,2</sup>; BROSSEAU, Rachel<sup>2</sup>; GRANGEON, Murielle,<sup>1</sup>; MÉNARD, Philippe<sup>1</sup>; HICKS, Audrey L.<sup>3</sup>; GAGNON, Dany<sup>1,2</sup>.

1. Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation (CRIR), Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM), laboratoire de pathokinésiologie ([www.pathokin.ca](http://www.pathokin.ca))  
2. École de réadaptation, Université de Montréal. 3. Département de kinésiologie, McMaster University.

**Problématique:** La propulsion d'un fauteuil roulant manuel (FRM) nécessite, entre autres, une bonne condition cardiorespiratoire. Cependant, actuellement aucun test cardiorespiratoire standardisé et spécifique à la propulsion en FRM n'est disponible pour prendre en charge adéquatement celle-ci. **Objectif:** Mesurer la fidélité test-retest et le changement minimal détectable (CMD) d'un test cardiorespiratoire lors de la propulsion en FRM sur un tapis roulant motorisé (TRM). **Méthodologie:** Dix usagers d'un FRM (8 hommes; 2 femmes; âge:  $34.8 \pm 11.0$  ans; taille:  $1.77 \pm 0.07$  m; poids:  $64.7 \pm 13.0$  kg) ont complété le test en FRM sur TRM à deux occasions (T1 et T2) séparées par  $5 \pm 2$  jours. Durant ces tests, les participants devaient propulser de façon continue leur FRM sur le TRM. L'intensité de l'exercice était augmentée chaque minute en modifiant la pente ( $0^\circ$ ,  $2,7^\circ$ ,  $3,6^\circ$ ,  $4,8^\circ$  et  $5,1^\circ$ ) et/ou la vitesse (0,6, 0,8 et 1,0 m/s) jusqu'à l'obtention d'un effort maximal. Les réponses cardiorespiratoires étaient mesurées en continu pendant les tests à l'aide d'un appareil analyseur de gaz Cosmed K4b<sup>2</sup>. La moyenne des 30 dernières secondes du test a permis d'obtenir les valeurs de pointe de la consommation d'oxygène ( $VO_{2\text{pointe}}$ ), la fréquence respiratoire ( $FR_{\text{pointe}}$ ), le volume courant ( $V_{t\text{pointe}}$ ), la ventilation minute ( $VE_{\text{pointe}}$ ) et le quotient respiratoire ( $QR_{\text{pointe}}$ ). Les coefficients de corrélation intraclasse (CCI) ont été calculés pour déterminer la fidélité test-retest entre les mesures prises lors de T1 et T2. L'erreur standard de mesure (ESM) et le  $CMD_{90\%}$  ont été calculés. **Résultats:** Tous les participants ont fait un effort maximal (durée moyenne:  $9,73 \pm 2,15$  min). La fidélité test-retest était bonne à excellente ( $CCI=0,91-0,80$ ,  $p < 0.002$ ) sauf pour la  $FR_{\text{pointe}}$  ( $CCI=0,53$ ,  $p=0,05$ ) et le  $QR_{\text{pointe}}$  ( $CCI = -0,07$ ,  $p = 0,59$ ). Pour la  $VO_{2\text{pointe}}$  (ml/kg/min), le CCI était de 0,80  $p=0.002$  et le  $CMD_{90\%-\text{absolu}}$  était de 1.69 ml/kg/min ( $CMD_{90\%-\text{relatif}}=8.3\%$ ). **Discussion:** Le nouveau test cardiorespiratoire spécifique à la tâche de propulsion de FRM sur le TRM est sécuritaire, fidèle et précis. Une étude sur la validité (*c.-à-d.*, comparaison avec le test sur ergomètre pour membres supérieurs) du test est en cours.

Financement : Subvention du partenariat OPPQ-REPAR et bourse d'études doctorales des IRSC.

**ABRÉGÉ #5**

Congrès québécois de réadaptation 10<sup>e</sup> édition

Laval, 29-30 octobre 2015

Publié dans le recueil d'abrégés du Congrès québécois de réadaptation

Présentation par affiche

## DÉVELOPPEMENT D'UN PROTOCOLE D'ÉVALUATION DE LA CAPACITÉ CARDIORESPIRATOIRE SPÉCIFIQUE À LA TÂCHE POUR LES USAGERS D'UN FAUTEUIL ROULANT MANUEL SUR UN TAPIS ROULANT MOTORISÉ

Cindy Gauthier, Pht, MSc<sup>1,2</sup>, Murielle Grangeon, PhD.<sup>1,2</sup>, Ludivine Ananos, M.Sc.<sup>1,2,3</sup>, Rachel Brosseau, MSc, Pht<sup>2</sup>, Dany Gagnon, Pht, PhD.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de pathokinésiologie, Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal, Montréal, QC ([www.pathokin.ca](http://www.pathokin.ca)); <sup>2</sup>École de réadaptation, Université de Montréal

### Problématique :

Les individus ayant une atteinte sensorimotrice affectant leurs membres inférieurs et limitant leur capacité à la marche utiliseront majoritairement un fauteuil roulant manuel (FRM) pour se déplacer. La propulsion d'un FRM nécessite une force musculaire optimale des membres supérieurs ainsi qu'une bonne condition cardiorespiratoire. Ces qualités physiques sont grandement diminuées à l'admission en réadaptation fonctionnelle intensive suite au déconditionnement physique associé à la période d'hospitalisation. Le réentraînement à l'effort dès la phase de réadaptation est donc important. Cependant, les professionnels de la réadaptation ne disposent actuellement ni d'évaluation ni de protocole d'entraînement cardiorespiratoire standardisés et spécifiques à la propulsion en FRM pour prendre en charge adéquatement cette clientèle.

### Objectif :

Développer un protocole d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire lors de la propulsion en FRM à partir des normes de construction des rampes d'accès au Québec.

### Méthodologie :

Quatorze utilisateurs de FRM devaient compléter 12 paliers de 2 minutes de propulsion sur un tapis roulant motorisé. Chaque palier était caractérisé par une pente (0°, 2.7°, 3.6° and 4.8°) et une vitesse (0.6, 0.8 and 1.0 m/s) spécifique. Durant ce test, la consommation d'oxygène (VO<sub>2</sub>) était continuellement mesurée à l'aide d'un appareil analyseur de gaz Cosmed. Une analyse de régression linéaire entre la VO<sub>2</sub> de pointe moyenne obtenue et chacune des

combinaisons de pente et de vitesse a été effectuée afin d'établir une relation entre ces différentes variables.

Résultats :

L'équation de régression obtenue ( $VO_{2\text{prédit}}=2,899+6,803*\text{vitesse}+1,93*\text{pente}$ ;  $R^2 = 0,9986$ ) a permis de proposer un protocole continu d'évaluation de la capacité cardiorespiratoire à intensité progressive.

Conclusion :

Ce protocole met en relation la capacité cardiorespiratoire des individus et les exigences fréquemment rencontrées lors de la propulsion d'un FRM dans la communauté. Une évaluation de la fidélité et de la validité de ce protocole avec une population d'utilisateurs de FRM est en cours.

**ABRÉGÉ #6**

Journée scientifiques et Assemblées annuelles

La recherche intersectorielle en réadaptation : « Une valeur réelle pour le développement  
d'une société québécoise inclusive »

Québec, 17 mai 2016

Publié dans le recueil d'abrégés de la Journée scientifiques et Assemblées annuelles

Présentation par affiche



## Comparaison de la capacité cardiorespiratoire de nouveaux usagers d'un fauteuil roulant manuel admis en réadaptation avec celle d'usagers vivant dans la communauté

GAUTHIER, Cindy<sup>1,2</sup>; AREL, Jasmine<sup>1,2</sup>; BROSSEAU, Rachel<sup>2</sup>; GRANGEON, Murielle,<sup>1</sup>; MÉNARD, Philippe<sup>1</sup>; HICKS, Audrey L.<sup>3</sup>; GAGNON, Dany<sup>1,2</sup>.

1. Laboratoire de pathokinésiologie, Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation (CRIR), Installation Institut de réadaptation Gingras-Lindsay-de-Montréal (IRGLM), Centre intégré universitaire de santé et de services sociaux du Centre-Sud-de-l'Île-de-Montréal. 2. École de réadaptation, Université de Montréal. 3. Département de kinésiologie, McMaster University.

**Problématique:** La majorité des nouveaux usagers d'un FRM admis en réadaptation fonctionnelle intensive (RFI) ont été exposés au déconditionnement lors de leur hospitalisation. Leur capacité cardiorespiratoire pourrait être diminuée et interférer avec leur capacité à s'engager pleinement dans leur RFI. **Objectif:** Comparer la capacité cardiorespiratoire de nouveaux usagers d'un FRM en RFI avec celle d'usagers vivant dans la communauté. **Méthodologie:** Neuf usagers d'un FRM en RFI (âge: 37.5±13.6 ans; taille: 1.75±0.06 m; poids: 71.0±17.2 kg) et onze usagers vivant dans la communauté (âge: 37.7±17.0 ans; taille: 1.77±0.08 m; poids: 72.1±11.5 kg) ont complété un test d'effort cardiorespiratoire maximal en FRM sur un tapis roulant motorisé. Durant ce test, les participants devaient propulser leur FRM de façon continue sur le tapis roulant. L'intensité de l'exercice était augmentée chaque minute en modifiant la pente (0°, 2.7°, 3.6°, 4.8° et 5.1°) et/ou la vitesse (0.6, 0.8 et 1.0 m/s) jusqu'à l'obtention d'un effort maximal. Les réponses cardiorespiratoires étaient mesurées en continu à l'aide d'un analyseur de gaz Cosmed K4b<sup>2</sup>. La valeur de pointe de la consommation d'oxygène (VO<sub>2</sub>pointe) a été déterminée comme étant la moyenne sur 20 secondes la plus élevée. Après confirmation de la normalité de la distribution des variables, un test de T-Student a permis de comparer les deux groupes. **Résultats:** Les nouveaux usagers d'un FRM en RFI atteignent une VO<sub>2</sub>pointe équivalente aux usagers vivant dans la communauté (VO<sub>2</sub>pointe=15.7±4.6 vs 20.2±5.9 ml/min/kg, p=0.082). Cependant, ils atteignent leur capacité maximale à un effort d'intensité plus faible (paliers atteints =7.3±2.2 vs 9.8±2.1, p=0.019) et plus rapidement (durée du test =7.5±2.1 vs 9.9±2.1 min, p=0.023) que les usagers vivant dans la communauté. **Conclusion :** Les nouveaux usagers d'un FRM en RFI performant moins bien que les usagers vivant dans la communauté au test d'effort cardiorespiratoire, car ils se fatiguent plus rapidement et leur VO<sub>2</sub>pointe tend à être plus faible. Un programme d'entraînement visant l'amélioration de la capacité cardiorespiratoire pourrait être bénéfique durant la RFI.

Financement : Subvention du partenariat OPPQ-REPAR et bourse d'études doctorales des IRSC.