

Réponses cardiorespiratoires lors d'épreuves d'effort pour les personnes utilisant un fauteuil roulant manuel : étude exploratoire chez les sujets sains

Par :

Véronique Alix :

Protocole d'effort progressif sur tapis roulant, sujet sains utilisant un fauteuil roulant manuel

Anne-Marie Dufort :

Protocole standardisé d'effort progressif sur tapis roulant, sujets sains marcheurs

Cindy Fleurent :

Protocole standardisé d'effort progressif sur ergomètre pour membres supérieurs, sujets sains utilisant un fauteuil roulant manuel

Martin Gagnon :

Protocoles standardisés d'effort sous maximal et soutenu : test de marche de six minutes, sujets sains marcheurs et test de propulsion manuelle de six minutes en fauteuil roulant, sujets sains utilisant un fauteuil roulant manuel

Supervisés par :

Mme Rachel Brosseau, pht, MSc et M. Dany Gagnon, pht, PhD

Dans le cadre du cours PHT-6113

École de Réadaptation

Faculté de Médecine

Université de Montréal

31 mai 2012

Table des matières

Abrégé.....	3
Section 1 - Introduction	
1.1 Contexte.....	4
1.2 Épreuves d'effort cardiorespiratoire.....	7
1.3 Réponses normales à l'exercice.....	12
1.4 Différences entre les genres.....	13
Section 2 - Méthodologie	
2.1 Objectifs.....	16
2.2 Hypothèses.....	16
2.3 Mode et contexte d'évaluation.....	16
2.4 Évaluateurs.....	17
2.5 Description des sujets.....	17
2.6 Variables d'intérêt (avec quel outil et à quel moment)	19
2.7 Instruments de mesures	
2.7.1 Système Cosmed K4b ²	19
2.7.2 Émetteur Polar wearlink.....	20
2.7.3 Sphygmomanomètre Suntech 247.....	21
2.7.4 Oxymètre de pouls Nonin 8500M.....	23
2.7.5 Échelle de perception de la difficulté de l'effort (RPE).....	24
2.8 Sélection du fauteuil roulant.....	25
2.9 Sélection des instruments de mesure spécifiques.....	26
2.10 Analyse des résultats (variables d'intérêt).....	26
Section 3 – Justification des tests, description des protocoles et résultats	
3.1 Protocole standardisé d'effort progressif sur tapis roulant, sujets sains marcheurs.....	27
3.2.1 Protocole standardisé d'effort sous maximal et soutenu : test de marche de six minutes, sujets sains marcheurs.....	39
3.2.2 Protocole d'effort sous-maximal et soutenu : test de propulsion manuelle de six minutes en fauteuil roulant, sujets sains utilisant un fauteuil roulant manuel.....	49
3.3 Protocole d'effort progressif sur tapis roulant, sujet sains utilisant un fauteuil roulant manuel.....	57
3.4 Protocole standardisé d'effort progressif sur ergomètre pour membres supérieurs, sujets sains utilisant un fauteuil roulant manuel.....	67
Section 4 - Discussion	
4.1 Comparaison des résultats.....	78
4.2 Limites de l'étude.....	82
Section 5 - Conclusion	
5.1 Retour sur les objectifs et hypothèses généraux.....	84
5.2 Retombées et implications cliniques	85
5.3 Contributions et remerciements.....	86
Section 6 - Références.....	87
Section 7 - Annexes	
7.1 Q-APP.....	94
7.2 Tableaux résumés des protocoles recensés.....	95
7.3 Description des protocoles.....	113
7.4 Collecte de données.....	141

Abrégé

Introduction : L'avènement d'une lésion médullaire (LM) a un impact majeur au niveau de plusieurs systèmes dont le système cardiorespiratoire. Des protocoles d'évaluation standardisés pour mesurer la capacité aérobie existent, mais sont peu utilisés en physiothérapie pour une clientèle utilisatrice de fauteuil roulant manuel (FRM).

Objectifs : Les objectifs principaux sont d'évaluer et de comparer les réponses cardiorespiratoires à différents tests d'effort chez des individus en bonne santé et de proposer des modifications à ces protocoles afin de sélectionner la ou les évaluation(s) optimale(s) pour une clientèle blessée médullaire utilisatrice de FRM.

Méthodologie : Deux sujets sains ont complété cinq épreuves d'effort différentes à deux occasions à l'intérieur d'une période de sept jours. Deux tests d'effort sous-maximal et soutenu, soit le test de marche de six minutes (6MWT) et le test de propulsion manuelle de six minutes en fauteuil roulant (6WPT), et trois tests d'effort maximal et progressif, soit le protocole de Bruce (PB), l'ergomètre des membres supérieurs (EMS's) et le fauteuil roulant sur tapis roulant (FRTR) ont été complétés. Les réponses cardiorespiratoires, incluant le VO_2 et la fréquence cardiaque (FC), ont été mesurées à l'aide du Cosmed K4b² et d'autres outils de mesure.

Résultats : Le PB a généré le VO_2 et la FC les plus élevés. L'EMS's est celui ayant le VO_2 de pointe le plus élevé comparativement au FRTR et au 6WPT. Finalement, les réponses cardiorespiratoires du 6WPT sont comparables à celles du 6MWT.

Conclusion : À l'exception du VO_2 de pointe, le 6WPT, l'EMS's et le FRTR entraînent des réponses cardiorespiratoires similaires. Il est suggéré aux physiothérapeutes d'utiliser le 6WPT chez les individus ayant une LM puisqu'il est facilement reproductible et requiert peu d'équipements.

Section 1 – Introduction

1.1 Contexte

Chaque année, plus de 4300 nouveaux cas de lésions médullaires⁽¹⁾ (LM) sont relevés au Canada. En moyenne, ces individus passent près de 44 jours en réadaptation fonctionnelle intensive suite à la LM.⁽²⁾ Pendant cette phase, les physiothérapeutes et ergothérapeutes travaillent à rééduquer la personne pour qu'elle gagne le plus d'autonomie et ce, le plus rapidement possible. Ainsi, la fonction est actuellement au centre de leur traitement quoique ces individus bénéficieraient d'un entraînement cardiorespiratoire. En effet, le niveau de condition physique est négativement associé à la survenue de complications après le congé de la réadaptation.⁽³⁾ De plus, les maladies cardiorespiratoires sont l'une des principales causes de morbidité et de mortalité chez les gens ayant une LM.⁽⁴⁻⁶⁾ Par conséquent, il est important que les physiothérapeutes incluent rapidement un entraînement cardiorespiratoire dans le traitement de ces individus, puisqu'il est démontré que les résultats sont générés principalement dans les phases précoces de la réadaptation comparativement aux phases subséquentes.⁽⁷⁾ De plus, l'exercice physique démontre une habileté à augmenter le niveau d'activités, la satisfaction personnelle et la santé.⁽⁸⁾ La compréhension du modèle du processus de production du handicap permet de consolider l'importance de diminuer les déficiences afin de limiter les incapacités fonctionnelles potentiels associées et optimiser la participation sociétale.⁽⁹⁾ Le maintien d'une déficience cardiorespiratoire a donc un lien direct avec le potentiel de réadaptation du patient en rééducation fonctionnelle intensive.⁽⁹⁾ Présentement, peu de tests cardiorespiratoires chez cette clientèle sont décrits dans la littérature et ils sont également peu utilisés en clinique. Il devient donc essentiel que la recherche s'intéresse à développer un test cardiorespiratoire facilement applicable en clinique pour les usagers d'un fauteuil roulant manuel (FRM) ainsi qu'à quantifier ses qualités psychométriques. Un test qui permettrait l'élaboration d'un programme d'exercices adéquat afin d'optimiser l'entraînement de ces individus.

Des 4300 nouveaux cas de LM⁽¹⁾ se présentant au Canada chaque année, 51%⁽¹⁾ des blessures sont de cause traumatique dont 81% surviennent chez des hommes. Au Québec, 58% des LM traumatiques sont causées par des accidents de la route.⁽¹⁰⁾ Les LM non-traumatiques sont principalement causées par l'infection de cellules nerveuses, des tumeurs ou une condition congénitale telle le spina bifida. Elles représentent 49% des cas de LM. La cause de décès la plus fréquente chez les blessés médullaires est associée à des atteintes du système dont la prévalence est de 30 à 50% comparativement à celle des sujets sains qui est de 5 à 10%.⁽⁴⁾ Les impacts relatifs à l'inactivité, secondaire à la LM, sont importants et peuvent devenir

un obstacle à la réadaptation. Il est donc important d'implanter des habitudes de vie où l'exercice est prédominant afin de diminuer le risque de maladie cardiovasculaire.^(4, 8, 11) Ces habitudes de vie diminueront également les complications secondaires associées à l'inactivité telles que le diabète de type 2, l'hypertension artérielle, le mauvais profil lipidique, l'obésité et l'ostéoporose. Soixante-six à 75%⁽¹²⁾ des individus nouvellement atteint d'une LM devront utiliser un fauteuil roulant pour leurs déplacements. Ainsi, une forte prévalence à la sédentarité chez ces individus est notée démontrant les bienfaits d'un d'entraînement cardiorespiratoire afin de pallier aux conséquences d'un mode de vie sédentaire puisque cette clientèle passe en moyenne huit heures par jour en fauteuil roulant.⁽¹³⁾

La LM a un impact majeur sur beaucoup de systèmes. Plusieurs auteurs notent des complications telles de la douleur, des problèmes neuromusculaires, des troubles de thermorégulation, des contractures et atrophies musculaires, des déséquilibres métaboliques, de l'ostéoporose et des troubles de la peau (plaies).⁽¹³⁾ Malgré ces multiples complications, la catégorie la plus importante demeure la complication cardiorespiratoire.⁽¹³⁻¹⁵⁾ Les effets à plus long terme d'une LM sont la douleur cardiogénique, la diminution du réflexe d'accélération cardiaque et l'atrophie ventriculaire.⁽¹⁴⁾ S'il y a atteinte de l'innervation de différents muscles dont le diaphragme (C3-C5), les intercostaux (C8-T12) et les abdominaux (T5-T12), qui sont des muscles respiratoires, ceci entraîne différentes complications dépendamment du niveau et de la sévérité de la lésion.⁽¹⁶⁾ Une diminution de la force et la fatigue de ces muscles⁽¹⁶⁾ amènent une diminution de l'excursion du diaphragme, de la compliance thoracique et pulmonaire ainsi qu'une ventilation diminuée.⁽¹⁷⁾ Les LM supérieures à T6 ont un impact sur le système sympathique, entre autre au niveau cardiovasculaire et pulmonaire, dont la dysréflexie autonome (DA) qui est la manifestation la plus courante.⁽¹⁸⁾ Une élévation de la tension artérielle (TA) et une bradycardie (parfois tachycardie) sont les principaux signes cliniques d'une DA. Plus la lésion est haute (>T6) et complète (vs incomplète), plus les manifestations cliniques de la DA sont sévères.⁽¹⁸⁾ L'innervation sympathique cardiaque et pulmonaire est préservée pour les lésions sous T6 alors qu'en haut de T1, il y a absence du contrôle cérébral sur le système sympathique. Un absence de ce contrôle entraîne au niveau respiratoire une augmentation des sécrétions, un bronchospasme et de l'œdème pulmonaire.⁽¹⁶⁾ Au niveau cardiaque, la TA est diminuée de 15 à 20 mmHg au repos comparativement à celle d'un sujet sain.⁽¹⁸⁾ Une absence de sudation sous le niveau de la lésion, en lien avec l'atteinte sympathique, est également rapportée.

La condition cardiorespiratoire fragilisée entraîne des répercussions dans la fonction ainsi que dans la qualité de vie de la personne ayant subi une LM. Les impacts sont conséquents du niveau et de la sévérité de la lésion et se manifestent dans les transferts, la mobilité au lit, les déplacements et la réalisation des AVQ/AVD.⁽¹³⁾ Certains auteurs notent qu'une bonne endurance cardiorespiratoire amène moins de complications et un plus grand degré d'indépendance fonctionnelle⁽¹⁹⁾ ainsi qu'une meilleure qualité de vie.^(20, 21) D'autres, pour leur part, ont prouvé que lorsque la fonction augmente, le risque de dépression et la sévérité de la perception des douleurs diminuent.⁽¹²⁾ De plus, selon ces mêmes auteurs, une augmentation significative de la qualité de vie est en lien avec une augmentation de la capacité à marcher.⁽¹²⁾ Ceci démontre qu'un gain fonctionnel secondaire à un entraînement cardiorespiratoire amène une meilleure qualité de vie. Les personnes atteintes d'une LM peuvent augmenter significativement leur sensation de bien-être en participant à un programme d'entraînement structuré.⁽²²⁾ Ainsi, l'activité physique peut et devrait être utilisée comme modalité d'évaluation et de traitement pour améliorer à la fois la condition physique et le bien-être psychologique de cette clientèle.⁽²²⁾

L'élaboration d'une évaluation de qualité amènerait des bénéfices importants pour les individus ayant subi une LM utilisateurs de fauteuil roulant. Afin d'effectuer une prescription adéquate, optimale et sécuritaire à la pratique d'un exercice chez cette clientèle, les professionnels de la santé se doivent, en premier lieu, de bien évaluer les conditions cardiorespiratoire et physique de leur patient. Il existe de nombreuses façons d'évaluer la fonction cardiovasculaire dont les questionnaires permettant d'obtenir une auto-perception. Des mesures objectives sont plus significatives et intéressantes cliniquement puisqu'elles permettent de mesurer la tolérance à l'effort. Des épreuves telles le test de Cooper de 12 minutes modifié, l'ergocycle des membres supérieurs, le multistage field test⁽²³⁾ ou les épreuves sur tapis roulant sont des modalités connues de la littérature, mais peu utilisées. À cet effet, lors du choix d'un protocole d'effort (maximal ou sous-maximal), le clinicien doit s'assurer de sélectionner une épreuve standardisée qui tient compte des considérations particulières de la clientèle chez qui le test est administré. Dans cet ordre d'idée, l'objectif général de ce projet s'articule principalement autour de l'application d'évaluations cardiorespiratoires chez des sujets sains afin d'y apporter les modifications nécessaires pour une clientèle utilisatrice d'un fauteuil roulant. Ainsi, cette étude exploratoire permettra de faciliter la sélection de la ou des évaluation(s) cardiorespiratoire(s) optimale(s) chez une clientèle ayant subi une LM. Avant de débiter, des

généralités seront présentées telles que les types d'effort cardiorespiratoire et les réponses normales aux exercices afin de permettre une meilleure compréhension des résultats.

1.2 Épreuves d'effort cardiorespiratoire

1.2.1 Épreuve d'effort maximal

Afin d'évaluer la condition cardiovasculaire d'un individu, la consommation maximale d'oxygène ($VO_2\text{max}$) est la mesure étalon utilisée.^(24, 25) Le $VO_2\text{max}$ est une mesure fidèle et valide et est atteint lorsque la plus grande partie de la masse musculaire disponible est activée, par exemple lors d'un exercice de course sur tapis roulant.⁽²⁵⁾ Il correspond au produit du débit cardiaque maximal (Q en L/min) et de la différence artério-veineuse ($(a-v)O_2$ en ml d' O_2/L) : $VO_2\text{max} = Q \times (a-v)O_2$ ⁽²⁴⁾ et peut s'exprimer en ml/min, en L/min ou en fonction du poids corporel, soit en ml/kg.min. La consommation maximale d'oxygène d'un individu est dépendante de son âge, de son genre, de ses incapacités et de sa forme physique. Elle dépend aussi du mode d'exercice et du type de protocole utilisés pour l'évaluer.⁽²⁶⁾

La consommation maximale d'oxygène peut être mesurée directement par un appareil ou elle peut être estimée par des protocoles d'effort maximal.⁽²⁴⁾ La mesure directe se fait à l'aide d'un masque en mousse sans latex, comme celui du Cosmed K4b², ou à l'aide d'une valve à faible résistance dans laquelle le sujet respire tout en ayant le nez occlus alors que la ventilation pulmonaire et les fractions de gaz expirés (O_2 et CO_2) sont mesurées. La plupart des différents systèmes sont portatifs et doivent être calibrés afin d'obtenir des résultats exacts. De plus, l'administration des tests et leur interprétation doivent être faites par un professionnel expérimenté. Cependant, cet équipement est coûteux, prend beaucoup d'espace et demande un personnel qualifié. C'est pourquoi la mesure directe du $VO_2\text{max}$ est surtout réservée pour le domaine de la recherche.⁽²⁴⁾ Quant aux protocoles d'effort maximal, certains ont une valeur de $VO_2\text{max}$ estimé, par une équation de régression, très bien corrélée avec la valeur de $VO_2\text{max}$ mesuré, comme pour le protocole de Bruce ($r = 0.96$).⁽²⁷⁾

Plusieurs études récentes suggèrent que le temps optimal d'un protocole d'effort maximal soit entre huit et 12 minutes afin d'obtenir l'estimation la plus exacte de la capacité à l'effort. Ainsi, la fatigue ne limite pas l'atteinte du $VO_2\text{max}$ et l'habileté du protocole d'effort à prédire le VO_2 est augmentée.^(24, 28) Cependant, une étude de Midgley et al. (2008)⁽²⁹⁾ suggère que cette durée n'est pas adaptée à tous les types d'exercice. Bien qu'ils ne démontrent pas leur démarche consistant aux choix des études sélectionnées pour leur analyse, ils concluent

que le VO_2 max peut être mesuré par des épreuves allant de sept à 26 minutes sur un ergocycle et de cinq à 26 minutes sur un tapis roulant. Ces recommandations sont dépendantes d'un échauffement adéquat précédant les épreuves de courte durée et de certaines conditions en lien avec les grades pour l'augmentation de l'intensité sur le tapis roulant. De plus, l'une des recommandations des différentes lignes directrices est qu'un protocole d'effort doit être individualisé au patient testé et à l'objectif du test.⁽³⁰⁾

Lors d'épreuve d'effort maximal, les critères permettant de déterminer l'atteinte du VO_2 max sont l'atteinte de la fréquence cardiaque (FC) maximale prédite ($FC_{\text{max prédite}} = 220 - \text{âge} \leq 10 \text{ bpm}$ ou $\leq 5\%$ de la $FC_{\text{max prédite}}$) et/ou une FC qui n'augmente plus avec une augmentation de l'intensité de l'effort (plateau) et un ratio des équivalents respiratoires (RER) de 1.10 ou 1.15.⁽³¹⁾

1.2.1.1 Épreuve d'effort discontinu vs continu

Les épreuves d'effort maximal peuvent être de type discontinu ou continu. Les protocoles de type discontinu consistent en des périodes d'effort de quelques minutes avec une augmentation de la charge à chaque période d'effort entre lesquelles des périodes variables de repos sont incluses.⁽³²⁾ Ces dernières permettent une prise adéquate des réponses physiologiques à l'effort telles la TA sans bruit environnant.⁽³³⁾ Il semble que ce type de protocole soit préconisé pour les études physiologiques.⁽³²⁾ Finalement, Wezenberg et al. (2012)⁽³³⁾ suggèrent que la diminution de la pression intramusculaire pendant les périodes de repos permet une meilleure élimination des métabolites, réduisant ainsi la sensation de fatigue locale. Une épreuve de type continu consiste en un effort progressif par une augmentation graduelle de l'intensité jusqu'à l'obtention du VO_2 max. Elle peut être de deux types : en rampe et par paliers.

1.2.1.2 Test d'effort maximal de type continu : en rampe vs par paliers

Les protocoles standards, comme les protocoles de Bruce ou de Balke, sont des protocoles par paliers progressifs d'une durée de deux ou trois minutes. Pour les premiers paliers, le VO_2 augmente jusqu'à l'atteinte de l'état stable et plus l'intensité de l'effort augmente, plus celle-ci devient trop élevée pour que l'état stable soit atteint. Le VO_2 augmente alors de façon plus linéaire dans les derniers paliers avec l'augmentation de l'effort jusqu'à l'atteinte du VO_2 max.⁽³⁴⁾ Il a été démontré que ces protocoles ont une augmentation de la charge de travail trop grande et inégale entre les paliers, ce qui résulte en une estimation moins exacte de la capacité à l'effort.⁽³⁰⁾ Ainsi, ces types de protocole ont pour limites une tendance à surestimer la

capacité à l'effort, d'être des tests moins fidèles pour étudier les effets d'une thérapie et d'avoir une plus faible sensibilité à détecter une maladie coronarienne.^(26, 30, 35) Ils ont aussi le désavantage d'avoir des changements de la réponse physiologique à l'effort moins uniformes.⁽²⁴⁾ Cependant, un protocole avec de grandes augmentations de charge est utile pour l'évaluation de sujets jeunes ou physiquement actifs alors qu'un protocole avec de plus petites augmentations est préférable pour les personnes âgées ou déconditionnées ou les patients avec maladie chronique.⁽²⁴⁾

En comparaison avec les protocoles standards par paliers progressifs, un protocole en rampe permet d'obtenir une augmentation linéaire de la charge de travail, de la consommation d'oxygène (VO_2) et des changements plus uniformes de la réponse physiologique à l'effort.^(26, 36) Ce type de protocole est réalisable puisque l'augmentation de la charge de travail à chaque minute, soit la vitesse et la pente sur un tapis roulant ou la résistance sur un ergomètre, peut se faire de façon constante et continue et peut même être individualisée en fonction des capacités du patient.⁽³⁰⁾ Les épreuves progressives en rampe sont une méthode populaire cliniquement et elles ont remplacé les épreuves d'effort discontinu.⁽³¹⁾

1.2.2 Test d'effort sous-maximal

En clinique, les physiothérapeutes peuvent utiliser les tests d'effort sous-maximal pour estimer la capacité fonctionnelle de leurs patients et évaluer leur tolérance à l'effort. Le VO_2 max est estimé à partir de la réponse de la FC au test. De plus, il est basé sur plusieurs hypothèses dont l'atteinte d'un état stable de la FC pour chaque niveau d'effort à une charge de travail donnée et l'existence d'une relation linéaire entre la FC et la charge de travail.⁽²⁴⁾ Ce type d'épreuve est utilisé pour les évaluations au congé de patients post-infarctus du myocarde, pour des patients avec désordres neurologiques ou orthopédiques et qui ont un statut cardiovasculaire incertain et pour des patients qui ont un risque élevé d'arythmies sérieuses.⁽³⁵⁾ Ils sont aussi utiles pour faire une prescription d'exercices appropriée et pour reconnaître le besoin de changer la médication du patient ou le besoin d'autres investigations.⁽³⁵⁾ Un exemple de test d'effort sous-maximal et soutenu est le test de marche de six minutes qui est largement utilisé et validé avec plusieurs clientèles. Plusieurs paramètres sont monitorés au cours de ces épreuves dont au minimum la FC, la TA et la perception de la difficulté de l'effort (RPE).⁽²⁴⁾ Le test doit être arrêté lorsque le sujet atteint 70% de la FC de réserve (FCR) ou 85% de la FC_{max} prédite par l'âge ($220 - \text{âge}$), ne fait pas le test de façon conforme au protocole, a des signes et

symptômes d'intolérance à l'exercice, demande d'arrêter ou se retrouve en situation d'urgence.⁽²⁴⁾

1.2.3 Modes d'activité

Il existe différents modes de test pour les différents protocoles d'effort, soit les tests de terrain, les tests sur tapis roulant, les tests sur ergomètre des membres supérieurs (MS's) ou des membres inférieurs (MI's) et les tests sur step.⁽²⁴⁾ Les tests de terrain sont surtout des tests maximaux et ils ont le désavantage de ne pas pouvoir monitorer la FC et la TA durant l'exercice, en plus de demander une certaine habileté de la part du sujet qui exécute le test. Ils ne sont pas appropriés pour une clientèle sédentaire ou pour les individus à risque de complications cardiovasculaires ou musculosquelettiques.⁽²⁴⁾ Des adaptations aux différents tests ont été proposées pour permettre l'utilisation de ces tests à une clientèle blessée médullaire, comme par exemple le multistage field test (MFT) par Vanderthommen et al., le test de Cooper de 12 minutes modifié, le test de navette sur 25 mètres par Vanlandewijck et al. et un test de terrain progressif sur une piste de 400 mètres par Vinet et al..⁽²³⁾

Les protocoles sur tapis roulant peuvent être utilisés pour des épreuves d'effort sous-maximal et maximal et aussi comme tests diagnostiques. Le VO_2 max estimé par ce type d'effort est environ 10 à 20% plus élevé et la FC_{max} est 5 à 20% plus élevée que lors d'un test sur ergomètre des MI's étant donné la plus grande masse musculaire utilisée pour effectuer l'exercice.⁽³⁵⁾ De plus, il n'est pas permis de se tenir sur les barres du tapis roulant, car cela peut causer une surestimation du VO_2 max, des artéfacts sur l'électrocardiogramme (ECG) et prolonger le test.⁽³⁵⁾ Pour ce mode d'exercice, des adaptations ont aussi été faites pour les sujets atteints d'une LM. Entre autre, des tests de propulsion en fauteuil roulant sur tapis roulant ou sur rouleaux, ou même sur fauteuil roulant ergomètre⁽³⁷⁾ sont disponibles et ont l'avantage d'être comparables à des tâches de la vie quotidienne, mais requièrent un équipement spécialisé.⁽⁸⁾

Les tests sur ergomètres (des MS's ou MI's) servent aussi d'épreuves d'effort sous-maximal et maximal. Cependant, l'ergomètre est une modalité d'exercice moins familière et est souvent limitée par la fatigue musculaire qui se présente avant la fatigue cardiorespiratoire. Ce type d'exercice ne requiert pas de mise-en-charge et il est facile d'ajuster l'appareil pour de petites augmentations de la charge de travail, ce qui sont des avantages.⁽²⁴⁾ Un ergomètre pour MS's est principalement utilisé avec une clientèle qui a des limitations aux MI's qui pourraient empêcher un effort sur le tapis roulant ou sur l'ergomètre pour MI's.⁽³⁵⁾ De plus, la capacité

maximale des sujets est diminuée par rapport aux autres modes puisqu'une plus petite masse musculaire est utilisée alors le VO_2 max mesuré est plus petit. Toutefois, pour un VO_2 donné, la FC et la TA seront plus élevées pour un effort avec les MS's comparativement à un exercice avec les MI's.⁽³⁶⁾ Finalement, pour la clientèle blessée médullaire, il est préférable de monitorer les réponses métaboliques à l'exercice pour obtenir le VO_2 de pointe réel avec des épreuves d'effort maximal en rampe puisqu'aucune équation de prédiction du VO_2 max n'est validée.⁽⁸⁾

1.2.4 Recommandations générales pour les épreuves d'effort

Avant de débiter quelconque test, des instructions explicites doivent être données aux patients. Lorsque possible, des instructions écrites avec l'explication de l'évaluation devraient être remises avant le rendez-vous pour le test afin qu'ils puissent s'y préparer adéquatement. Voici les principaux points généraux qui devraient être considérés, outre les instructions spécifiques à chaque test si nécessaires⁽²⁴⁾ :

1. s'abstenir d'ingérer de la nourriture, de l'alcool ou de la caféine ou d'utiliser des produits du tabac dans les 3 heures avant le test;
2. boire de grandes quantités de fluides dans la période de 24 heures avant le test pour s'assurer d'une hydratation normale avant le test;
3. être au repos avant l'évaluation, c'est-à-dire éviter une fatigue significative ou faire de l'exercice le jour de l'évaluation;
4. les vêtements portés devraient permettre des mouvements libres et inclure des souliers de marche ou de course. Les femmes devraient apporter une blouse ample à manches courtes et devraient éviter des cuissards restrictifs;
5. si l'évaluation a lieu en clinique externe, les patients devraient être avisés que le test peut les fatiguer et qu'ils auraient peut-être besoin de quelqu'un qui les accompagne à l'évaluation pour les ramener à la maison par la suite;
6. si le test est pour fins de diagnostic, il pourrait être utile pour les patients d'arrêter leur médication cardiovasculaire prescrite, mais seulement avec l'avis du médecin. Des agents anti-angineux couramment prescrits altèrent la réponse hémodynamique à l'exercice et réduisent la sensibilité des changements à l'ECG pour détecter l'ischémie. Les patients qui prennent des doses moyennes ou élevées d'agents β -bloquants devraient être avisés de diminuer leur médication pour une période de 2 à 4 jours pour minimiser les réponses de sevrage hyperadrénergique;

7. si le test est pour des fins fonctionnelles ou une prescription d'exercices, les patients devraient continuer leur médication habituelle afin que les réponses à l'exercice soient cohérentes avec les réponses attendues durant la période d'entraînement;
8. les participants devraient amener leur liste de médicaments, incluant le dosage et la fréquence d'administration, à l'évaluation et devraient rapporter la prise de leur dernière dose. Comme alternative, les participants devraient amener leur médication avec eux pour que le personnel qui fait les tests puisse les inscrire au dossier.⁽²⁴⁾

1.3 Réponses normales à l'exercice

Pour l'étude, deux types d'efforts ont été effectués par les deux sujets, des tests maximaux et des tests sous-maximaux. Dans les deux cas, on s'attend à des réponses cardio-respiratoires normales à l'effort puisque ce sont deux sujets sains et sportifs sans antécédents ou conditions associées. Avec les prises de mesures effectuées, nous avons retenus 10 valeurs indiquant la réponse à l'effort. Soit, la tension artérielle (TA), la fréquence cardiaque (FC), la saturation en oxygène, la fréquence respiratoire (FR), le volume courant (V_T), la ventilation minute (V_E), la consommation d'oxygène (VO_2), le VO_2/Kg , le quotient respiratoire et la perception de la difficulté de l'effort.

Si les sujets répondent bien aux efforts demandés, la FC devrait augmenter progressivement en relation linéaire avec l'augmentation de l'intensité de l'effort. À l'arrêt, la FC devrait diminuer à une vitesse d'au moins 12 battements par minute (bpm) (en position debout) pour répondre de façon adéquate.⁽²⁴⁾ Également, la tension artérielle systolique (TAS) devrait augmenter progressivement avec l'augmentation de l'intensité de l'effort. Par contre, elle pourrait atteindre un plateau à une certaine intensité tout en restant une réponse normale à l'effort. À un effort maximal, la TAS devrait atteindre un minimum d'au moins 140 mm Hg. Pour ce qui est de la tension artérielle diastolique (TAD), celle-ci devait rester stable ou légèrement diminuer tout au long de l'effort.

Le VO_2 devrait être en relation linéaire avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice jusqu'à ce que le sujet atteigne sa quantité maximale d'oxygène qu'il peut consommer. Il y aurait ainsi un plateau possible à la fin d'une évaluation maximale. Lors de la récupération, le VO_2 devrait retourner à la valeur originale progressivement. Il en est de même pour la dépense énergétique. En effet, celle-ci est la mesure du VO_2 divisé par 3,5. On s'attend donc à la même réponse que celles du VO_2 . Le quotient respiratoire, représentant la relation entre le VCO_2 sur le

VO_2 , augmente progressivement avec l'exercice. La valeur de repos devrait être située autour de 0,7. Lors d'un exercice intense, le ratio peut augmenter à plus de 1, soit, jusqu'à 1,2 qui s'explique par l'hyperventilation⁽³⁸⁾.

Le V_T ainsi que la FR augmentent de façon linéaire vis-à-vis l'augmentation de l'intensité à l'exercice. La V_E , étant le produit du V_T et de la FR, elle augmente également de façon linéaire jusqu'au seuil ventilatoire à l'augmentation de l'intensité de l'exercice. Tant que la ventilation augmente au même rythme que les réponses cardiovasculaires, la saturation en oxygène devrait se maintenir entre 95 et 98%, peu importe l'intensité de l'effort⁽³⁹⁾.

Pour ce qui est de la perception de la difficulté de l'effort, comme les deux sujets pour cette étude sont sains, les résultats pour un effort maximal devraient être de 10/10 correspondant à un effort de 100%⁽⁴⁰⁾.

Si les réponses cardiorespiratoires ne répondent pas adéquatement à l'effort, ce sont des critères d'arrêt à l'exercice.

Critère d'arrêt d'exercices : ⁽²⁴⁾

- Signes et symptômes d'angine
- Chute de la TAS de plus de 10 mm Hg malgré l'augmentation de l'effort
- TAS au-dessus de 250 mm Hg ou la TAD au-dessus de 115 mm Hg
- Saturation en oxygène sous 88% ou une baisse de plus de 4%
- Claudication, crampes aux jambes, respiration sifflante
- Signes de faible perfusion : confusion, ataxie, cyanose, nausée ou pâleur
- FC qui n'augmente pas malgré une augmentation de l'intensité de l'effort
- À la demande du sujet
- Manifestation verbale ou physique de fatigue sévère

1.4 Différences entre les genres

Le niveau de conditionnement physique d'un individu peut être défini par sa capacité aérobique qui est fonction de sa condition physique, cardiaque et pulmonaire. Une différence entre les femmes et les hommes est observable lorsque la capacité aérobique est mesurée. En effet, la consommation d'oxygène (VO_2), le quotient respiratoire (Q) et la TAS sont significativement supérieurs à l'exercice chez l'homme.⁽⁴¹⁾ Le VO_2 max chez la femme est 15 à 25% moins élevé que chez l'homme.⁽⁴²⁾ Le VO_2 étant fonction de la composition corporelle, les hommes sont avantagés puisqu'ils présentent, en proportion, plus de masse musculaire, dont

principalement au niveau des MS's, alors que les femmes ont une proportion de masse grasseuse légèrement plus élevée.⁽⁴²⁾ Les hommes ont donc une capacité fonctionnelle plus grande, celle-ci étant étroitement reliée au VO_2 max. Ces derniers ont également une meilleure capacité cardiaque caractérisée par des volumes cardiaques supérieurs dont le volume d'éjection et le débit cardiaque.⁽⁴¹⁾ Ceci s'explique par le fait que les hommes ont une plus grande dimension du ventricule gauche.⁽⁴²⁾ De plus, leur sang comporte une plus grande concentration d'hémoglobine permettant de délivrer une plus grande quantité d'oxygène aux différents groupes musculaires. Lors de la récupération, il semble que ces mêmes valeurs (VO_2 , Q, TAS) répondent de manière identique chez les deux sexes.⁽⁴¹⁾ Aussi, les réponses de la FC et de la TAD à l'exercice et lors de la récupération sont similaires. Cependant, lors de la récupération, les femmes ont une plus grande diminution de la tension artérielle moyenne. Ceci s'explique par une plus grande réduction du débit cardiaque et une moins grande augmentation de la résistance périphérique totale après l'exercice.^(41, 43) Ainsi, Carter et al. (2001)⁽⁴³⁾ soulèvent que les femmes sont plus à risque d'hypotension orthostatique suite à un exercice et qu'une récupération active permettrait de diminuer ce risque.

Lors d'exercices cardiorespiratoires, les hommes semblent utiliser principalement les glucides comme substrats énergétiques comparativement aux femmes qui utilisent en proportion plus grande les lipides. Cela semble dû à un plus grand niveau d'œstradiol chez la femme. En effet, cette hormone cause un accroissement de l'oxydation intramusculaire des lipides en plus d'augmenter l'oxydation des lipides durant l'exercice.⁽⁴¹⁾ Ainsi, à l'activité, le quotient respiratoire est plus élevé chez les hommes puisqu'ils produisent plus de CO_2 par oxydation des glucides.⁽⁴¹⁾

La perception de la difficulté de l'effort ne semble pas être influencée par le genre. En effet, Robertson et al. (2000)⁽⁴⁴⁾ ont étudié cette variable à l'aide de l'échelle de la perception de la difficulté à l'effort originale (de 6 à 20) auprès de neuf hommes et dix femmes. Ils ont basé leurs comparaisons selon trois types d'effort, soit celui des MI's sur un tapis roulant ou lors d'une simulation de ski et sur un ergomètre pour MS's. Ils ont conclu que le RPE ne différait pas entre les sexes lorsque les comparaisons étaient effectuées à des valeurs de VO_2 et de FC correspondant à des intensités de 70 à 90% des valeurs maximales.

Les mesures pulmonaires, tels que les débits expiratoires maximaux, sont significativement inférieures chez les femmes par rapport aux valeurs prédites pour le même âge et la même taille chez les hommes.⁽⁴⁵⁾ Il semble que ces différences soient, en partie,

expliquées par des poumons plus petits. La surface totale des alvéoles et le diamètre des voies respiratoires sont moins importants et ils ne permettent pas une diffusion de l'oxygène aussi optimale que chez l'homme.^(46, 47) Par conséquent, ces limitations mécaniques peuvent expliquer que les femmes aient une ventilation (dont un V_E et un V_T) inférieure à celle des hommes. De plus, il semble que la concentration des hormones circulantes dans le sang, dont principalement l'œstrogène et la progestérone, ait une influence au niveau des différents paramètres ventilatoires.^(45, 46) Par exemple, la progestérone a une action centrale entraînant une hyperventilation permettant de compenser partiellement par une alcalose respiratoire lors de l'exercice. Les variations de cette hormone (et de l'œstrogène) durant le cycle menstruel est un aspect souvent mentionné dans les articles⁽⁴⁵⁾ et elles doivent être prises en considération lors d'études comparant les différences entre les genres.

En résumé, les capacités cardiaque et physique (composition corporelle) ainsi que la capacité pulmonaire résultant de la morphologie et des structures différentes selon les sexes sont des facteurs permettant d'observer une différence entre les hommes et les femmes. Évidemment, le niveau de conditionnement ainsi que les différentes phases du cycle menstruel sont des facteurs contributifs à considérer lors de comparaisons entre les deux genres.

Section 2 – Méthodologie

2.1 Objectifs

1. Évaluer et comparer les réponses cardiorespiratoires chez des sujets sains à cinq différents tests d'effort maximal ou sous-maximal.
2. Évaluer l'effet de familiarisation aux cinq protocoles proposés.
3. Sélectionner la ou les évaluation(s) cardiorespiratoire(s) optimale(s) permettant son utilisation chez une clientèle atteinte d'une lésion médullaire utilisatrice de fauteuil roulant manuel.

2.2 Hypothèses

1. Chez les sujets sains, le VO_2/kg mesuré lors des différents tests d'efforts sera différent selon le type d'exercice et la masse musculaire sollicitée ($VO_2 \text{ max MI's} > VO_2 \text{ max MS's}$). À cet effet, il est attendu que le protocole de Bruce sera le protocole ayant le plus haut VO_2/kg .
2. Les réponses cardiorespiratoires seront similaires pour chacun des tests utilisés dans cette étude bien qu'il soit anticipé que les valeurs de pointe seront moins élevées dans les épreuves sous-maximales comparativement aux épreuves maximales.
3. Un effet de familiarisation, se traduisant par des réponses inférieures lors du deuxième test par rapport au premier test, sera observé dans les 5 protocoles.
4. Le test de propulsion manuelle de six minutes en fauteuil roulant manuel sera le test le plus applicable cliniquement pour évaluer la fonction cardiorespiratoire chez les utilisateurs de fauteuil roulant.

2.3 Mode et contexte d'évaluation

L'étude proposée est une étude exploratoire qui a été exécutée chez deux sujets sains au Laboratoire de pathokinésiologie du Centre de recherche interdisciplinaire en réadaptation de l'Institut de Réadaptation Gingras-Lindsay de Montréal. Ce projet fut piloté par Rachel Brosseau, MSc, pht et par Dany Gagnon, PhD, pht dans le cadre du travail dirigé réalisé par quatre étudiants à la maîtrise en physiothérapie à l'Université de Montréal. Ayant comme objectif de comparer les réponses cardiorespiratoires lors d'évaluations pour des sujets utilisateurs de fauteuil roulant à des évaluations déjà existantes pour des sujets marcheurs, cinq différents types d'évaluation ont été effectués entre septembre et novembre 2011. En ajout, un devis de recherche test-retest, réalisé dans une période maximale d'une semaine, a été complété. Un maximum de trois tests fût effectué la même journée pour un même sujet et un repos d'au moins

45 minutes entre chaque évaluation était exigé. De plus, les sujets devaient avoir mangé de façon convenable au minimum 3 heures avant le début des tests. Pour des raisons de disponibilité des locaux et des sujets, les tests n'ont pas tous pu être effectués au même moment de la journée. Les protocoles d'évaluation ont été déterminés afin de permettre une variété de comparaisons dans différents types d'effort et ont été modifiés à partir de protocoles existants et bien définis dans les écrits actuels.

2.4 Évaluateurs

Des quatre étudiants ayant élaboré cette étude exploratoire, tous sont également évaluateurs. En effet, chaque étudiant a été délégué pour prendre en charge un ou deux protocoles différents. Chacun de ceux-ci appliquait son propre protocole pendant que les autres aidaient à la prise de données et au monitoring. Dany Gagnon, PhD., directeur de recherche et boursier en recherche à l'IRGLM, était présent lors des évaluations pour superviser les étudiants et s'assurer d'une prise de données efficace et adéquate.

2.5 Description des sujets

La population visée par cette étude était des sujets sains, non-utilisateurs de fauteuil roulant. Dans ce cas-ci, un sujet sain est une personne d'âge moyen n'ayant aucune déficience musculosquelettique ou psychologique pouvant altérer la fonction et la locomotion et n'ayant aucun antécédent d'altération de la fonction cardiovasculaire et pulmonaire.

Aucun critère d'inclusion et d'exclusion n'a été défini préalablement à la sélection des participants outre qu'ils devaient être considérés comme sujets sains. Les deux participants n'avaient aucune condition médicale particulière importante ni facteur de risque de maladie cardiorespiratoire et métabolique et aucun antécédent ne pouvant interférer avec les réponses cardiorespiratoires. Le questionnaire Q-APP a été administré et n'a démontré aucun risque à l'activité physique. Il est disponible en annexe 7.1 en copie vierge.⁽²⁴⁾ Selon l'échelle de stratification du risque à l'entraînement cardiovasculaire de l'American College of Sports Medicine (2010), l'ensemble des sujets était classé à bas risque. La présence d'un néo du col utérin avec LEEP en 2011 chez le sujet féminin (sujet F) ne constitue pas un risque à l'exercice pour ce sujet, peu importe l'intensité, et ne nécessite pas de supervision particulière à l'exercice selon l'avis de son médecin.

Considérant que cette étude exploratoire a été créée et exécutée dans un cadre scolaire, les sujets sont deux des quatre auteurs de cette étude. De ces quatre derniers, les deux personnes ayant un profil le plus similaire ont été choisies, ce qui permettait d'élaborer de meilleures comparaisons statistiques. Le tableau 1 démontre les caractéristiques de chacun de ceux-ci et le tableau 2 les moments auxquels les tests ont été effectués. Les sujets ont exécuté les tests de façon volontaire.

TABLEAU 1 : Description des participants

Variables indépendantes	Sujet F	Sujet H
Sexe	F	H
Âge	25	24
Poids (kg)	66.2	78.0
Taille (cm)	174	183
IMC (kg/cm ²)	21.87	23.39
Volume et type d'entraînement actuel	Aviron : 12h/semaine Spinning : 1h/semaine	Aviron : 8h/semaine Course : 2h/semaine Nage : 0.5h/semaine Frisbee : 2h/semaine Volleyball : 1h30/semaine
FC _{max} prédite	195	196
FC de repos	63	46
TA de base	D : 101/56 G : 99/55	D : 118/77 G : 115/76
Conditions médicales particulières	Déficit en vitamine B ₁₂ de cause inconnue à ce jour	Nil
ATCD médical	Néo col utérin avec LEEP (2011)	Nil
Médication	Contraceptif EVRA, vitamine B ₁₂	Nil
Tabagisme	Non	Non
Statut professionnel	Étudiante à la maîtrise en physiothérapie	Étudiant à la maîtrise en physiothérapie
Chaussures utilisées	Five fingers - Vibram	Five fingers – Vibram

F : FEMME, H : HOMME

TABLEAU 2 : Horaire des tests effectués

Test/ retest		Sujet F		Sujet H	
		Date	Heure	Date	Heure
6WPT	Test	23 septembre 2011	10h04	27 septembre 2011	13h39
	Retest	27 septembre 2011	13h57	29 septembre 2011	18h58
6MWT	Test	23 septembre 2011	11h12	23 septembre 2011	12h16
	Retest	29 septembre 2011	18h16	29 septembre 2011	19h18
Ergocycle	Test	27 septembre 2011	15h43	27 septembre 2011	16h06

	Retest	29 septembre 2011	17h48	15 novembre 2011	8h51
Tapis roulant	Test	8 novembre 2011	16h25	8 novembre 2011	17h01
	Retest	15 novembre 2011	9h49	15 novembre 2011	10h23
Tapis roulant en FR	Test	8 novembre 2011	15h56	8 novembre 2011	15h49
	Retest	15 novembre 2011	11h34	15 novembre 2011	11h54

2.6 Variables d'intérêt

Plusieurs variables d'intérêt ont été utilisées afin de mesurer la réponse cardiorespiratoire à l'effort des différents tests exécutés dans le cadre de ce projet. Les résultats seront présentés sous forme de graphiques dans chacune des parties individuelles (VO_2 de pointe, FC, V_T , V_E , RPE et FR) ainsi que dans la discussion (VO_2 de pointe, FC et RPE).

TABLEAU 3 : Variables d'intérêt en fonction des moments de collecte des données

Variables	Unités de mesure	Outils de mesure	Moment de la collecte				
			Pré-test	Per-test	Post-test		
					0	2	4
VO_2 de pointe	mL/kg.min	Cosmed K4b ₂	A				
FC	Bpm		A				
V_T	L		A				
V_E	L/min		A				
Quotient respiratoire	R		A				
FR	Respirations/minute		A				
TA	mmHg	Sphygmo-manomètre modifié électronique	A	Aucun	A		
RPE	N/A	Échelle de Borg	A	A	A		
Saturation d'O₂	%	Oxymètre de pouls	A	Aucun	A		

A = Tous les tests

2.7 Instruments de mesure

2.7.1 Système Cosmed K4b²

L'appareil Cosmed K4b² est un appareil de télémétrie portable utilisé pour mesurer, entre autre, le VO_2 max et la ventilation minute. Les avantages de cet appareil sont qu'il est non

encombrant et qu'il permet au sujet évalué d'utiliser toute l'amplitude de mouvement requise pour l'activité. L'avantage premier de cet appareil est qu'il permet l'enregistrement de données par téléométrie. Ainsi, aucun fil n'encombre le sujet et celui-ci peut effectuer ses déplacements réguliers sans être importuné. Un désavantage majeur de cet appareil est son coût qui limite de beaucoup son utilisation clinique et c'est pourquoi il n'est pratiquement utilisé qu'en milieu de recherche. Également, la préparation de l'appareil est laborieuse. La calibration doit être effectuée avant chaque utilisation et une période d'échauffement de l'appareil d'une durée de 45 minutes est nécessaire à son bon fonctionnement. Une bonne connaissance de l'appareil est également nécessaire pour éviter la perte de données.

Le prédécesseur du Cosmed K4b² est le Cosmed K2. Le Cosmed K4b² est exactement le même que le K2 mais, il mesure les gaz CO₂ de plus⁽⁴⁸⁾. Le Cosmed K2 n'est donc plus produit depuis l'apparition du Cosmed K4b². Selon les années des études, le Cosmed K2 ou le K4b² est souvent comparé à deux autres outils de mesure du VO₂max. Le premier, le « Douglas bag method » serait considéré comme la mesure étalon. Il consiste en un sac qui recueille les gaz expirés. Comparé à celui-ci, le Cosmed K4b² a été évalué comme fiable et valide pour déterminer le VO₂ de pointe pour des tests sous-maximaux et maximaux⁽⁴⁸⁾. Le Cosmed K4b² est également comparé à la carte métabolique. La carte métabolique est un outil très semblable au Cosmed mais elle n'est portable. Différents tubes collectent les gaz et ceux-ci sont analysés par la suite⁽⁴⁹⁾. Cette carte métabolique n'est pas considérée étant une mesure étalon mais, puisque le « Douglas bag method » est un outil peu disponible, la carte métabolique est devenue un outil davantage utilisé cliniquement. On peut alors questionner les études ayant comparé le Cosmed K4b² à la carte métabolique puisque qu'on compare un outil avec un autre qui n'est pas une mesure étalon. Malgré ce fait, le Cosmed K4b² sous-estimerait ou surestimerait les résultats, selon les études, comparativement à la carte métabolique⁽⁴⁹⁾. Par contre, dans toutes les études effectuées, il est démontré une grande fiabilité au test-retest, que ce soit comparativement à la carte métabolique ou au « Douglas bag method ».

L'appareil Cosmed K4b² sera utilisé pour cette étude exploratoire chez deux sujets sains pour les différentes mesures de VO₂max, de ventilation minute et de fréquence cardiaque. Cet appareil a été démontré comme valide et fiable pour la répétition de ses diverses mesures.

TABLEAU 4 : Qualités métrologiques du Cosmed K4b²

Fidélité	r = 0,999 au test-retest ⁽⁴⁸⁾
Validité	r = 0,84 pour le VO ₂ avec carte métabolique ⁽⁴⁹⁾
	r=0,92 pour le VCO ₂ avec la carte métabolique ⁽⁴⁹⁾
	r = 0,91 à 0,99 avec «douglas bag method» (p <0,001) ⁽⁴⁸⁾

2.7.2 Émetteur Polar wearlink

Pour notre étude exploratoire, nous avons utilisé l'émetteur Polar wearlink combinée avec le Cosmed K4b². L'émetteur Polar wearlink a été fixé à la base du sternum avec une courroie ajustable à chacun des sujets avant l'exécution des tests et avant l'installation du Cosmed K4b². La lecture de la FC a été faite par le Cosmed K4b² par télémétrie. La FC permet de quantifier l'intensité de l'exercice et est en relation linéaire avec le VO₂. Aucune étude n'a été produite directement sur l'émetteur lui-même. Par contre, les études combinant l'émetteur et les montres polar pour faire la lecture de la fréquence cardiaque sont nombreuses. La description suivante de la validité et de la fidélité de la montre polar est la combinaison de l'émetteur et de la montre malgré le fait qu'uniquement l'émetteur a été utilisé.

Le système de la montre Polar et de son émetteur ont été démontré comme fidèle et valide. Il y a un fort coefficient de corrélation entre la fréquence cardiaque enregistré par la montre polar et l'ECG (r=0,93 à 1,00) ⁽⁵⁰⁾. Il a aussi été démontré que la montre Polar et l'ECG pouvaient être interchangeables: ICC = 0,996 (IC 95%)⁽⁵¹⁾. Des études récentes ont validé l'utilisation de la montre Polar contre différents ECG ⁽⁵¹⁾.

TABLEAU 5 : Qualités métrologiques de la montre polar et son émetteur

Validité	r = 0,93 à 1,00 avec ECG ⁽⁵⁰⁾
-----------------	--

2.7.3 Sphygmomanomètre Suntech 247

Le sphygmomanomètre à mercure est l'appareil considéré comme la mesure étalon pour la prise de la tension artérielle. Évidemment, les professionnels de la santé sont les individus formés adéquatement pour cette mesure en utilisant la technique des bruits de Korotkoff.⁽⁵²⁾ Étant donné la toxicité du mercure et des risques associés à une mauvaise manipulation entraînant un bris et des fuites, l'utilisation des sphygmomanomètres à mercure est de plus en plus en sphygmomanomètres automatiques tels un système oscillométrique.⁽²⁸⁾ Malgré leur utilisation

grandissante, la littérature ne démontre pas, à ce jour, une précision comparable aux mesures obtenues à l'aide d'un sphygmomanomètre à mercure.⁽⁵²⁾

L'appareil Suntech 247, qui comporte une technologie oscillatoire, sera utilisé pour cette étude exploratoire chez les sujets sains pour les différentes mesures de la tension artérielle lors des différents tests. Cet appareil a été validé pour une population âgée de plus de 30 ans, excluant les femmes enceintes et les individus dont la circonférence du bras est supérieure à 50 centimètres.⁽⁵³⁾ À notre connaissance, une seule étude, soit celle de Polo Friz et al. (2009),⁽⁵³⁾ a été menée jusqu'à maintenant en lien avec cet appareil. Le protocole de validation que les auteurs ont utilisé est l'un des deux plus accepté au niveau de la littérature,⁽⁵²⁾ soit celui du British Hypertension Society (BHS), modifié en 1993. Il est composé de cinq phases visant principalement à déterminer la variabilité de l'appareil (phases I, II et III), à effectuer une validation statistique (phase IV) et finalement à publier les résultats (phase V).⁽⁵⁴⁾ Les auteurs ont corrélé, dans un premier temps, les résultats obtenus avec le protocole BHS aux normes décrites par l'Association pour l'avancement de l'instrumentation médicale (AAMI) afin de vérifier son efficacité. Dans un second temps, il a été comparé au protocole international (IP) développé en 2002 par un regroupement d'experts d'une organisation internationale qui sont membres de la société européenne du groupe de travail sur l'hypertension de la pression artérielle.⁽⁵⁴⁾ Le IP vise principalement à remplacer les protocoles du BSH et les normes de l'AAMI largement utilisés jusqu'à maintenant, mais qui demandent un grand recrutement de sujets et beaucoup de mesures (protocole BSH) ce qui rend leur application plus complexe.⁽⁵⁴⁾ Les deux tableaux qui suivent décrivent sommairement les résultats obtenus. Tout d'abord, le premier tableau compare les puissances statistiques des deux protocoles en fonction d'un test de Fischer. Puis, un deuxième tableau rapporte les différences entre les moyennes et les écarts-types en fonction des différentes composantes de la tension artérielle afin de valider l'appareil.

TABLEAU 6 : Mesure de puissance statistique de l'appareil Suntech 247 entre les différentes valeurs de la tension artérielle en fonction des protocoles ⁽⁵³⁾

Protocoles	Tension artérielle systolique (TAS)	Tension artérielle diastolique (TAD)
BHS α = 0,05 n = 85	0,9985	0,8795
IP α = 0,05 n = 33	0,9914	0,5598

TABLEAU 7 : Différences des moyennes et des écarts types entre les différentes valeurs de la tension artérielle en fonction des protocoles pour l'appareil Suntech 247⁽⁵³⁾

Protocoles		TAS (mmHg)	TAD (mmHg)
BHS	Professionnel		
	A	1,7 ± 3,1	1,1 ± 3,2
	B	1,4 ± 3,2	1,1 ± 3,4
IP		1,9 ± 2,4	0,8 ± 2,1

Les normes requises selon l'AAMI pour démontrer l'efficacité d'un appareil pour mesurer la tension artérielle est pour la moyenne ± 5 mm Hg et pour la déviation standard ± 8 mm Hg ⁽⁵⁵⁾ entre les différentes valeurs obtenues pour une même mesure (i.e. différences entre cinq mesures de la TAS). Par conséquent, les auteurs ont conclu que l'appareil Suntech 247 est un outil valide et ils le recommandent pour un usage clinique

2.7.4 Oxymètre de pouls Nonin 8500M

L'oxymètre de pouls est un outil de mesure non invasif qui permet de mesurer en continu la saturation en oxyhémoglobine (HbO₂) du sang artériel (SpO₂).^(56, 57) La SpO₂ reflète l'oxygénation du sang artériel, c'est-à-dire la pression artérielle partielle d'oxygène (PaO₂), et peut être utilisée à des fins diagnostiques pour détecter une hypoxémie.⁽⁵⁶⁾ La mesure étalon de la saturation est la mesure directe, invasive, de celle-ci à partir d'échantillons de sang artériel du lobe de l'oreille hyperémique (S_{O₂}).⁽⁵⁷⁾ Le principe de l'oxymètre de pouls est basé sur une analyse spectrophotométrique « pulsée-cyclique » des caractéristiques de l'absorption de la lumière par l'HbO₂ et par la déoxyhémoglobine (Hb) à deux différentes longueurs d'onde (660 et 940 nm) et sur la nature pulsatile du débit sanguin artériel.^(56, 57) Puisque l'oxymètre de pouls permet de distinguer les deux espèces d'hémoglobine (Hb et HbO₂), la SpO₂ est donc une estimation de la saturation artérielle en oxygène de l'hémoglobine disponible (SatO₂).⁽⁵⁶⁾ Une moyenne du signal est effectuée chaque six secondes afin d'éliminer les artéfacts dus au mouvement durant l'exercice qui pourraient influencer la mesure. Un capteur est attaché sur l'index du sujet ou au niveau de son lobe d'oreille pour détecter les ondes de pouls.⁽⁵⁷⁾ Enfin, l'oxymètre de pouls est un instrument portatif, sécuritaire, qui permet d'obtenir une réponse rapide de la saturation et qui peut être utilisé chez différentes clientèles et dans différentes conditions (repos vs exercice).⁽⁵⁶⁾

Selon une étude récente ⁽⁵⁸⁾, la justesse de la saturation mesurée par un oxymètre de pouls (SpO₂) comparée à la saturation mesurée par un échantillon sanguin du lobe d'oreille

(S_{O_2}) est élevée dans des conditions normales, c'est-à-dire à une S_{O_2} supérieure à 75%. Cependant, elle est diminuée dans des conditions hypoxiques.⁽⁵⁸⁾ Dans une autre étude comparant la saturation mesurée avec l'oxymètre de pouls (SpO_2), la saturation calculée par un algorithme ($SatO_{2\text{ calc}}$) et la saturation obtenue par mesure directe ou étalon (S_{O_2}), il y a une différence significative entre les valeurs de l'étalon et les deux autres mesures.⁽⁵⁷⁾ Toutefois, l'écart en pourcentage entre la S_{O_2} et la SpO_2 est plus petit que celui entre la S_{O_2} et la $SatO_{2\text{ calc}}$.⁽⁵⁷⁾ Suite à une analyse par régression linéaire⁽⁵⁷⁾, il a été démontré qu'il y a un coefficient de corrélation significatif entre la S_{O_2} et la SpO_2 , ce qui indique qu'il y a une corrélation entre les deux mesures et que la méthode est valide.⁽⁵⁷⁾ Ainsi, on peut considérer que l'oxymètre de pouls peut remplacer la méthode invasive. De plus, la mesure de l'oxymètre de pouls est plus valide et fidèle que la $SatO_{2\text{ calc}}$.⁽⁵⁷⁾

Une étude portant sur l'oxymètre de pouls Nonin 8500 M, l'appareil utilisé dans l'étude, rapporte qu'à un écart-type, sa norme manufacturière pour la justesse de l'appareil est de $\pm 2\%$ pour une saturation de 70 à 100%, qu'il a une bonne fidélité (ICC = 0,755) et qu'il est cliniquement équivalent à une mesure des gaz sanguins artériels.⁽⁵⁹⁾

2.7.5 Échelle de Borg pour la perception de la difficulté de l'effort (RPE)

L'échelle de Borg (RPE) a été développée en Suède par Gunnar Borg et décrite pour la première fois dans la littérature en 1962.⁽⁶⁰⁾ L'outil d'évaluation est décrit comme une échelle de perception de la difficulté à l'effort et elle peut être utilisée comme paramètre de surveillance de l'intensité de l'exercice (40). La perception de la difficulté de l'effort englobe l'effort sur plusieurs systèmes qui sont centraux ou périphériques tels les systèmes cardiovasculaire et pulmonaire⁽⁶⁰⁾, mais également le système musculosquelettique.^(61, 62) L'utilisateur de cet outil doit se conformer aux instructions standardisées recommandées par l'ACSM.⁽²⁴⁾ Les normes principales de standardisation sont d'utiliser l'échelle imprimée et de s'assurer de demander au patient de ne pas surestimer ou sous-estimer son score. Le sujet doit donc réellement être à l'écoute de sa fatigue et se concentrer pour donner un score relatif à sa vraie perception de la difficulté de l'effort. L'outil initial comporte 15 niveaux entre 6 et 20 permettant une association linéaire à une FC entre 60 et 200 bpm.^(40, 63)

Pouvant être grandement influencée par l'âge, l'état physique, le statut de santé et le type d'activité choisi, cette dernière corrélation entre la FC et le RPE se voit diminuée. Malgré cela, cet outil a été validé chez plusieurs clientèles dont la clientèle atteinte de maladie

cardiovasculaire et dans plus de 5 langues différentes. L'ACSM⁽²⁰⁾ et Finch⁽⁶³⁾ résument les qualités métrologiques qui ont été évaluées par plusieurs auteurs préalablement. En voici un résumé :

TABLEAU 8 : Qualités métrologiques de l'échelle de Borg^(24, 63)

Fidélité	ICC : 0,84 au test-retest
Validité	r = 0,76 à 0,84 avec EVA
	r = 0,8 à 0,9 avec FC lors d'un travail à intensité modéré à important
	r = 0,2 à 0,5 avec FC lors d'un travail à basse intensité et de durée prolongée
	r = 0,76 à 0,97 avec VO ₂ ⁽⁶⁴⁾
	r = 0,46 à 0,94 avec V _E et quotient respiratoire

Borg a élaboré une version modifiée de son échelle, nommée échelle de Borg modifiée,⁽⁶⁰⁾ pour permettre un suivi de la modification de la perception de la difficulté de l'effort dans le temps sous forme de ratio entre les test-retest. Cette dernière possède 12 échelons entre 0 et 10 sous forme d'échelle ratio, permettant ainsi l'analyse des résultats par l'utilisation de proportion. C'est cette version de l'échelle de Borg qui sera utilisée dans notre étude exploratoire afin d'évaluer la perception de la difficulté de l'effort chez nos sujets sains. Comme cet outil est également influencé par des facteurs psychosociaux, le mode d'exercice, la condition de la personne et l'âge⁽⁶³⁾, les possibilités de comparaison de résultats sont plus limitées. Ainsi, considérant la description de nos sujets sains qui est similaire entre elles, les comparaisons les plus justes seront celles faites pour un même sujet, dans un même mode d'évaluation, mais celles qui compareront les deux sujets dans une même modalité seront également utilisées.

2.8 Sélection du fauteuil roulant

Pour l'étude exploratoire, un fauteuil roulant manuel de type Firefly a été utilisé. Celui-ci a été utilisé pour tous les tests cardiorespiratoires utilisant un fauteuil roulant. Le choix pour ce fauteuil roulant s'est basé sur la disponibilité des fauteuils de l'IRGLM.

Le fauteuil Firefly convenait aux tests puisque celui-ci est de type sportif. Le format était bon pour les deux sujets qui ont relativement la même taille. De plus, les roues peuvent facilement se retirer pour placer des roues instrumentées, différentes de celles du modèle original. Ces roues avaient la particularité de mesurer la force exercée sur chaque poussée des MS's. Par contre, ces résultats n'ont pas été analysés lors de cette étude exploratoire.

2.9 Sélection des instruments de mesure spécifiques

Un tensiomètre électrique de marque Suntech 247, l'émetteur d'une montre Polar, un oxymètre de pouls ainsi que la perception de la difficulté de l'effort évaluée par l'échelle de Borg modifiée (RPE) sont les instruments de mesures spécifiques qui permettront d'objectiver les résultats à l'épreuve d'effort. Le Cosmed K4b² sera également utilisé afin d'obtenir des mesures du VO₂ tout au long de l'épreuve et lors des périodes de repos et de récupération.

2.10 Analyse des résultats (variables d'intérêt)

L'ensemble des collectes de données prises lors de l'exécution des protocoles en laboratoire sont disponibles en annexe 7.4. Les graphiques des différentes variables à l'étude, disponibles dans chacune des parties individuelles de la section 3, ont pour leur part été obtenus à partir d'une méthode de moyennage par minute pour l'ensemble des variables étudiées par l'appareil Cosmed K4b². Cependant, pour le protocole de Bruce (partie 3.1), chaque palier correspond à la moyenne de la dernière minute d'un plateau complété soit, la troisième minute. La valeur « pré » correspond à la minute précédant le début du test, tandis que la valeur « post » est celle de la dernière des six minutes de récupération à la suite du test d'effort. Les tableaux, quant à eux, comparent les réponses physiologiques à l'effort obtenues à partir des instruments de mesures autres que le Cosmed K4b².

Section 3- Justification des tests, description des protocoles et résultats

Partie individuelle 1

3.1 Protocole standardisé d'effort progressif sur tapis roulant – sujets sains marcheurs

Anne-Marie Dufort

Mai 2012

Université de Montréal

3.1.1 Recension des écrits

Depuis plusieurs décennies, les tests d'effort sur tapis roulant ont été étudiés largement et les nouvelles recommandations portent sur des tests individualisés à chaque patient, c'est-à-dire différents selon chaque individu, et qui sont fonction de l'objectif du test.⁽³⁰⁾ Cependant, ces tests sont peu utilisés cliniquement et les protocoles traditionnels d'effort progressif par paliers demeurent les principaux tests utilisés par les cliniciens.⁽³⁰⁾ Parmi ceux-ci, le protocole de Bruce est une des méthodes la plus commune et la plus largement utilisée en laboratoire. Le protocole de Bruce a été bâti en 1963 par Robert A. Bruce, un médecin, et était conçu pour évaluer les patients dont une maladie coronarienne était suspectée afin d'établir un diagnostic.⁽⁶⁵⁾ Aujourd'hui, il est utilisé aussi comme épreuve d'effort maximal pour évaluer la condition cardiorespiratoire d'un individu, c'est-à-dire estimer son $VO_2\text{max}$, que ce soit un(e) athlète ou une personne sédentaire.^(66, 67) L'étude de Bruce et al. (1973)⁽²⁷⁾ fut la première à établir des standards normaux pour des adultes en santé.⁽²⁷⁾ À l'aide des équations de régression apportées par cette étude, il est donc possible de prédire la valeur du $VO_2\text{max}$ chez cette population à partir du sexe, du niveau d'activité et de l'âge et également d'estimer le $VO_2\text{max}$ à partir du sexe et de la durée du test. Ces équations facilitent l'évaluation rapide et fidèle de la capacité fonctionnelle chez des clientèles spécifiques.⁽²⁷⁾ Quelques années plus tard, en 1984, Foster et al.⁽⁶⁸⁾ ont établi une équation généralisée qui dépend uniquement de la performance sur le tapis roulant, qui est simple d'utilisation et qui donne une estimation juste du $VO_2\text{max}$.⁽⁶⁸⁾ Ce sont ces équations qui sont utilisées aujourd'hui.⁽⁶⁶⁾ Cependant, comme il a été expliqué plus haut (cf. : section 1.2.1.2), le protocole de Bruce possède les désavantages d'un test d'effort par paliers, soit d'avoir des augmentations de charge de travail grandes et inégales, ce qui résulte en une augmentation non uniforme de la consommation d'oxygène.⁽⁶⁹⁾ De plus, le premier palier est trop demandant pour certains patients avec des problèmes cardiaques. Ces désavantages diminuent donc la justesse avec laquelle la consommation d'oxygène peut être prédite à partir du temps ou de la charge de travail lors du test.⁽⁶⁹⁾ Ainsi, le protocole a été modifié afin de diminuer la charge de travail initiale, devenant plus graduelle et plus applicable pour les individus avec une capacité fonctionnelle plus faible.^(30, 65)

Les premiers tests d'effort maximal en rampe sur tapis roulant ont été décrits en 1991.⁽³⁰⁾ Ils ont été développés dû aux limitations des protocoles progressifs par paliers standards. Les protocoles en rampe permettent d'éviter les altérations soudaines au niveau du recrutement des unités motrices neuromusculaires ou des changements métaboliques en employant une augmentation constante et continue de la charge de travail externe.⁽⁶⁹⁾ De plus, ils semblent être

supérieurs quant à l'estimation de la consommation d'oxygène à partir de la charge de travail en utilisant la pente de la régression linéaire entre le VO_2 et la charge de travail.⁽⁶⁹⁾ Dans une étude de Myers et al. (1991)⁽⁶⁹⁾, les résultats démontrent qu'il y a une différence significative entre le VO_2 max prédit avec le test et le VO_2 max mesuré par les échanges gazeux ventilatoires durant le test et que cette différence est plus marquée pour le protocole de Bruce.⁽⁶⁹⁾ Ceci démontre que les protocoles en rampe peuvent faire une meilleure estimation du VO_2 max que les protocoles standards.

Selon une étude de Pollock et al. (1976)⁽⁷⁰⁾, où une comparaison entre le protocole de Bruce et d'autres protocoles d'effort maximal par paliers (Astrand, Balke et Ellestad) est effectuée, il n'y a pas de différence significative entre les quatre tests à un effort maximal pour ce qui est du VO_2 , de la FC et de la TA.⁽⁷⁰⁾ Le protocole de Balke, qui a le taux de progression le plus graduel en termes de coût du nombre de METs, démontre des valeurs plus faibles à l'effort maximal pour la V_E et le quotient respiratoire.⁽⁷⁰⁾ Ces résultats suggèrent ainsi une similitude entre les quatre tests pour les réponses cardiorespiratoires. De plus, des équations de prédiction ont été établies pour les protocoles de Balke, de Bruce et d'Ellestad, car il y avait une corrélation entre la durée du test et le VO_2 max. Une étude de Handler et Sowton (1984)⁽⁷¹⁾, qui compare les protocoles de Naughton et de Bruce modifié dans leur habileté à détecter des anomalies ischémiques six semaines après un infarctus du myocarde, rapporte des résultats similaires.⁽⁷¹⁾ En effet, aucune différence significative au niveau de la FC_{max} , du double-produit et de la charge de travail atteinte n'a été démontrée. La seule différence entre les deux protocoles est la longueur du test qui est plus élevée pour le protocole de Naughton comparativement au protocole de Bruce.⁽⁷¹⁾ À la lumière de ces résultats, il n'y a pas de préférence quant à l'utilisation de l'un ou l'autre des protocoles traditionnels, chacun ayant ses avantages et inconvénients. Une description des protocoles mentionnés dans cette section et/ou les prochaines sections est présentée à l'annexe 8.2.1.

3.1.2 Justification du protocole pour l'étude

Pour faire le choix du protocole utilisé, une recension des écrits a été effectuée afin de déterminer lequel des tests serait le plus approprié pour l'étude exploratoire. Le premier choix aurait été un protocole en rampe, mais l'équipement qui était à notre disposition ne permettait pas la réalisation de ce type de test. En effet, les protocoles s'avèrent trop complexes à exécuter et une personne qualifiée aurait été nécessaire afin de programmer le tapis roulant pour les différentes vitesses et pentes requises pour le test. Les protocoles en rampe estiment avec plus

de justesse le $VO_2\text{max}$ malgré des valeurs de $VO_2\text{max}$ et de FC_{max} plus élevées pour le protocole de Bruce.⁽²⁶⁾ Selon Maeder et al. (2006)⁽²⁶⁾, il n'y a pas de différence cliniquement significative entre les deux protocoles alors ils suggèrent l'un ou l'autre, les deux étant appropriés pour l'évaluation du $VO_2\text{max}$ chez des individus actifs en santé en utilisant un appareil qui mesure les échanges gazeux.⁽²⁶⁾

Les désavantages du protocole de Bruce énumérés dans la recension des écrits sont relativement importants, notamment la surestimation de la consommation d'oxygène et une plus grande variabilité de celle-ci quand elle est prédite à partir de la charge de travail.⁽⁶⁹⁾ Cependant, ses avantages pourraient justifier son utilisation pour l'étude. D'abord, Bruce et al. (1973)⁽²⁷⁾ rapportent qu'un test d'effort maximal est plus fidèle qu'un test d'effort sous-maximal pour l'estimation du $VO_2\text{max}$.⁽²⁷⁾ Ensuite, plusieurs données normatives sont disponibles.⁽⁶⁵⁾ Bon nombre de données fonctionnelles et pronostiques ont été générées au cours de ses nombreuses années d'utilisation et plusieurs valeurs normatives publiées proviennent de ces résultats.⁽³⁰⁾ De plus, les larges augmentations de la charge de travail dans le protocole original, qui sont à la fois un désavantage en soi, permettent au test d'être complété en 6 à 9 minutes,⁽⁶⁵⁾ ce qui correspond au temps optimal recommandé d'un protocole d'effort maximal. Au contraire, un protocole en rampe allonge la durée de passation du test.⁽⁶⁹⁾ Par contre, dans une étude récente de Maeder et al. (2006)⁽²⁶⁾, la durée du test est plus courte pour le protocole en rampe et correspond aux temps recommandés pour un test d'effort maximal, soit entre 8 et 12 minutes,^(24, 30) alors que la durée pour le protocole de Bruce est plus élevée, donc moins optimale. Toutefois, les sujets de cette étude sont pour la majorité bien entraînés et jeunes, ce qui peut entraîner une durée de test plus longue, soit un nombre plus grand de paliers complétés.⁽²⁶⁾ Ceci devra être pris en considération dans l'analyse des résultats de la présente étude puisque les deux sujets évalués possèdent ces mêmes caractéristiques.

Pour conclure, il est fortement justifiable d'utiliser le protocole de Bruce comme protocole d'effort progressif sur tapis roulant dans le contexte de l'étude, les avantages surpassant les inconvénients et limites de ce test. Le protocole de Bruce reste jusqu'à maintenant le protocole le plus largement utilisé et il est facilement applicable en clinique malgré qu'il nécessite un équipement coûteux et une supervision adéquate, selon la stratification du risque du sujet.^(66, 67)

3.1.2.1 Qualités métrologiques du protocole de Bruce

Une étude de Bruce et al. (1973)⁽²⁷⁾, réalisée sur des sujets sains, hommes et femmes, actifs ou sédentaires, et sur des hommes ayant une maladie cardiaque, rapporte une excellente fidélité test-retest du VO₂max chez les sujets sains ($r = 0,990$; SEE = 1,9 ml/kg.min; $n = 67$) de même que chez les patients cardiaques ($r = 0,945$; $n = 12$).⁽²⁷⁾ Dans cette même étude, les auteurs ont utilisé une analyse de régression multiple progressive (stepwise multiple regression analysis) afin de prédire le VO₂max chez les sujets sains indépendamment du test, à partir des caractéristiques physiques des individus seulement.⁽²⁷⁾ Ils ont rapporté un coefficient de corrélation de Pearson (r) entre le VO₂max prédit et le VO₂max mesuré. Les résultats sont résumés au tableau 9 et indiquent qu'il est faisable de prédire le VO₂max d'un individu à partir d'une équation qui tient compte des caractéristiques physiques de celui-ci seulement.

TABLEAU 9 : Coefficients de corrélation de Pearson (r) entre le VO₂max prédit et le VO₂max mesuré pour différents groupes⁽⁶⁵⁾

Groupe (n)	r
Sujets sans condition cardiaque (292)	0,94
Femmes sans condition cardiaque (509)	0,93
Hommes avec maladie cardiaque (153)	0,87

Les mêmes analyses statistiques ont été effectuées pour faire l'estimation du VO₂max à partir des résultats du test, c'est-à-dire du temps obtenu, et du sexe du sujet. Ainsi, chez les sujets sains, le coefficient de Pearson (r) entre le VO₂max estimé et le VO₂max mesuré est de 0,920.⁽²⁷⁾ Ceci explique que l'équation de régression utilisée pour estimer le VO₂max d'un individu est corrélée avec le VO₂max mesuré. Donc, la consommation d'oxygène peut être estimée avec une fidélité adéquate pour des fins cliniques à partir de la durée du test.⁽²⁷⁾ Selon une étude de Foster et al. (1984)⁽⁶⁸⁾, où il y a comparaison entre les VO₂max prédit et mesuré pour les équations générales et les équations spécifiques à différentes populations de Bruce et al. (1973)⁽²⁷⁾, il existe une corrélation élevée entre les VO₂max pour les équations générales ($r = 0,96$), avec un coefficient de corrélation multiple (R) de 0,98 et un erreur-type de l'estimé (SEE) de 3,5 ml/kg.min.⁽⁶⁵⁾

3.1.3 Description du protocole

Les deux sujets ont effectué deux tests d'effort maximal progressif par paliers sur tapis roulant selon le protocole de Bruce. Le tapis roulant utilisé est celui du laboratoire de pathokinésiologie de l'IRGLM et est calibré. Ce test permettra d'obtenir une estimation de leur

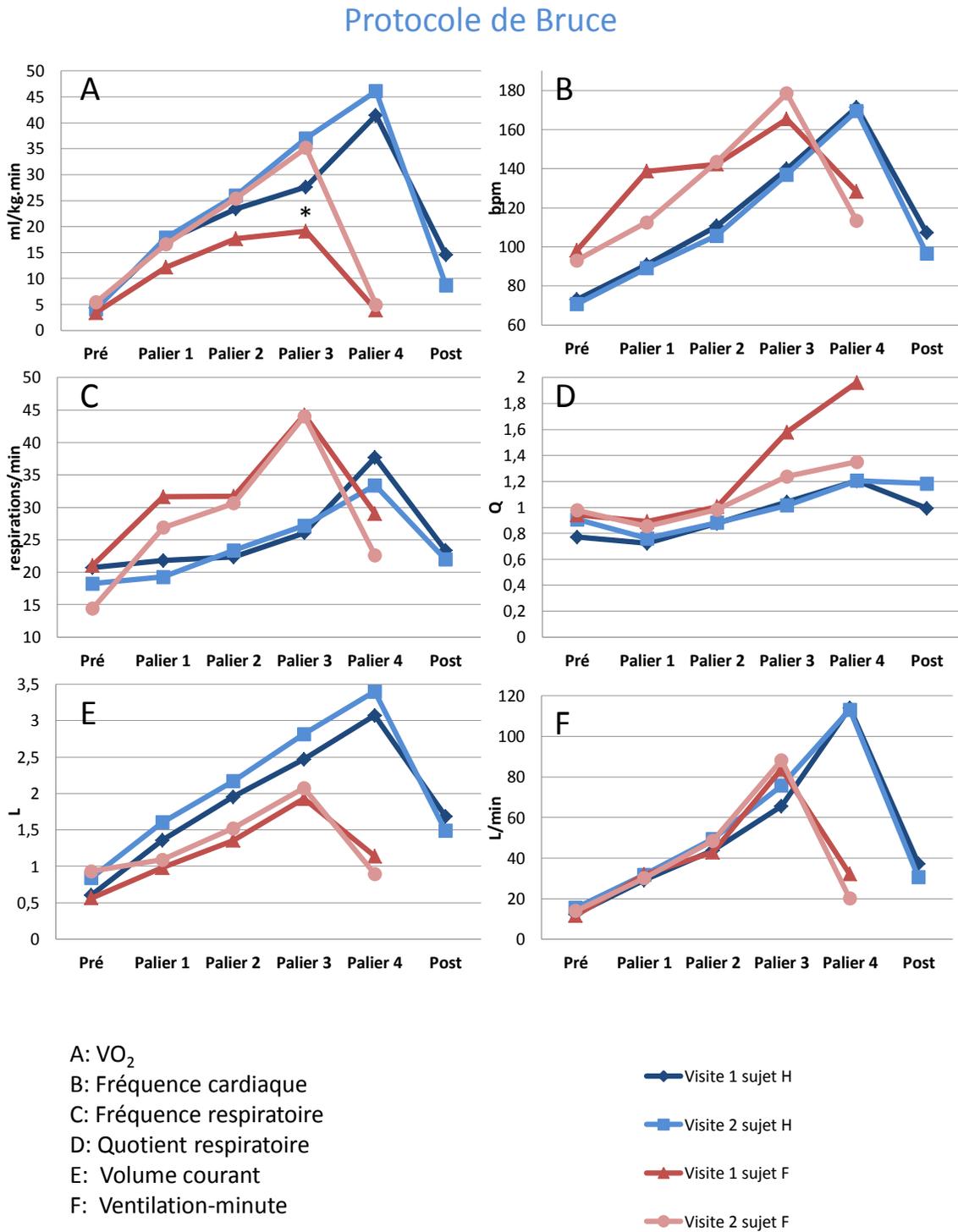
VO₂max et de comparer celui-ci avec le VO₂max mesuré avec le Cosmed K4b². Les résultats serviront à vérifier les hypothèses en lien avec ce protocole.

Avant de débiter le test, à l'accueil du sujet, il est important de s'assurer que le sujet a pris connaissance des recommandations générales pour les épreuves d'effort et qu'il les a respectées (cf. : Introduction, point 1.2.4). De plus, le sujet doit avoir rempli le questionnaire Q-AAP et effectué les prises de données générales préalables au test et son niveau de risque doit avoir été déterminé afin de s'assurer de la supervision requise lors du test. Par la suite, l'émetteur du cardiofréquence-mètre et le Cosmed K4b² sont installés sur le sujet puis un repos pré-test de cinq minutes assis est débuté de même que l'enregistrement des données avec le Cosmed K4b². Pendant ce temps, les explications relatives au test ainsi qu'au déroulement de la séance sont données. Lorsque le sujet est enfin prêt, les paramètres pré-tests sont monitorés debout sur le tapis roulant, tels que décrits dans la méthodologie, et le sujet débute le test (cf. : Section 2 – Méthodologie). L'évaluateur programme le tapis roulant et le sujet commence à marcher. La vitesse et la pente sont augmentées chaque trois minutes par l'évaluateur. Le test prend fin lorsque le sujet est incapable de continuer (à épuisement), qu'il a atteint sa FC_{max prédite} ou tout autre critère d'arrêt (cf. : Introduction, point 1.3 et annexe 7.3.1, point 4) et l'évaluateur note le temps obtenu. Une période de retour au calme d'une durée de six minutes est ensuite prévue, où le sujet marche avec une vitesse confortable et une pente à 0% (0°). À partir du temps de la durée du test, le VO₂max estimé est calculé à partir des équations de régression (cf. : annexe 7.3.1 - point 10).

Tout au long du test, les paramètres cardiorespiratoires, tels le VO₂ et la FC, sont mesurés de façon continue par télémétrie à l'aide du Cosmed K4b². Également, les signes et symptômes d'intolérance à l'effort sont surveillés continuellement. Les autres paramètres monitorés à l'aide des autres instruments de mesure, soit la perception de la difficulté de l'effort, la TA et la saturation d'oxygène, sont mesurés, si possible, dans les dernières 30 secondes d'un palier. Étant donné la difficulté à prendre certaines de ces mesures chez le sujet en mouvement, il est possible que des données demeurent indéterminées. À l'arrêt du test et durant la période de retour au calme, les mêmes paramètres sont monitorés à toutes les deux minutes. Les mesures prises immédiatement à l'arrêt du test correspondent aux valeurs maximales des variables d'intérêt pour l'effort maximal. Le protocole détaillé se trouve à l'annexe 7.3.1 pour plus d'informations.

3.1.4 Résultats

Figure 1 : Graphiques des réponses cardiorespiratoires à un effort progressif sur tapis roulant selon le protocole de Bruce pour les deux sujets; mesures prises avec le Cosmed K4b²



* Valeur aberrante due à un mauvais fonctionnement du Cosmed K4b²

TABLEAU 10 : Réponses cardiorespiratoires à un effort progressif sur tapis roulant selon le protocole de Bruce pour le sujet H; autres instruments de mesure

Sujet H	Au repos		Post-test		Récupération	
					6 min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
TA (mmHg)	121/64	120/67	160/108*	193/139*	127/64	125/82
Saturation d'O ₂ (%)	99	100	90**	100	99	100
Échelle de perception de la difficulté de l'effort (RPE) Borg modifiée			6	5	0	0
Temps total (min)	Test 1 : 14,166 (14min 10sec)		Test 2 : 14,083 (14min 05sec)			
VO ₂ max estimé VO ₂ max = 14,8 – (1,379 x T) + (0,451 x T ²) – (0,012 x T ³) (ml/kg.min)			Test 1 : 51,67	Test 2 : 51,30		

* Données aberrantes dues à une mauvaise lecture par l'appareil (tensiomètre automatique).

** Donnée aberrante due à la mauvaise manipulation de l'appareil (oxymètre de pouls).

TABLEAU 11 : Réponses cardiorespiratoires à un effort progressif sur tapis roulant selon le protocole de Bruce pour le sujet F; autres instruments de mesure

Sujet F	Au repos		Post-test		Récupération	
					6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
TA (mmHg)	112/76	115/73	154/68*	162/79	122/72	129/75
Saturation d'O ₂ (%)	100	100	100	100	100	100
Échelle de perception de la difficulté de l'effort (RPE) Borg modifiée			4	3	0	0
Temps total (min)	Test 1 : 10,166 (10min 10sec)		Test 2 : 9,766 (9min 46sec)			
VO ₂ max estimé VO ₂ max = (4,38 x T) – 3,9 (ml/kg.min)			Test 1 : 40,64	Test 2 : 38,89		

* Étant donné un mauvais fonctionnement de l'appareil, cette mesure a été prise deux minutes post-test, lors de la récupération.

3.1.4.1 Analyse des variables d'intérêt

La figure 1 montre les réponses cardiorespiratoires de chacun des paramètres d'intérêt mesurés avec le Cosmed K4b² en fonction de l'intensité de l'effort. Pour chacune des courbes, chaque palier correspond à la moyenne de la dernière minute d'un plateau complété, soit la troisième minute. Dans l'ensemble, les réponses cardiorespiratoires obtenues au cours du test d'effort maximal démontrent des réponses normales à l'exercice. D'abord, les deux sujets ont une augmentation linéaire de la FC et du VO_2 avec l'augmentation de l'intensité de l'effort, ce qui correspond aux réponses cardiorespiratoires pour un test d'effort maximal. De plus, les réponses de la FR, du V_T et de la V_E sont normales, démontrant une augmentation avec l'augmentation de l'effort. Le V_T a une plus grande contribution que la FR en début d'effort, jusqu'à l'atteinte du seuil ventilatoire, pour augmenter la V_E , ce qui est observé principalement chez le sujet H. L'inverse se produit après le seuil ventilatoire alors que la FR augmente plus que le V_T . La V_E augmente de façon linéaire avec l'augmentation de l'intensité de l'effort jusqu'au seuil ventilatoire puis augmente de façon exagérée avec l'augmentation de la charge de travail, ce qui est bien illustré sur le graphique F pour les deux sujets. Cependant, puisque l'enregistrement des données s'est arrêté après le dernier palier complété et que les points sur le graphique sont ponctuels, il est difficile d'observer l'apparition d'un plateau en fin d'exercice, soit à l'atteinte du VO_{2max} , en fonction de l'augmentation de l'intensité de l'effort pour chacun des paramètres. Toutefois, les données brutes, dont l'analyse ne sera pas effectuée ici, laissent supposer. De plus, l'apparition d'un état stable pour les premiers paliers lors d'un test d'effort progressif par paliers ne peut être démontrée du fait que les points correspondent à la moyenne de la dernière minute du palier, pendant laquelle cet état stable pourrait être obtenu et démontré sur un graphique en continu. Ainsi, les différents paramètres cardiorespiratoires mesurés sont en relation avec l'augmentation de l'intensité. Pour ce qui est du retour au calme pour ces paramètres, soit la FR, le V_T , le VO_2 et la V_E , une réponse normale est observée par la diminution des paramètres autour de la valeur pré-test à la fin de la période de récupération de six minutes. Seule la FC a une diminution moindre après six minutes de récupération, c'est-à-dire qu'elle reste un peu plus élevée que la valeur pré-test et correspond à une récupération plus lente de sa valeur de repos. Ceci peut être expliqué par le fait que la période de retour au calme est active et par la dette en oxygène. Quant au quotient respiratoire, les deux sujets démontrent une réponse anormale en fin d'exercice et ce, plus particulièrement pour le sujet F. Selon la littérature⁽⁶⁵⁾, pour un quotient respiratoire plus élevé que 1,2, un sujet hyperventile et présente une intolérance à l'effort, mais au cours de chacun des tests, aucun des sujets n'a présenté de signes et symptômes quelconques.

Les tableaux 10 et 11 représentent les autres variables mesurées par divers instruments de mesure et qui ont été prises durant les tests. Pour le sujet H, la TAS augmente avec l'augmentation de l'intensité de l'effort, ce qui représente une réponse normale. Cependant, la TAD ne répondrait pas normalement à l'effort puisqu'il y a une augmentation de plus de 15 à 20 mmHg de la TAD et celle-ci est de plus de 90 mmHg, ce qui représente un critère d'intolérance à l'effort. De même, lors du test 1, la TAD est de 139 mmHg, ce qui serait un critère d'arrêt de l'exercice ($TAD \geq 115$ mmHg). Toutefois, en aucun temps le sujet ne s'est plaint de symptômes ou aucun signe (sauf la TAD) n'a été observé durant les tests suggérant une intolérance, ce qui permet de conclure que ces données sont aberrantes. Pour le sujet F, les réponses cardiorespiratoires de la TAS et de la TAD sont normales. De plus, pour les deux sujets, les réponses lors de la période de récupération sont normales. Ensuite, la saturation en oxygène reste dans les valeurs normales pour les deux sujets au cours de l'exercice et lors du retour au calme sauf la présence d'une valeur aberrante en post-test pour le test 1 du sujet H, la mesure de la récupération étant normale pour les autres paramètres. Pour ce qui est de la perception de la difficulté de l'effort, il n'y a pas d'association entre la difficulté de l'effort et les données suivantes pour le sujet F : la FC, le VO_2 et la V_E . Par contre, elle se retrouve tout de même dans une zone correspondant à des effets d'entraînement à une intensité moyenne ou élevée (3 à 6 sur l'échelle de Borg modifiée). Les cotes obtenues de 3 et 4 sont relativement basses pour les valeurs des paramètres mesurées. Pour le sujet H, l'association est plus forte entre les 3 variables FC, VO_2 , V_E et la perception de la difficulté de l'effort, les cotes obtenues étant plus élevées.

Le protocole de Bruce permet d'estimer un VO_{2max} à partir de la durée du test à l'aide de formules spécifiques selon le genre (cf. : annexe 7.3.1, point 10).⁽⁶⁸⁾ En prenant la valeur sommet du VO_2 obtenu lors du meilleur des deux tests pour le sujet H, le VO_{2max} mesuré est de 48,57 ml/kg.min (cf. : figure 1) et le VO_{2max} estimé est de 51,67 ml/kg.min (cf. : tableau 10), ce qui représente une légère surestimation du VO_2 . Pour le sujet F, le VO_{2max} mesuré est de 43,19 ml/kg.min (cf. : figure 1) et le VO_{2max} estimé est de 38,89 ml/kg.min (cf. : tableau 11), ce qui correspond à une légère sous-estimation du VO_2 . Il est à noter que ces résultats (sujet F) sont basés sur ceux du test 2 puisque ceux du test 1 sont aberrants, probablement dû à un mauvais fonctionnement du Cosmed K4b². Il est aussi possible de calculer le pourcentage de la $FC_{max\ prédite}$ obtenue lors du test à l'aide de la valeur sommet mesurée par le Cosmed K4b² et obtenue au meilleur test. Pour le sujet H, il atteint 93,9% (184 bpm) de la $FC_{max\ prédite}$ (196 bpm \pm

10 à 12 bpm) et pour le sujet F, il atteint 94,4% (184 bpm) de la $FC_{\max \text{ prédite}}$ (195 bpm \pm 10 à 12 bpm). Ainsi, les $FC_{\max \text{ prédites}}$ ont été atteintes pour les deux sujets (cf. : figure 1).

3.1.4.2 Différences inter-sujet

Le sujet H a des valeurs plus élevées pour le V_T , le VO_2 , la V_E et la TAS. Comme le sujet H a un meilleur VO_2 et que la V_E augmente proportionnellement avec l'augmentation du VO_2 , ceci explique qu'elle est plus élevée. Inversement, il est aussi intéressant de noter que puisque le sujet H a une V_E plus élevée, il a plus d' O_2 disponible donc un $VO_{2\max}$ plus élevé. Il est également démontré que les femmes ont une ventilation inférieure à celle des hommes.⁽⁴⁵⁾ Ceci se traduit par des volumes pulmonaires supérieurs chez l'homme comparativement à la femme, qui s'explique par des poumons plus gros chez l'homme et donc une surface totale alvéolaire plus importante de même que par un diamètre des voies respiratoires plus grand chez l'homme.⁽⁴⁵⁻⁴⁷⁾ Cependant, il ne semble pas avoir de différence entre les genres au niveau des propriétés élastiques du poumon et des compliances thoracique et pulmonaire.⁽⁴⁶⁾ La FC, la FR et le quotient respiratoire pré-test sont plus élevés pour le sujet F et ceci se poursuit durant l'effort. Les paramètres plus élevés pour le sujet F pourraient expliquer l'arrêt plus tôt du test par ce sujet puisqu'elle atteint ses valeurs sommet plus rapidement que le sujet H. Toutefois, selon les écrits, le quotient respiratoire devrait être plus élevé pour un homme que pour une femme et il ne devrait pas avoir de différence entre les sujets pour la FC à l'exercice (démonstré pour un exercice musculaire en résistance⁽⁴¹⁾). Les différences observées dans la présente étude sont possiblement le résultat de l'appareil qui a fonctionné inadéquatement à quelques reprises. Les différences peuvent aussi être dues au fait que le sujet H pratique la course à pieds comme activité (cf.; tableau 1) alors que le sujet F est moins à l'aise avec ce sport, ce qui peut prolonger la durée du test pour le sujet H étant donné une familiarisation avec cette activité. Cependant, il faut faire attention à l'interprétation des résultats puisqu'il s'agit d'une étude avec un faible nombre de participants (deux).

3.1.4.3 Effet de familiarisation

L'analyse des courbes permet aussi de vérifier s'il y a eu un effet de familiarisation entre la passation des deux tests. Que ce soit pour le sujet H ou pour le sujet F, il ne semble pas avoir eu une habitude au deuxième test, c'est-à-dire que les performances ne sont pas meilleures lors de la deuxième séance comparativement à la première. Même si la consommation d'oxygène est plus élevée tout au long du second test pour le sujet F, il n'est pas possible d'affirmer qu'il s'agisse d'un réel effet de familiarisation puisque la vitesse et la pente sont les

mêmes lors des deux séances. Tel que mentionné ci-dessus, il semble avoir des données aberrantes pour le test 1 du sujet F pour le VO_2 , ce qui pourrait mieux expliquer le plus gros écart entre les deux tests.

3.1.5 Recontextualisation

3.1.5.1 Dans le cadre d'une étude clinique

Dans la présente étude, des réponses cardiorespiratoires normales et reflétant les réponses à un test d'effort maximal ont été obtenues par les deux sujets lors du protocole de Bruce, une épreuve d'effort progressif par paliers sur tapis roulant. Les sujets ont atteint la valeur cible de la $FC_{\text{max prédite}}$, ce qui concorde avec un effort maximal. Ainsi, les résultats de ce test pourront servir de comparatif pour d'autres tests d'effort maximal afin de vérifier si ceux-ci amènent aussi les sujets à un effort maximal, tout en prenant en considération le type d'effort demandé par chacun des tests (MS's vs MI's). De plus, les valeurs de $VO_2\text{max}$ estimé par ce test sont similaires aux valeurs de $VO_2\text{max}$ mesuré directement par le Cosmed K4b², ce qui vient démontrer la validité de ce protocole d'effort. Par cet exemple, il est donc possible de conclure que le protocole de Bruce est un protocole valide pouvant servir de test d'effort maximal autant en clinique qu'en laboratoire et il est facile d'application si les installations le permettent.

3.1.5.2 Chez les individus ayant subi une LM

Le protocole de Bruce est un test conçu pour des sujets marcheurs et aucune adaptation n'a été faite à ce protocole pour qu'il soit utilisable avec une clientèle en fauteuil roulant. Il s'agit donc d'un test pour les individus ayant subi une LM et qui ont la possibilité de marcher, c'est-à-dire qui sont classés AIS D selon l'échelle de classification d'incapacités d'ASIA.⁽¹³⁾

Partie individuelle 2

3.2.1 Protocole standardisé d'effort sous maximal et soutenu : Test de marche de six minutes - sujets sains marcheurs

3.2.2 Protocole d'effort sous maximal et soutenu : Test de propulsion manuelle de six minutes en fauteuil roulant - sujet sains utilisant un fauteuil roulant manuel

Martin Gagnon

Mai 2012

Université de Montréal

3.2.1 Protocole standardisé d'effort sous maximal et soutenu : Test de marche de 6 minutes - sujets sains marcheurs

3.2.1.1 Recension des écrits

L'utilisation de tests de marche pour évaluer la condition cardiorespiratoire d'une personne est de plus en plus présente dans les milieux cliniques. Cependant, cela fait plus de 50 ans que les écrits en discutent. Au début des années 60, Balke décrit un test de marche afin d'évaluer la capacité fonctionnelle d'une personne en mesurant la distance de marche sur une période de temps déterminée⁽⁷²⁾. Par la suite, Cooper développe un outil d'évaluation de performance physique pour les jeunes sujets en santé par un test de course de 12 minutes⁽⁷²⁻⁷⁴⁾. C'est à Mc Gavin and coll, en 1976, que revient le mérite d'avoir élaboré pour la première fois un test de marche intérieur de 12 minutes (12MWT) qui était en fait une adaptation du test de Cooper⁽⁷²⁾. C'est à partir de ce moment que les tests de marche ont fait une apparition plus fréquente dans les milieux cliniques et ont été fortement étudiés par les chercheurs, partout à travers le monde. Une batterie de tests de marche ont ensuite été développés : test de 2 et de 6 minutes de marche⁽⁷³⁾, « self paced walk test » (Bassey and coll 1976), shuttle walking test (Singh and coll 1992). La revue systématique qualitative de Solway and al., publiée en 2001, compare cette série de tests entre eux et prétend que le test de marche de 6 minutes au corridor (6MWT) serait le plus facile à administrer, le mieux toléré et le plus représentatif des AVQ pour une clientèle atteinte de pathologie cardiopulmonaire. Bien que le test de marche initial développé par Balke en 1963 était proposé à titre de mesure d'évaluation de patient gériatrique admis en milieu hospitalier⁽⁷⁵⁾, le 6MWT a pour sa part été analysé avec plusieurs clientèles, telles que la clientèle atteinte de fibromyalgie,^(76, 77) d'AVC⁽⁷⁸⁾ ou d'ostéoarthrite⁽⁷⁹⁾. Dans un contexte cardiopulmonaire, l'ATS décrit le test de 6 minutes de marche comme étant une mesure de la réponse à l'intervention médicale chez un patient avec une atteinte modérée à sévère du système cardiaque ou pulmonaire et aussi en tant qu'indicateur du statut fonctionnel, de mortalité et morbidité⁽⁷²⁾. Ces nombreuses études donnent une plus grande portée clinique au 6MWT.

Une étude d'Elpern et coll. (2000), élaborée sous forme de questionnaire ayant été envoyé dans plus de 75 programmes de réadaptation pulmonaire aux Etats-Unis, démontre que plus de 80% de ceux-ci utilisent un test de marche à l'évaluation initiale⁽⁸⁰⁾. De ce lot, 87% utilise le 6MWT. Par contre, Elpern et coll. (2000) rapporte également que, dans 58% des cas, les thérapeutes utilisent ce test avec des instructions non-standardisées, principalement sur la longueur du corridor, l'exécution en groupe et l'émission des consignes et encouragements par

le thérapeute. Pourtant, la littérature démontre bien l'influence de ces facteurs sur la performance du patient. L'article de Paul L. Enright en 2003 comporte une étude de Roomi qui démontre une augmentation de 30% de la performance (distance de marche) lorsque le test est effectué en groupe⁽⁸¹⁾ et de plus de 30m sur la distance totale parcourue lorsque le patient est encouragé⁽⁷⁴⁾.

Il semble alors, selon les écrits, que le 6MWT est le test de marche le plus efficace parmi la série de tests présentés dans la littérature pour une clientèle atteinte de complications cardiorespiratoires et ayant la capacité de se déplacer à la marche avec ou sans auxiliaire. Les qualités métrologiques décrites à la page suivante expliqueront plus précisément cette conclusion.

3.2.1.2 Justification du protocole pour l'étude

3.2.1.2.1 Qualités métrologiques du 6MWT

Les qualités métrologiques du 6MWT ont été étudiées par de nombreuses études afin d'augmenter la portée clinique de celui-ci. Premièrement, le guide pratique de l'ATS évoque que le 6MWT ne prédit ni le VO_2 max ni les cause de dyspnée ou de limitation à l'exercice⁽⁶²⁾. Ce guide décrit une meilleure corrélation de ce test avec la qualité de vie qu'avec le VO_2 max. Pourtant, une étude de Hamilton en 2000 démontre une corrélation linéaire modérée entre le 6MWT et la capacité fonctionnelle (METS) d'un patient ($r = 0.687$, $P < 0.001$)(82) qui, elle, est un calcul directement lié à la mesure du VO_2 max. Trois autres études démontrent également des relations linéaires modérées à importantes ($r=0.56$ to $r=0.88$) entre le 6MWT et le VO_2 max mesuré avec un test maximal.^{(83) (84, 85)} L'interprétation de la validité du 6MWT demeure donc limitée. Cependant, Butland démontre une corrélation de $r = 0,995$ entre le 12MWT et le 6MWT, excluant la pertinence clinique du 12MWT⁽⁷⁴⁾. Pour sa part le 2MWT ne serait pas suffisamment long puisque l'atteinte de plateau du VO_2 est perçue après 3 minutes⁽⁸⁶⁾ et ne serait pas représentatif des AVQ⁽⁷⁴⁾. Ces observations permettent de croire que le 6MWT serait définitivement le temps le plus adéquat à utiliser pour un test de marche.

Les études élaborent fréquemment sur l'effet du test-retest du 6MWT^(82, 87) Dans l'ensemble, la corrélation interclasse est entre 0,88 et 0,97 chez une clientèle cardiorespiratoire. Demers and coll. décrit une corrélation de 0,90 si exécutée la même journée, 0,88 après 18 semaines et 0,91 après 43 semaines⁽⁸⁷⁾. Ainsi, il est possible de voir que cette corrélation perdure dans le temps. La présence de comorbidité telle que diabète et hypertension diminuerait la corrélation à 0,80 après 1 an⁽⁸⁸⁾. Sommes toutes, les nombreuses corrélations chez les

populations atteintes au niveau cardiorespiratoire confirment la pertinence de l'utilisation d'un tel outil en tant qu'évaluation sous-maximale des capacités fonctionnelles.

3.2.1.2.2 Interprétation des résultats

Plusieurs chercheurs se sont également penchés sur l'interprétation des résultats obtenus lors du 6MWT. Des études faites sur des centaines de sujets démontrent une moyenne de la distance de marche parcourue entre 367m et 484m chez une femme et entre 400m et 631m chez les hommes⁽⁸¹⁾. Une étude de Redelmeyer, sortie en 1997, sur une population avec atteinte cardiaque sévère, mais stable, note qu'une différence de 54m lors de la réévaluation d'un sujet serait considérée comme étant significative⁽⁸⁹⁾. De plus, l'effet de familiarisation a grandement été étudié. Une amélioration du 6MWD de 0 à 17% est perceptible au retest à l'intérieur des 48h, mais un plateau serait atteint après l'exécution de plus de deux tests dans une même semaine. La prise de médication, pour sa part, n'a pas été considérée comme facteur modifiant la performance⁽⁷²⁾. Par contre, ils recommandent grandement de noter ceux-ci afin de les considérer entre plusieurs tests chez une même personne⁽⁷²⁾.

Une étude de Trooters, en 2002⁽⁹⁰⁾, note une atteinte de plateau du VO₂ de pointe après la troisième minute du test, décrivant l'évolution d'une épreuve d'effort sous-maximale. Une étude de Ross et coll., publiée en 2010, faite sur 1083 sujets, note une erreur de 3,82 mL/Kg.min sur la prédiction du VO₂max avec le 6MWT. Cette prédiction nous permet d'élaborer une approximation du VO₂ de pointe associée à la distance de marche et ainsi limiter la pertinence de l'ensemble des instruments de monitoring pendant le test. Les auteurs proposent une équation utilisant la distance de marche (6MWD) moyenne en réponse au test⁽⁹¹⁾ :

$$\text{Mean peak VO}_2 = 4,948 + 0,023 \times \text{Mean 6MWD (SEE 1,1ml/Kg.min)}$$

Pour ce calcul, tout individu ayant une capacité aérobique normale ou une valeur supérieure à 600m au 6MWD est exclus.

3.2.1.3 Description du protocole

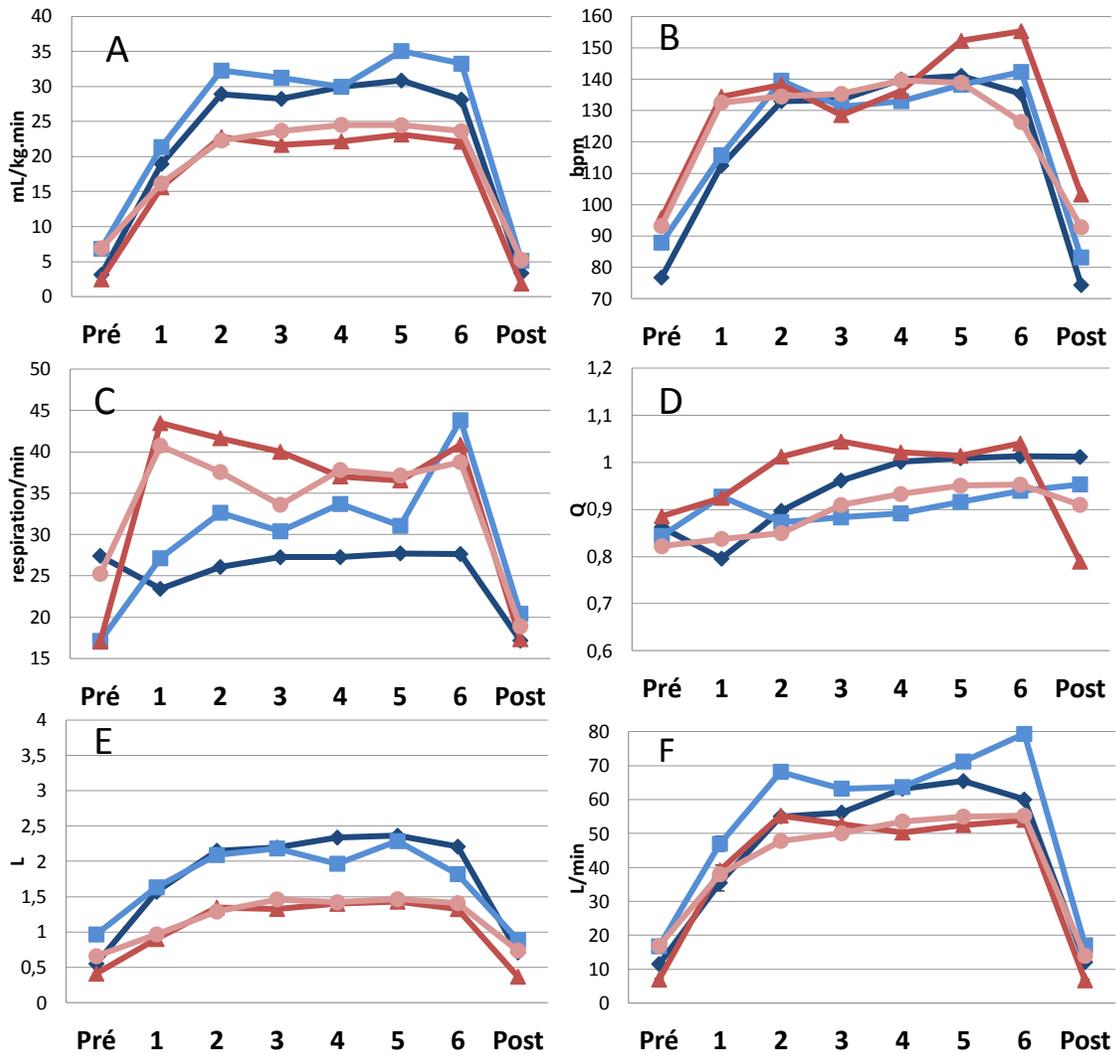
Le tableau 21 en annexe (section 7.2.2) décrit les deux différents protocoles existants du 6MWT dans la littérature actuelle. Premièrement, un protocole standard a été publié sous forme de guide pratique par l'*American Thoracic Society* (ATS), en 2002, à la suite d'un consensus d'experts⁽⁶²⁾. Les écrits démontrent que les énoncés de ce guide sont identiques à ce qu'ont décrits plusieurs études auparavant^{(65) (92)} utilisant comme source primaire le protocole utilisé dans l'étude de Butland en 1982⁽⁶³⁾. Un corridor de 30m est exigé ainsi que des encouragements fixes et standardisés qui permettent d'éviter, selon eux, des facteurs qui

pourraient modifier la performance du sujet. Les auteurs suggèrent plusieurs paramètres d'évaluation de la réponse cardiorespiratoire tels que l'échelle de Borg modifiée, la FC, la SpO₂, les signes et symptômes, la présence de pause lors du test et la distance parcourue. Le second protocole, élaboré par Trooters and all en 2002⁽⁹⁰⁾, utilise un corridor de 90m et des encouragements non-standardisés par un physiothérapeute. L'appareil Cosmed K4b² est utilisé pour la prise de données des réponses cardiorespiratoires à l'effort. Ce second protocole a été créé afin d'analyser l'influence des modifications de consignes verbales lors d'un essai clinique non-randomisé à petit échantillon. Comme ce dernier est moins standard et moins utilisé dans la littérature, les auteurs de l'étude actuelle ont opté pour le protocole de l'ATS pour exécuter le 6MWT chez les sujets sains. La description spécifique de celui-ci se retrouve en annexe.

3.2.1.4 Résultats

Figure 2 : Graphiques des réponses cardiorespiratoires à un effort sous-maximal et soutenu au test de marche de 6 minutes au corridor pour les deux sujets; mesures prises avec le Cosmed K4b²

Test de marche de 6 minutes au corridor



A: VO_2

B: Fréquence cardiaque

C: Fréquence respiratoire

D: Quotient respiratoire

E: Volume courant

F: Ventilation-minute

—●— Visite 1 sujet H

—■— Visite 2 sujet H

—▲— Visite 1 sujet F

—●— Visite 2 sujet F

TABLEAU 12 : Réponses cardiorespiratoires à un effort sous-maximal et soutenu au test de marche de 6 minutes au corridor pour le sujet H (homme) ; autres instruments de mesure

Sujet H	Au repos		Post-test		Récupération	
			6min		6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Tension artérielle	105/63	125/65	159/89	145/123	129/74	110/66
Saturation O ₂	100	99	100	100	100	100
Échelle de perception de la difficulté à l'effort (RPE) Borg modifiée			1	1	0	0
Distance parcourue	Test 1 : 834m Test 2 : 867,5m					

TABLEAU 13 : Réponses cardiorespiratoires à un effort sous-maximal et soutenu au test de marche de 6 minutes au corridor pour le sujet F (femme) ; autres instruments de mesure

Sujet F	Au repos		Post-test		Récupération	
			6min		6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Tension artérielle	103/66	102/61	136/78	138/77	117/72	112/65
Saturation O ₂	100	100	100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée			1	1	0	0
Distance parcourue	Test 1 : 677m Test 2 : 679,5m					

3.2.1.4.1 Analyse des variables d'intérêt

La figure 2 démontre les résultats obtenus pour l'ensemble des variables étudiés par l'appareil Kosmed-K4. Les tableaux 12 et 13, quant à eux, comparent les réponses physiologiques à l'effort obtenues à partir des instruments de mesures autres que le Cosmed-K4.

Une réponse normale à l'effort est observée pour les variables d'intérêts suivantes : VO_2 , FC, SatO₂, RPE, TAS, volume courant, ventilation minute. Effectivement, elles augmentent proportionnellement à l'intensité de l'effort pour les deux sujets. Comme le 6MWT est un test sous-maximal, il est possible de noter la présence d'un plateau lorsqu'une intensité sommet est atteinte. En comparaison avec l'étude de Trooters en 2002⁽⁹⁰⁾ qui décrit une atteinte de plateau après 3 minutes, les sujets de la présente étude atteignent celui-ci après seulement 2 minutes, ce dernier étant maintenu jusqu'à la fin du test. Ceci pourrait être expliqué par la bonne forme physique des sujets comparativement à la population de l'étude de Trooters qui comportait des sujets avec affections cardiovasculaires. La valeur sommet atteinte chez le sujet H est de 25 m/kg.min et de 35mL/Kg.min pour le sujet F, ce qui correspond à un effort modéré selon le guide de l'ACSM(24). Il est impossible de valider la formule de calcul du VO_2 max proposé par Ross and al.⁽⁸⁰⁾ puisque les deux sujets ont dépassé la valeur limite de 600m lors de la performance de l'épreuve. La fréquence cardiaque, quant à elle, atteint des valeurs sommets à 80% (156bpm) de la FC maximale prédite chez le sujet F et de 71% (140bpm) chez le sujet H. Elle répond de façon similaire au VO_2 puisque la pente diminue considérablement après 2 minutes du test pour imiter un plateau jusqu'à la fin du test. Pour ces deux dernières variables, la récupération suit la réponse normale en diminuant progressivement vers le retour aux valeurs du repos. Ainsi, la fréquence cardiaque diminue d'un ratio supérieur à 12 battements par minutes dans la période de récupération, confirmant une réponse adéquate cardiorespiratoire.

La fréquence respiratoire, pour sa part, répond de façon moins habituelle à l'effort, démontrant une séquence de données aberrantes de l'instrument dès la première minute du test pour le sujet F et pour lors de chacune des deux épreuves du 6MWT lors de la dernière minute. Effectivement, le graphique C démontre que la valeur sommet du sujet F est à la première minute, tandis qu'elle devrait être à l'atteinte maximale d'intensité, démontré ci-haut comme étant à la deuxième minute selon la valeur du VO_2 . On observe aussi que la valeur sommet se retrouve à la fin du test pour trois des quatre épreuves. Même s'il était possible de croire en une compensation de la fréquence respiratoire pour ajuster le volume expiratoire, la normalité de la courbe du volume courant dans le graphique E porte à éliminer cette théorie. Ainsi, un facteur personnel propre au sujet pourrait être à considérer.

Le quotient respiratoire confirme également une réponse d'effort sous-maximale. Malgré que les valeurs initiales des deux sujets soient légèrement au dessus de 0,8, l'augmentation

progressive de la pente ne dépassant par la zone d'hyperventilation démontre une réponse normale pour ceux-ci pendant l'effort. En effet, la valeur sommet chez le sujet masculin est de 1 et de 1,05 chez le sujet féminin. Cependant, le retour à la normal semble vouloir tarder, ce qui pourrait être expliqué par la difficulté à prendre des inspirations optimales avec la mise en place du masque du Cosmed-K4b2.

La TAS répond adéquatement à l'effort pour les deux sujets pendant l'effort, augmentant avec l'augmentation de l'effort pour atteindre des sommets entre 136 (sujet F) et 159 (sujet H) mmHg. La TAS du test 1 récupère lentement à la suite du test chez le sujet H, tandis que la valeur de son test deux semble démontrer une vasodilatation provoquant une baisse plus importante que la TAS initiale de repos. La TAD, quand à elle, décrit une réponse normale chez le sujet F avec une légère augmentation qui demeure sous 80 mmHg. Chez le sujet H, une réponse comparable à celle d'un critère d'arrêt est détectée au test 2 avec une valeur sur l'appareil de 123 mmHg. Par contre, considérant qu'aucune autre variable chez ce sujet n'est anormale et qu'aucun signes et symptômes d'intolérance ne sont présents au même moment du test, nous considérons que la donnée prise par le sphygmomanomètre est aberrante. Ceci est appuyé par la donnée de récupération qui est normale. Le test 1 du sujet H démontre pour sa part une réponse normale à l'effort.

. La saturation en O₂ des deux sujets est constante et normale tout au long du test. L'échelle de Borg a également noté une très faible difficulté à l'effort perçue par les sujets, ayant un maximum atteint de 1, après 6 minutes d'effort. Ce résultat semble être sous-estimé, possiblement puisque les sujets sains utilisés dans l'étude sont deux athlètes de compétition qui dépassent fréquemment leurs limites théoriques d'intensité de l'effort.

3.2.1.4.2 Effet de familiarisation

Afin d'évaluer l'effet de familiarisation aux tests effectués, une comparaison de certaines données de notre collecte est analysée pour chacun des participants, de façon individuelle. Premièrement, chez le sujet F, l'évolution de la perception de la difficulté de l'effort demeure la même pour le test-retest et les réponses cardio respiratoires observés dans les graphiques du tableau 4.2.1 sont comparables. Une amélioration de 0,3% (2.5m) de la distance de marche et une diminution du quotient respiratoire de 9% au retest sont notées. Deuxièmement, le sujet H ne démontre aucune amélioration au niveau des réponses cardiorespiratoire et de la perception de la difficulté de l'effort. Cependant, une augmentation de 4% (35,5 m) de la distance de marche et une diminution de 8% du quotient respiratoire

sont présentes. Puisque la distance notant un changement significatif est de 70 m et que nos deux sujets présentent une amélioration de la distance de marche nettement inférieure à ce changement lors du retest, nous ne pouvons confirmer un effet réel de familiarisation pour ce test. Les changements perçus peuvent alors être secondaires à des facteurs intrinsèques qui peuvent varier d'une séance à l'autre ; motivation, fatigue musculaire et mentale, etc. Rappelons que les tests ont été effectués à des moments différents de la journée et que les deux sujets s'entraînent tous les jours, pouvant amener des modifications dans le comportement et l'énergie disponible entre le test et le retest.

3.2.1.4.3 Différences inter-sujet

Il est décrit en introduction les différences cardiorespiratoires et les réponses normales selon le sexe. Ainsi, nous savons que les hommes ont souvent de meilleures performances que les femmes pour des épreuves d'effort cardiorespiratoire entre 2 sujets ayant une condition physique similaire. Le test de marche de 6 minutes au corridor démontre une performance plus grande de 23% à la première visite et de 28% à la deuxième visite pour le sujet H, comparativement au sujet F. De plus, le sujet H atteint un VO_2 de pointe supérieur de plus de 40%. Cette différence est également perceptible pour d'autres données reliées au système cardiorespiratoire, tel que le volume courant. L'évolution de la fréquence cardiaque, de la ventilation-minute et de l'échelle de Borg est similaire pour les deux sujets malgré que le VO_2 de pointe et de la distance de marche chez le sujet H sont plus élevés. La fréquence respiratoire répond différemment pour chacun des sujets. Les valeurs sont globalement plus élevées chez le sujet F puisqu'elle semble compenser pour un bas volume courant. Effectivement, comme il est reconnu $V_E = FR \times V_T$, la fréquence respiratoire doit s'adapter au Volume courant (V_T) afin de maintenir un volume expiratoire similaire. Somme toute, les performances plus élevées et les réponses cardiorespiratoires démontrant un effort moins important du sujet H permettent de confirmer nos attentes secondaires aux différences de performance entre un sujet homme et un sujet femme.

3.2.1.5 Recontextualisation

3.2.1.5.1 Dans le cadre d'une étude clinique

Les sujets étant deux jeunes athlètes de niveau universitaire, les résultats obtenus dans ce test peuvent être biaisé par un effet plafond, faisant en sorte que les sujets performant et répondent très bien à l'effort tout en ayant une perception de la difficulté de l'effort très faible. Cependant, il est primordial pour ce type d'étude de posséder un outil comparatif avec un test

sous-maximal. Le protocole semble donc le plus adéquat à utiliser pour la situation actuelle. Le test aurait assurément un pouvoir plus grand d'interprétation si la population de l'étude possédait des capacités cardiorespiratoires moindres.

3.2.1.5.2 Chez les individus ayant subi une LM

Le choix d'un protocole d'effort sous maximal et soutenu est très approprié et validé pour une clientèle atteinte de problèmes cardiorespiratoires. Comme nous savons que les personnes ayant subi une LM présentent des atteintes importantes de leurs systèmes cardiaques et pulmonaires, l'utilisation de ce test est adéquate. Cependant, comme il s'agit d'un test de marche, il faut s'assurer que le sujet puisse marcher avec ou sans A.T. pour une durée minimale de 6 minutes afin de pouvoir interpréter de façon optimale les résultats obtenus. Une version adaptée pour les sujets utilisateurs du fauteuil roulant a été créée et sera décrite dans la section 3.2.2.

3.2.2 Protocole d'effort sous-maximal et soutenu : Test de propulsion manuelle de 6 minutes en fauteuil roulant - sujets sains utilisant un fauteuil roulant manuel

3.2.2.1 Recension des écrits

La mise en contexte de l'introduction démontre bien l'importance de l'évaluation cardiorespiratoire chez la clientèle blessée médullaire. Pour la plupart, l'utilisation du fauteuil roulant est essentielle pour améliorer leur fonction et leur qualité de vie.⁽⁹³⁾⁽⁹⁴⁾ Plusieurs tests d'effort sous-maximaux sont décrits dans la littérature. En effet, des tests sur tapis roulant, sur rouleaux et même directement au sol sont proposés par les chercheurs⁽⁹³⁾, mais semblent cliniquement très peu utilisés dans la réalité du processus de réadaptation chez le blessé médullaire. Ils sont fréquemment trop longs et difficiles de compréhension pour le clinicien et requièrent du matériel spécifique ou un espace trop grand pour ce que possèdent les centres de réadaptation actuels. Un tout nouveau test élaboré par Gagnon et coll. a été développé au Québec, considérant les lacunes cliniques propres au système de santé québécois chez cette clientèle⁽⁹⁴⁾.

Des études préliminaires sont présentement en cours afin d'évaluer les qualités métrologiques de celui-ci⁽⁹³⁾. Il se veut très prometteur, étant une adaptation du test de six minutes de marche chez le marcheur, test ayant, à ce jour, été standardisé chez plusieurs clientèles (voir section 3.2.1). Il intègre des adaptations propres aux caractéristiques fonctionnelles d'un sujet atteint d'une lésion médullaire, utilisateur de fauteuil roulant. Puisque que le test de 6

minutes de marche est un test sous-maximal qui prétend être une approximation bien définie du VO_2 max chez une population avec atteinte pulmonaire⁽⁸⁰⁾, tout porte alors à croire que les études actuelles du nouveau protocole de Gagnon et coll. pourraient mener à des conclusions similaires à la précédente pour une clientèle utilisatrice du fauteuil roulant.

3.2.2.2 Justification du protocole pour l'étude

Tenant compte que ce test est émergent dans le domaine de l'évaluation cardiorespiratoire chez les utilisateurs de fauteuil roulant, un seul et unique protocole a été décrit dans la littérature⁽⁹⁴⁾. Effectivement, aucun autre protocole proposant les éléments de figure en 8 et d'arrêt n'a été soulevé par la recension des écrits. Dans le contexte de notre étude, quelques modifications qui seront vus plus loin ont été apportées au protocole afin que ce test soit plus comparable avec le 6MWT et plus facile à exécuter pour les sujets, considérant l'environnement physique du site d'évaluation. Ce nouveau test sera mis à l'épreuve dans ce travail afin d'analyser ses résultats chez des sujets sains et le comparer à d'autres tests cardiorespiratoires, dont le test de marche de six minutes.

3.2.2.2.1 Qualités métrologiques du 6WPT

Une faible quantité d'étude évalue le récent protocole du 6WPT. Un coefficient de corrélation interclasse de 0,980 a été observée dans un étude du groupe de Gagnon et coll.(93). De plus, un changement de 7.5% est nécessaire pour être considéré comme significative. Aucun MCID n'a encore été évalué à ce jour.

3.2.2.3 Description du protocole

Tel qu'énoncé préalablement, le protocole choisi est une adaptation de celui qui a été proposé par Gagnon et Roy afin d'évaluer la pertinence et l'efficacité d'un tel outil au niveau clinique dans l'évaluation fonctionnelle et cardiorespiratoire chez les patients blessés médullaires. Selon leur étude préliminaire publiée en 2010⁽⁹⁵⁾, ce test a été inspiré d'une variété de test de performance en fauteuil roulant déjà existants. Selon les auteurs, ce test évalue trois différentes sphères, soit les paramètres spatio-temporels (cadence, distance parcourue), les caractéristiques cinétiques (force appliquée sur la roue) et les réponses cardiorespiratoires (VO_2 , volume expiratoire, FC max,) Nous avons modifié certains paramètres de ce protocole afin de le standardiser davantage avec le test de marche de 6 minutes, ce dernier étant beaucoup plus décrit dans la littérature scientifique. Effectivement, une longueur de 30m a été utilisée comparativement à 25m selon le protocole initial. D'une part, ce changement permettait d'offrir

une distance de parcours identique à celle utilisée lors du test de marche de 6 minutes et d'une autre part, l'emplacement où le test fût administré assurait un espace plus vaste pour le pivot aux extrémités, considérant que nos sujets sains, donc non utilisateur de fauteuil roulant, étaient plus ou moins habitués de manœuvrer un tel appareil. Globalement, le sujet débute au centre du parcours. Au signal de l'évaluateur, il doit initier la propulsion et faire un pivot autour d'un cône se situant à 15 mètres, revenir et faire un arrêt au centre. Au prochain signal de l'évaluateur, il refait le même trajet dans le sens opposé du parcours. La distance totale effectuée est mesurée après 6 minutes. Le protocole détaillé est disponible dans l'annexe 7.3.3 joint au document.

3.2.2.4 Résultats

Figure 3 : Graphiques des réponses cardiorespiratoires à un effort sous-maximal et soutenu au test de propulsion manuelle de 6 minutes en fauteuil roulant pour les deux sujets; mesures prises avec le Cosmed K4b²

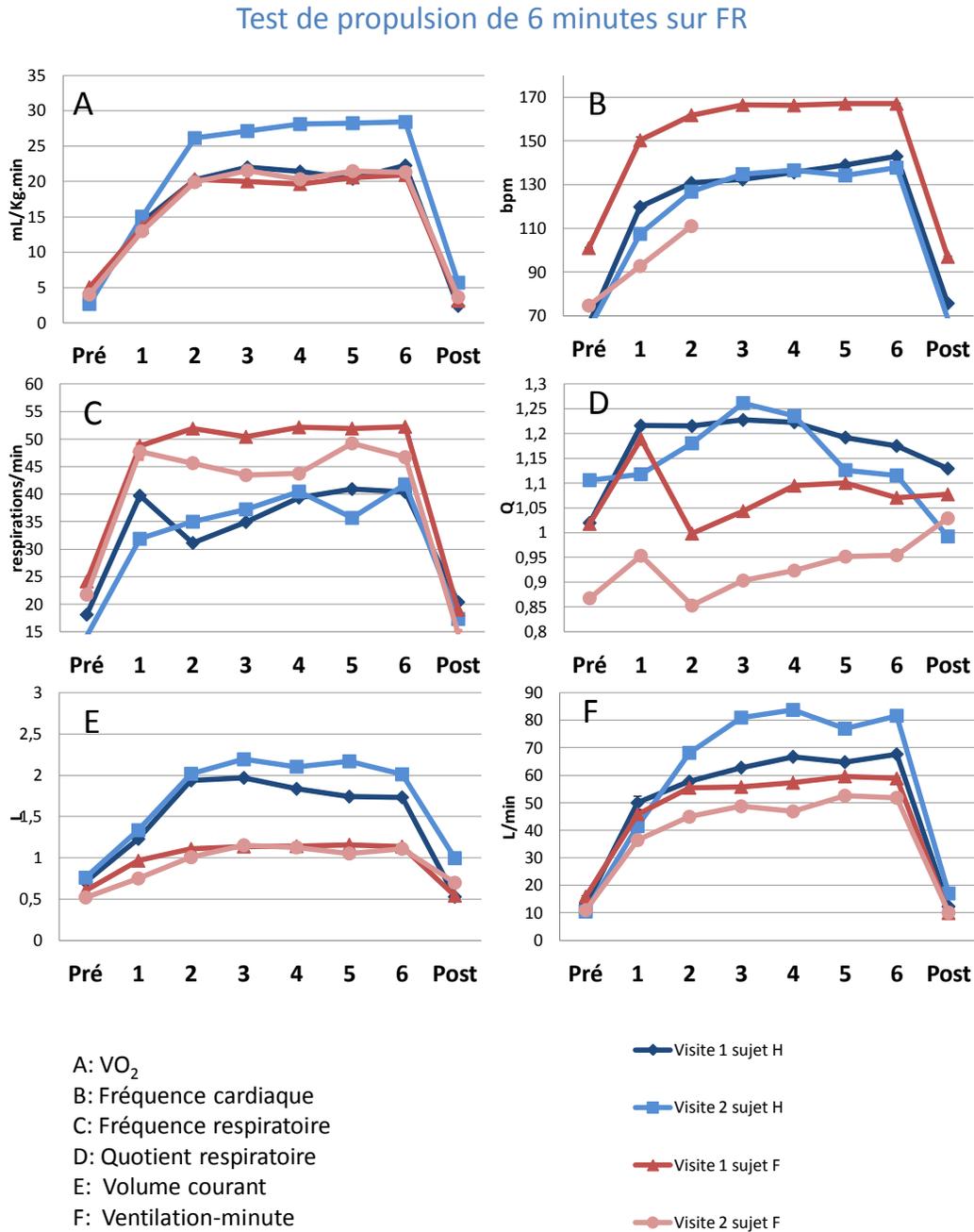


TABLEAU 14 : Réponses cardiorespiratoires à un effort sous-maximal et soutenu au test de propulsion manuelle de 6 minutes en fauteuil roulant pour le sujet H (homme) ; autres instruments de mesure

Sujet H	Au repos		Post-test		Récupération	
			6min		6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Pression artériel	112/56	130/67	141/76	N/E	111/58	102/63
Saturation O ₂	100	99	98	99	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	3	2	0	0
Distance parcourue			Test 1 : 639m	Test 2 : 679m		

TABLEAU 15 : Réponses cardiorespiratoires à un effort sous-maximal et soutenu au test de propulsion manuelle de 6 minutes en fauteuil roulant pour le sujet F (femme) ; autres instruments de mesure

Sujet F	Au repos		Post-test		Récupération	
			6min		6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Pression artériel	116/63	101/56	130/84	118/66	104/68	99/56
Saturation O ₂	100	100	100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	4	3	0	0
Distance parcourue			Test 1 : 554m	Test 2 : 489m		

3.2.2.4.1 Analyse des variables d'intérêt

La figure 3 démontre les résultats obtenus en méthode de moyennage pour l'ensemble des variables étudiés par l'appareil Kosmed-K4. Les tableaux 14 et 15, quant à eux, comparent les réponses physiologiques à l'effort obtenues à partir des instruments de mesures autres que le Cosmed-K4.

L'ensemble des données analysées ci-haut démontre les résultats d'un test sous-maximal puisqu'une atteinte de plateau est obtenu à un niveau bas de perception de l'effort. Le patient réussi à maintenir ce plateau pendant plusieurs minutes, excluant la possibilité d'avoir atteint le test d'effort maximal. Tel qu'attendu, la FC, la TA, le volume courant et le VO_2 de pointe augmentent proportionnellement avec l'intensité de l'effort, et atteignent un plateau après la deuxième minute et ce, pour les deux sujets. Une série de données aberrantes secondaires à l'exécution du second test chez le sujet F a fait en sorte qu'il est impossible de voir l'évolution de la FC réelle pour ce test. Comme l'ensemble des autres variables répond adéquatement à l'effort, il est réaliste de croire en une réponse similaire de la FC. La fréquence respiratoire et le quotient respiratoire répondent selon les normes, ayant une valeur sommet après la première minute, diminuant légèrement par la suite pour se stabiliser lors de la présence du plateau d'intensité de l'effort cardiorespiratoire. Le volume courant, quant à lui, atteint des valeurs sommets plus élevées ou 2x plus grandes pour le sujet H et que pour le sujet F. Le graphique de la ventilation-minute explique une augmentation rapide de celle-ci dans la première minute, pour ensuite progresser plus tranquillement tout au long du test. Puisque que le % FCmax atteint est entre 74% (sujet H) et 87% (sujet F), le seuil ventilatoire maximum n'a pas encore été atteint. Ainsi, la réponse normale de ces facteurs serait une augmentation progressive du VE par l'augmentation soit de la FR ou encore du VT par la relation $VE = FR \times VT$.

De plus, bien que l'intensité de l'effort n'augmente plus, une augmentation de la ventilation minute est notée, pouvant être secondaire à un grand désir combattif des sujets à essayer d'atteindre le maximum du test, ou encore par l'utilisation des membres supérieurs dans l'activité, créant ainsi un effet de fatigue plus important considérant que les sujets sains n'utilise généralement pas ces muscles en tant que moyen de déplacement. Cette corrélation peut également être appuyée par l'observation de l'échelle de Borg qui démontre une augmentation progressive de la perception de la difficulté de l'effort augmentant à un maximum de 4 pour le sujet F et 3 pour le sujet H. Ces données laissent également croire que la fatigue musculaire généralisée pourrait être en cause puisque les sujets sains

effectuaient un effort inhabituel des membres supérieurs. Les deux sujets ont répondu de façon adéquate à la saturation en O₂, demeurant entre 99 et 100% tout au long du test.

3.2.2.4.2 Effet de familiarisation

Afin d'évaluer l'effet de familiarisation au 6WPT, une comparaison de certaines données de notre collecte est analysée pour chacun des participants, de façon individuelle. Premièrement, chez les deux sujets, une diminution de 1 sur l'échelle de la perception de la difficulté de l'effort est notée à la fin du test, entre le test et le retest. Deuxièmement, on observe chez le sujet F une diminution de la distance parcourue de 12% (65m) ainsi qu'une diminution importante du quotient respiratoire et légère de la ventilation minute. Ces résultats confirment possiblement l'effet de fatigue générale initiale décrit par le sujet lors de l'exécution du test (disponible à la collecte de donnée en annexe). Pour le sujet H, une amélioration de 6% (30m) de la distance parcourue et de 32% du VO₂ est analysée. Ainsi, ces variations pourraient être expliquées par une habitude à l'utilisation du fauteuil roulant manuel ou encore par l'effet pur de familiarisation au test. Rappelons qu'aucun MCID n'est actuellement décrit dans les écrits, mais que le MCD du 6WPT est de 7.5%, soit supérieur à la différence observée chez le sujet H.

3.2.2.4.3 Différences inter-sujet

L'introduction décrit les différences cardiorespiratoires et les réponses normales selon le sexe. Ainsi, nous savons que les hommes ont souvent de meilleures performances que les femmes pour des épreuves d'effort cardiorespiratoire entre deux sujets ayant une condition physique similaire. Le test de propulsion de 6 minutes en fauteuil roulant manuel démontre une performance plus grande de 15% à la première visite et de 39% à la deuxième visite pour le sujet H, comparativement au sujet F. De plus, le sujet H atteint un VO₂ de pointe supérieur de plus de 45%, visible à la deuxième visite. Cette différence est également perceptible pour d'autres données reliées au système cardiorespiratoire, telles que le volume courant le quotient respiratoire et la ventilation minute, pour l'ensemble des 2 tests. La perception de la difficulté de l'effort, la FC et la FR sont, de leur côté, globalement plus élevées chez le sujet F que chez le sujet H. Ces résultats permettent de croire en une meilleure réponse du système cardiorespiratoire du sujet H.

3.2.2.5 Recontextualisation

3.2.2.5.1 Dans le cadre d'une étude clinique

Le 6WPT est un protocole d'effort sous-maximal qui possède très peu d'étude discutant de ses qualités métrologique. De ce fait, il est donc actuellement moins propice à être utilisé à outrance dans le cadre d'étude clinique n'ayant pas comme objectif de valider celui-ci. Par contre, il possède de fortes qualités de construit, en autre, ressemblant énormément à la fonction d'un sujet utilisateur de fauteuil roulant manuelle. Des limites importantes dans l'interprétation des résultats sont également présentes lors d'étude à venir entre ces derniers sujets et des sujets sains. Effectivement, la technique de propulsion et l'habituatation qui différencie les deux types de population amène des facteurs de confusions notables. Somme toute, le 6WPT a définitivement un avenir prometteur dans le domaine de la recherche, dans la situation où les qualités métrologiques de celui-ci soient démontrées au préalable.

3.2.2.5.2 Chez les individus ayant subi une LM

Le protocole est une épreuve d'effort sous-maximal présentant l'atteinte d'un plateau dans les deux premières minutes dans le cas de notre étude. Par contre, un test effectué chez une population atteinte de maladie cardiorespiratoire démontrerait fort probablement l'atteinte du plateau plus tard dans le temps, soit fort probablement dans à des périodes similaires aux normes établies pour le test de 6 minutes de marche au corridor, soit à environ 3 minutes après le début du test d'effort cardiorespiratoire. En effet, le temps requis pour que les réponses cardiorespiratoires parviennent à fournir l'O₂ nécessaire à la respiration mitochondriale est plus long avec cette clientèle. De plus, ce protocole est peu coûteux, demande un espace qui est facilement adaptable à un grand nombre de milieu clinique et possède des étapes fonctionnelles comme le pivot, l'arrêt et le départ à chaque tour. Il est directement centré sur les besoins des patients utilisateurs de fauteuil roulant en centre de réadaptation et possède une réponse à l'effort démontrant une bonne constance et un effort sous-maximal qui se veut sécuritaire avec une clientèle atteinte de déconditionnement cardiorespiratoire. Le protocole est complet, facilement reproductible et simple.

Partie 3

3.3 Protocole d'effort progressif sur tapis roulant – sujets sains utilisant un fauteuil roulant manuel

Par Véronique Alix

Mai 2012

Université de Montréal

3.3.1 Recension des écrits - Justification du protocole pour l'étude

L'étude exploratoire présentée concerne les sujets sains. Le but de cette étude est de comparer les réponses cardiorespiratoires au travers différentes évaluations maximale et sous-maximale. Suite à ces résultats, un protocole d'évaluation cardiorespiratoire chez les blessés médullaires sera proposé. Ce protocole sera déterminé pour être le plus représentatif de la condition cardiorespiratoire des sujets atteints de blessures médullaire.

Un sujet atteint de blessure médullaire se déplace majoritairement avec un fauteuil roulant. La fonction de cette clientèle est ainsi portée vers l'usage d'un fauteuil roulant et particulièrement, à la propulsion de celui-ci. Également, tel que mentionné plus tôt, la fonction cardiorespiratoire n'est pas évalué fréquemment chez la clientèle lésée médullaire du à un manque d'outils d'évaluation. Ainsi, un test d'évaluation cardiorespiratoire en fauteuil roulant (FR) sur tapis roulant (TR) s'avère être une option de choix en tant qu'outil d'évaluation. Cette évaluation sera ainsi porté sur la fonction soit, la propulsion d'un fauteuil roulant.

Les tests en FR sur TR sont peu utilisés dans la littérature pour évaluer la fonction cardiorespiratoire. On ne retrouve pas de protocole validé de FR sur TR ou sur rouleaux. Les études étant peu nombreuses, les protocoles varient beaucoup d'une étude à l'autre. Les protocoles utilisés dans les quelques études portant sur les FR en TR sont des protocoles maisons donc, des protocoles adaptés selon le matériel et la clientèle particulière des diverses études.

Les TR adaptés au FR sont peu fréquemment retrouvés et pourrait ainsi expliquer son manque dans la littérature. Dans le même sens, il est également peu utilisé dans le milieu clinique. Il demande peu d'espace mais, il exige une plate forme pour que le clinicien reste près du sujet et qu'il puisse le monitorer lors de l'évaluation. Un ascenseur doit également être présent pour monter le fauteuil roulant sur la plateforme puis, sur le tapis roulant. Le fauteuil roulant doit également être fixé sur le tapis, en particulier, lorsqu'une pente est utilisée. Encore une fois, cette fixation varie d'un auteur à l'autre puisque ce sont tous des protocoles maisons.

Puisqu'aucun protocole n'a été validé, le protocole utilisé pour l'étude exploratoire a été adapté selon nos sujets et le matériel disponible. Le matériel disponible était un fauteuil roulant manuel Firefly soit, un fauteuil roulant sportif. Un tapis roulant permettant l'accès à un fauteuil roulant soit, le Bertec était également à disposition. Comme les deux sujets évalués sont des

sujets sains, ils n'ont pas l'habitude d'utiliser un fauteuil roulant. Leur propulsion n'était pas optimale par rapport à des sujets utilisateurs régulier de FR. Ce facteur a influencé le choix du protocole puisque plusieurs protocoles présentés dans les écrits utilisaient une pente sur le tapis roulant. Considérant l'expérience des sujets, une pente serait inappropriée pour un premier test sur tapis roulant tout en gardant en tête que l'objectif principal est de faire un test d'effort maximal.

Un tableau récapitulatif des protocoles a été mis en annexe.

Le choix s'est arrêté sur le test de l'étude de Bernard⁽⁹⁶⁾. Cette étude avait pour but de démontrer l'influence des adaptations cardiorespiratoires lors de l'exercice selon le niveau de lésion médullaire chez des athlètes en fauteuil roulant. Pour évaluer la fonction cardiorespiratoire, ils ont utilisé un test d'effort maximal sur TR avec un FR. Leurs sujets devaient utiliser leur propre FR fixé sur le TR à l'aide d'élastiques. Le test débutait à 4 km/h et augmentait de 1 km/h chaque minute. L'arrêt se produisait lorsque le sujet avait atteint l'épuisement. Ce test, étant un test maximal n'utilisant pas de pente et produit pour des athlètes, a été choisi parmi les autres protocoles pour sa ressemblance aux conditions recherchés pour cette étude exploratoire chez des sujets sains.

3.3.1.1 Qualités métrologiques du protocole sur de l'étude de Bernard ⁽⁹⁶⁾

Tel que mentionné plus tôt, aucun protocole n'a été établi concernant un test d'évaluation cardiorespiratoire en FR sur TR. Le protocole utilisé sera un protocole maison. Ainsi, aucune étude sur la validité et la fidélité de ce protocole n'a été établis. Éventuellement, un protocole défini devra être déterminé à l'occasion de prochaines recherches.

3.3.2 Description du protocole

Description précise du protocole en annexe.

Étant un test maximal, on doit s'assurer que le sujet n'a fait aucun exercice intense deux heures avant le test et qu'il n'a pas mangé de gros repas avant le test. On s'assure également que le sujet n'est pas à risque cardiovasculaire. On prendra ensuite les mesures pré-test soit, la fréquence cardiaque, la tension artérielle (assise), la saturation O₂ et l'échelle de la perception de la difficulté de l'effort (Borg modifiée).

Le sujet a d'abord été informé du test qu'il devait subir. Le matériel a été préparé et installé sur le patient. Le FR a été fixé avec deux bandes élastiques grises de chaque côté du fauteuil pour empêcher que le fauteuil roulant quitte le tapis roulant.

Le déroulement du test : Le test débute avec un période de familiarisation de 5 min sur le tapis roulant à vitesse désirée par le sujet. Le test débute à 4 km/h et on augmente de 1km/h à chaque minute. Chaque minute du test représente un palier, le palier 1 étant la première minute à une vitesse de 4km/h. À chaque palier, on demande au sujet s'il se sent prêt à passer au prochain palier. Le test cesse quand le sujet veut y mettre fin ou par l'épuisement. On rappelle au sujet que c'est un test maximal donc qu'il doit se rendre au plus haut palier possible jusqu'à l'épuisement.

Comme notre évaluation est une évaluation de la fonction cardiorespiratoire maximale, il est important que le sujet donne réellement son maximum pour avoir le résultat escompté. L'encouragement verbal est donc autorisé et favorisée pour motiver le patient. Il a été démontré que les encouragements, pour un test maximal, ne modifieront pas la performance maximale des sujets par rapport à un test maximal sans encouragement. Ainsi, aucun protocole n'a été établi concernant les encouragements pour une évaluation de FR sur TR. Par contre, les encouragements peuvent rappeler au sujet que sa performance doit être maximale, ils ont donc été utilisé lors du test en fauteuil roulant sur tapis roulant⁽⁹⁷⁾.

À chaque minute, l'échelle de la perception de la difficulté de l'effort, le VO_2 , la fréquence cardiaque fournie par le Cosmed K4b² seront monitorés. À la fin du test ainsi qu'à la 2^e, 4^e et 6^e minutes, il y a reprise de ces mêmes mesures ainsi que la tension artérielle dans la position assise afin d'évaluer le retour à la normale des réponses cardiorespiratoires. L'arrêt de l'enregistrement des données du Cosmed K4b² se fera uniquement à la fin de cette récupération.

3.3.3 Résultats

Figure 4 : Graphiques des réponses cardiorespiratoires à un effort progressif sur tapis roulant selon l'épreuve d'effort en fauteuil roulant sur tapis roulant pour les deux sujets; variables d'intérêts prises avec le Cosmed K4b²

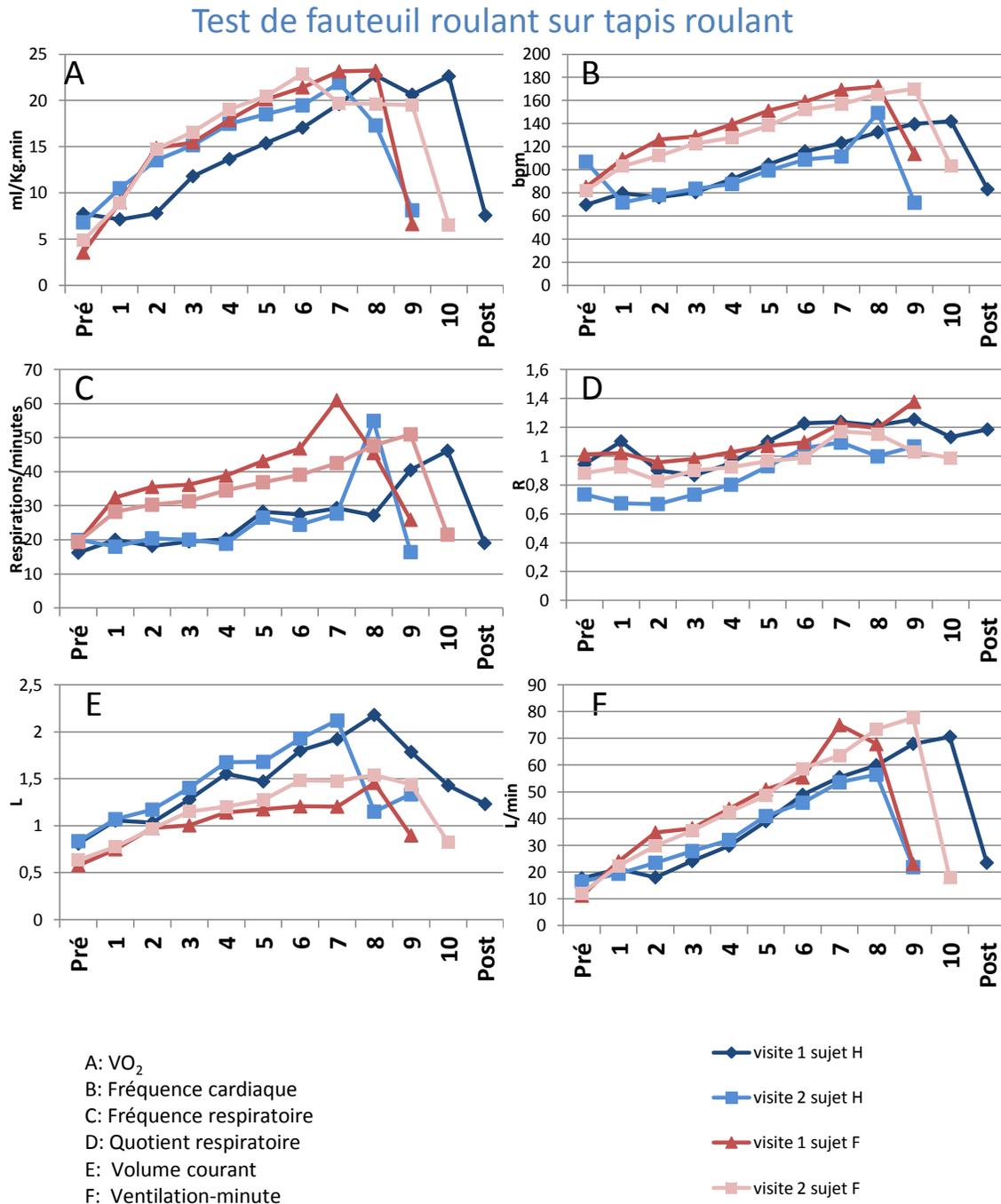


TABLEAU 16 : Réponses cardiorespiratoires à un effort progressif sur tapis roulant selon l'épreuve d'effort en fauteuil roulant sur tapis roulant pour le sujet H; autres instruments de mesure

Sujet H	Au repos		Post-test		Récupération	
					6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Pression artériel	128/61	111/63	129/64	113/60	117/57	117/55
Saturation O ₂	100%	100%	99	99	100	99
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	2	1	0	0
Distance parcourue	Test 1 : palier 8 atteint Test 2 : palier 6 atteint					

TABLEAU 17 : Réponses cardiorespiratoires à un effort progressif sur tapis roulant selon l'épreuve d'effort en fauteuil roulant sur tapis roulant pour le sujet F; autres instruments de mesure

Sujet F	Au repos		Post-test		Récupération	
			6min		6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
Pression artériel	110/69	105/58	152/79	142/75	127/64	115/68
Saturation O ₂	100	100	100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	5	3	0	0
Distance parcourue	Test 1 : atteinte palier 7 Test 2 : atteinte palier 8					

3.3.4.1 Analyse des variables d'intérêt

Les résultats des différents tests chez les deux sujets sont ci-haut présentés avec les variables d'intérêt déterminées préalablement en fonction du temps. Dans ces graphiques, un moyennage par minute a été utilisé. Ainsi, chaque palier présenté représente la moyenne de la minute de ce palier. Ces différentes variables seront maintenant analysées en fonction des réponses normales attendues, en fonction des deux sujets et l'effet de familiarisation.

Tel qu'attendu, la fréquence respiratoire augmente avec l'intensité de l'exercice tout au long des 4 tests effectués. Au retour au calme, la fréquence respiratoire revient à la valeur de repos chez les deux sujets et aux deux répétitions, ce qui démontre une réaction normale à l'effort demandé. Le volume courant quant à lui, a augmenté avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice atteignant son maximum à la fin de l'effort puis, retrouve ses réponses de repos après la période de récupération. Le volume courant correspond ainsi à une réponse normale à l'effort. Par contre, le sujet masculin a obtenu ses valeurs sommet bien avant le dernier palier. Ceci peut s'expliquer, par la propulsion non optimale du sujet. En effet, à une vitesse rapide, le sujet tenait difficilement la vitesse et le patron de propulsion devenait de moins en moins optimal.

De même façon, la fréquence cardiaque répond de façon normale à l'effort. En effet, chez les deux sujets, la fréquence cardiaque augmente de façon linéaire avec l'augmentation de l'intensité de l'effort. Au retour au calme, les valeurs de fréquences cardiaques sont équivalentes à celles de repos ce qui démontre une bonne récupération. Les valeurs maximales atteintes par les deux suggèrent que l'effort n'était pas maximal tel que prédit au départ. En effet, le sujet H a obtenu une FC de 76% par rapport à la fréquence cardiaque maximale prévue ($220 - \text{âge} = 196$ bpm) alors que le sujet F a obtenu 86% ($220 - \text{âge} = 195$ bpm). Selon les calculs, le sujet H devait obtenir une FC approximative de 196 bpm ($220 - \text{âge}$) alors que celui-ci a obtenu une FC maximale de seulement 149 bpm. Pour ce qui est du sujet F, la FC max approximative étant de 195 bpm, celui-ci a obtenu une FC de seulement 170 bpm. Ceci suggère que l'effort effectué chez les deux sujets n'était pas maximale. Plusieurs raisons peuvent expliquer ce fait. D'abord, le protocole utilisé n'était pas optimal pour arriver à un effort maximal. En effet, une inclinaison aurait pu être ajoutée pour augmenter le niveau de difficulté cardiorespiratoire. De cette façon, la vitesse aurait pu être moindre et l'exercice n'aurait pas cessé dû à un manque de contrôle dans la vitesse avec le FR. C'est ce qui explique également l'échelle de perception de la difficulté à l'effort. Les réponses obtenues sont de beaucoup moindres à celles attendues.

Les deux sujets ont rapportés que la limitation de l'exercice était dû au fait qu'ils ne pouvaient plus tenir la vitesse exigée du protocole. Encore une fois, une modification du protocole serait nécessaire pour avoir un réel effort maximal.

Pour ce qui est de la tension artérielle, elle a également réagi de façon adéquate pour le sujet F. En effet, elle a augmenté pour l'effort et est de retour à la valeur de repos après l'exercice. Dans le cas du sujet masculin, on remarque que la tension artérielle systolique augmente très peu lors de l'effort. Probablement que le sujet a obtenu un plateau très rapidement tel que vu pour les autres variables d'intérêt et ceci expliquerait le manque d'augmentation dans la tension systolique. Au retour au calme, la tension du sujet H revient aux valeurs de repos. Le sujet H ne démontre pas d'intolérance à l'effort. Par contre, les résultats de la tension artérielle démontre que le sujet n'a pas répondu à un effort maximal mais plutôt sous-maximal en atteignant un plateau de la tension artérielle systolique.

Le quotient respiratoire obtenu pour les deux sujets est supérieur aux réponses attendues. On suspecte une problématique venant du Cosmed K4b2 puisque tous les résultats du quotient dans les 5 tests effectués sont supérieurs à ceux attendus initialement. En effet, les valeurs obtenues pour ce test vont jusqu'à 1,4 pour le sujet F. Un résultat comme celui-ci pourrait amener une hyperventilation alors qu'elle n'a pas été observée lors des tests.

Pour ce qui est du VO_2/Kg de pointe, les deux sujets répondent de manière différente. En effet, pour le sujet F, la courbe de VO_2/Kg démontre une augmentation croissante avec l'augmentation de l'intensité à chacun des paliers avec un retour normale aux valeurs de repos à la période de récupération. Pour le sujet masculin, la courbe de VO_2/Kg augmente très rapidement au début de l'effort pour finalement diminuer progressivement malgré l'augmentation de l'intensité des paliers et démontre une courbe décroissante. Ce n'est pas une réponse attendue pour un effort maximal. L'agilité à la propulsion du fauteuil roulant pourrait expliquer ce résultat. Considérant que les deux sujets, pour cette étude exploratoire, n'étaient qu'à leurs débuts en propulsion d'un FR, celle-ci n'étant pas optimale. Nous avons remarqué que le sujet H utilisait une propulsion de type arc plutôt que semi-circulaire tel que le sujet F. Avec ce type de propulsion, le sujet masculin a dû travailler davantage au début de l'exercice et a été limité à la fin de l'exercice puisqu'il ne pouvait plus suivre la vitesse exigée⁽⁹⁸⁾. Il est démontré que le mode de propulsion semi-circulaire est plus efficace que le modèle par arc pour la propulsion d'un fauteuil roulant manuel. Le modèle par arc est également le moins exigeant

musculairement⁽⁹⁸⁾. Le modèle de propulsion de FR par arc exige un moins grand volume musculaire que celui semi-circulaire qui est reconnu étant le plus efficace. Le modèle par arc ne demande pas d'effort du tronc. Le tronc étant une région ayant une masse musculaire très importante. Ceci explique que les valeurs de VO_2 du sujet H sont inférieures que celles du sujet F puisqu'il utilise un moins grand volume musculaire.

Pour ce qui est de la ventilation minute, comme elle est le produit du volume courant et de la fréquence respiratoire et que ces deux résultats sont normaux pour les deux sujets, la ventilation minute répond également de façon satisfaisante. La ventilation augmente ainsi de façon linéaire avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice jusqu'au seuil toléré. Ce qui explique également que la saturation chez les deux sujets a répondu de façon conforme. En effet, la saturation est demeurée au-dessus de 95% et n'a pas chuté lors de l'effort.

La saturation en oxygène est restée identique chez les deux sujets lors des différents tests ce qui démontre une bonne réponse à l'effort.

3.3.4.2 Différences inter-sujet

Chez le sujet H, on voit que le palier maximum atteint est supérieur que celui du sujet F tel qu'attendu initialement. Selon les fréquences cardiaques, le sujet féminin atteint de plus hautes valeurs pour un même effort par rapport au sujet H. Ce qui suggère que le sujet H aurait une meilleure capacité cardiorespiratoire que le sujet féminin puisque le VO_2 du sujet H atteint un VO_2 plus petit pour un même palier que le sujet F. Il atteint ainsi une meilleure capacité fonctionnelle que le sujet F.

3.3.4.3 Effet de familiarisation

Chez le sujet F, le deuxième test a atteint un palier supérieur que lors du premier test. Un effet de familiarisation peut expliquer ce résultat. En effet, comme l'étude porte sur des sujets sains, les deux sujets n'ont pas une propulsion optimale par manque d'expérience. Une propulsion plus efficace explique ainsi la différence observée entre le test 1 et le test 2.

Par contre, chez le sujet masculin, le test 1 a été mieux réussi et ce, par deux paliers. L'effet de familiarisation aurait pourtant dû être présent. Comme mentionné plus tôt, pour la réponse du VO_2/Kg , le type de propulsion utilisé par le sujet masculin n'était pas optimal. Ce qui explique le mieux ce résultat est probablement que le patron de propulsion était encore moins

performant que lors du premier test. Malgré tout, l'effet de familiarisation aurait du être présent chez le sujet. Une raison extrinsèque pourrait expliquer ce fait parce qu'aucune raison cardiorespiratoire ne peut l'expliquer selon les résultats obtenus.

3.3.5 Recontextualisation

3.3.5.1 Dans le cadre d'une étude clinique

Tel que prédit, les réponses cardiorespiratoires ont répondu de façon conforme aux attentes. Par contre, les réponses n'ont pas atteint des valeurs maximales tel qu'attendu pour un effort maximal. L'effort a alors été sous-maximal puisque, les sujets ont obtenus seulement de 76 à 86% de la FC maximale attendue et que le RPE n'a pas atteint un niveau élevé. Un effet de familiarisation a pu être observé chez le sujet féminin mais pas pour le sujet masculin par une différence de patron de propulsion du FR. Le sujet masculin a atteint des plateaux supérieurs au sujet féminin. Celui-ci a obtenu un meilleur VO_2 que le sujet F pour un même palier mais, ne démontre pas avoir eu une meilleure réponse cardio-respiratoire puisque même si le nombre final de METS maximal atteint a été comparable.

Pour une prochaine étude, une modification du protocole serait nécessaire. L'augmentation de l'intensité pourrait se faire par l'ajout d'une pente. Comme il y aurait ajout d'une pente, la vitesse pourrait augmenter de façon moins significative. De cette façon, l'effort sera augmenter et la vitesse ne sera plus un problème pour la propulsion du fauteuil par des sujets sains.

3.3.5.2 Chez les individus ayant subi une LM

Chez les utilisateurs de FR, une modification du protocole serait également nécessaire. La même modification apportée ci-haut pourra assurer un effort maximal non limité par la vitesse et le patron de propulsion. Par contre, le protocole de Bernard utilisé pour cette étude exploratoire était originalement destiné pour des sujets sportifs utilisateurs de fauteuil roulant. Ce qui porte à croire que leurs réponses obtenus ont pu être différentes que celles observés dans cette étude. En effet, ils ont crée ce protocole pour leur clientèle sportive en fauteuil roulant et leurs résultats associés représentaient un effort maximal. Ainsi, il est difficile de déterminer les modifications exactes nécessaires sur le protocole. Une autre étude avec des sujets représentant la clientèle visée serait plus appropriée pour déterminer les modifications essentielles.

Partie 4

3.4 Protocole standardisé d'effort progressif sur ergomètre pour membres supérieurs – sujets sains utilisant un fauteuil roulant manuel

Par Cindy Fleurent

Mai 2012

Université de Montréal

3.4.1 Recension des écrits

L'ergomètre des membres supérieurs (MS's) est une modalité d'évaluation intéressante pour l'évaluation de la condition cardiorespiratoire chez les individus ayant une atteinte au niveau des membres inférieurs. Dès la fin des années 70, des publications démontrent son potentiel d'utilisation chez ces populations.⁽⁹⁹⁻¹⁰¹⁾ Depuis, de nombreuses études ont été menées et son utilisation est validé pour une épreuve d'effort maximale progressive autant chez une population saine^(24, 102, 103) qu'une clientèle ayant subi une lésion médullaire.^(101, 103, 104)

Les protocoles sur ergomètre des membres supérieurs varient grandement d'une étude à l'autre. À cet effet, vous trouverez à l'annexe 7.2.3 un tableau résumé non exhaustif de 18 protocoles recensés chez ces deux populations (saine et blessée médullaire) dans des études publiées au cours de la dernière décennie. Somme toute, les protocoles progressifs en rampe sont plus fréquemment utilisés en raison d'une augmentation de l'intensité qui est plus graduelle.⁽²⁴⁾ De plus, Smith et al. (2004)⁽¹⁰⁵⁾ met en garde de ne pas utiliser les deux types de protocoles de façon interchangeable.

L'ACSM (2010)⁽²⁴⁾ recommande qu'une épreuve d'effort sur ce type d'appareil soit constituée de paliers d'une durée de 2 à 3 minutes avec une augmentation de l'intensité de 10 watts à une cadence allant de 50 à 60 rpm. Par contre, il semblerait qu'une cadence de 70 rpm soit celle qui entraîne une meilleure consommation maximale d'oxygène comparativement à des cadences inférieures de 30, 50 et 60 rpm.^(106, 107) Étant donné qu'il y a moins de protocoles par paliers (versus en rampe) employés dans les études, il devient difficile de faire un choix en fonction des recommandations de l'ACSM (2010)⁽²⁴⁾. En effet, les protocoles par paliers recensés^(105, 108-111) ont des cadences recherchées qui sont supérieures à 75 rpm⁽¹⁰⁵⁾ ou à 60 rpm.^(110, 111) Tandis que d'autres ne sont pas indiquées.⁽¹⁰⁸⁾ Dans tous les cas, il n'est pas possible d'être spécifique à celle jugée idéale. De plus, les études dont la cadence était auto-sélectionnée ont obtenu des valeurs allant de 70 à 90 rpm suite aux expérimentations^(31, 112) suggérant que les cadences inférieures tel que le recommande l'ACSM (2010)⁽²⁴⁾ ne soit pas optimales.

Al-Rahamneh et al. 2011⁽¹¹¹⁾ ont illustré une très forte relation linéaire entre la perception de la difficulté à l'effort (RPE) et le VO_2 lors de l'épreuve d'effort sur un ergomètre des MS's chez une clientèle paraplégique. Ces résultats suggèrent que la perception de la difficulté à l'effort pourrait être utilisée comme paramètre de détermination de l'atteinte du VO_{2max} lors

d'expérimentation clinique et ce particulièrement, lorsque des systèmes permettant de faire des mesures directes du $VO_2\text{max}$ ne sont pas accessibles.

Depuis quelques années, il semble que la tendance pour la mesure de la consommation maximale d'oxygène sur un ergomètre des MS's soit à effectuer une épreuve d'effort supra-maximale.^(31, 113-115) Cette dernière consiste en une seconde épreuve suivant une épreuve d'effort maximale. En fait, suite à l'épreuve d'effort maximale, une récupération active à faible résistance de durée variable est effectuée. Ensuite, la puissance est augmentée par exemple de 25W supérieure à celle atteinte pendant l'épreuve d'effort. À titre d'exemple, un sujet qui termine l'épreuve d'effort maximale à 150W débutera l'épreuve supra-maximale à 175W. Lorsque le sujet n'est plus capable de maintenir la cadence souhaitée, le test prend fin. Bref, cette deuxième épreuve d'effort suivant la récupération active est ce qu'on appelle une épreuve supra-maximale. En lien avec cette pratique, Barker et al. (2012)⁽¹¹³⁾ et Poole et al. (2008)⁽³¹⁾ suggèrent que les épreuves d'effort classique, consistant à l'obtention du $VO_2\text{max}$ avec l'utilisation des critères d'arrêt, sous-estiment sa mesure et qu'une épreuve d'effort supra-maximale permettrait d'obtenir un $VO_2\text{max}$ supérieur. Par conséquent, ils recommandent d'abandonner l'utilisation des critères d'arrêt chez les enfants⁽¹¹³⁾ et les adultes en santé. Ainsi, ils recommandent l'utilisation d'une épreuve supra-maximale comme méthode de choix afin de mesurer le $VO_2\text{max}$.⁽³¹⁾ Foster et al. (2007)⁽¹¹⁴⁾ ainsi que Rossiter et al. (2006)⁽¹¹⁵⁾ suite au même type d'expérimentation ne trouvent aucune différence entre les VO_2 atteints. Somme toute, les recherches futures sur une population saine permettront de mieux statuer sur ce type d'épreuve dont les résultats, selon les auteurs, demeurent controversés.

3.4.2 Justification du protocole pour l'étude

Plusieurs paramètres sont à considérer dans le choix d'un protocole servant à évaluer la fonction cardiorespiratoire sur un ergomètre des membres supérieurs. En effet, le type d'épreuve (en rampe versus par paliers), l'augmentation de la charge de travail, l'intensité de départ, la cadence (imposée ou non) ainsi que les critères d'arrêts sont des éléments importants dans la prise de décision. De plus, il est important de tenir compte de la condition physique et du niveau de stratification du risque à soumettre le patient à une épreuve d'effort maximale. Suite à l'analyse de ces critères, le protocole d'effort maximal décrit dans l'étude de Hol et al. publiée en 2007⁽¹¹⁶⁾ a été sélectionné afin d'expérimenter la mesure du $VO_2\text{max}$ sur un ergocycle des membres supérieurs. C'est une épreuve d'effort maximale progressive en rampe qui permet d'individualiser la charge de travail (l'intensité) de départ. Bien que ces recommandations

(intensité de départ) aient été fixées pour une épreuve d'effort sous-maximale de 6 minutes, elles peuvent être utilisées pour une épreuve d'effort maximale dans le but d'atteindre une durée optimale. Pour une femme sédentaire, active ou athlète il recommande de débiter l'épreuve à 30, 40 et 50 watts respectivement. Pour les hommes, les puissances de départ vont plutôt de 40 à 60 watts selon les mêmes niveaux de condition physique. Finalement, la cadence souhaitée durant l'épreuve est de 60 à 80 rpm ce qui inclut la cadence démontrée optimale (70 rpm). Étant donné que l'augmentation minimale permise par l'appareil utilisé (Biodex) est de 10W, le protocole sélectionné semble un choix judicieux afin d'effectuer une évaluation cardiorespiratoire sur un ergocycle des membres supérieurs chez un sujet sain.

3.4.2.1 Qualités métrologiques du protocole sur ergomètre des MS's

Comme la majorité des protocoles d'effort décrits dans la littérature, le protocole maximal de Hol et al. (2007)⁽¹¹⁶⁾ n'a pas fait l'objet d'une étude sur sa validité, sa fidélité ou sa sensibilité en lien avec une population saine ou ayant subi une lésion médullaire. L'analyse et la comparaison des résultats obtenus avec ceux des autres types d'épreuves d'effort de cette étude contribueront à étudier si le protocole semble valide puisqu'aucune analyse statistique ne sera effectuée en ce sens.

3.4.3 Description du protocole

Les sujets ont effectué chacun deux tests d'effort maximal progressif sur un ergomètre des membres supérieurs (Biodex) afin de mesurer leur consommation maximale d'oxygène pour ce type d'effort. De plus, ces tests ont été répétés dans un délai inférieur ou égal à une semaine afin d'évaluer la reproductibilité et l'effet de familiarisation.

Le positionnement du sujet est important. Tout d'abord, il faut s'assurer de bien fixer le fauteuil roulant. Ensuite, l'axe de rotation de la manivelle doit être aligné avec l'articulation gléno-humérale du sujet. Lors du mouvement de pédalage, une légère flexion de 5 à 10 degré au coude est recherchée lors du mouvement d'extension afin de protéger l'articulation. Également, l'évaluateur doit s'assurer du confort et de la bonne posture du sujet avant de débiter le test. L'installation du cardio-fréquencemètre et du Cosmed K4b² peut être effectuée pendant la période de repos de 5 minutes qui doit précéder l'épreuve d'effort. Tel que décrit dans la méthodologie, le monitoring des variables d'intérêts a été fait avant, pendant et lors de la récupération. La TA ne sera pas prise durant l'effort étant donné l'utilisation des MS's pour la

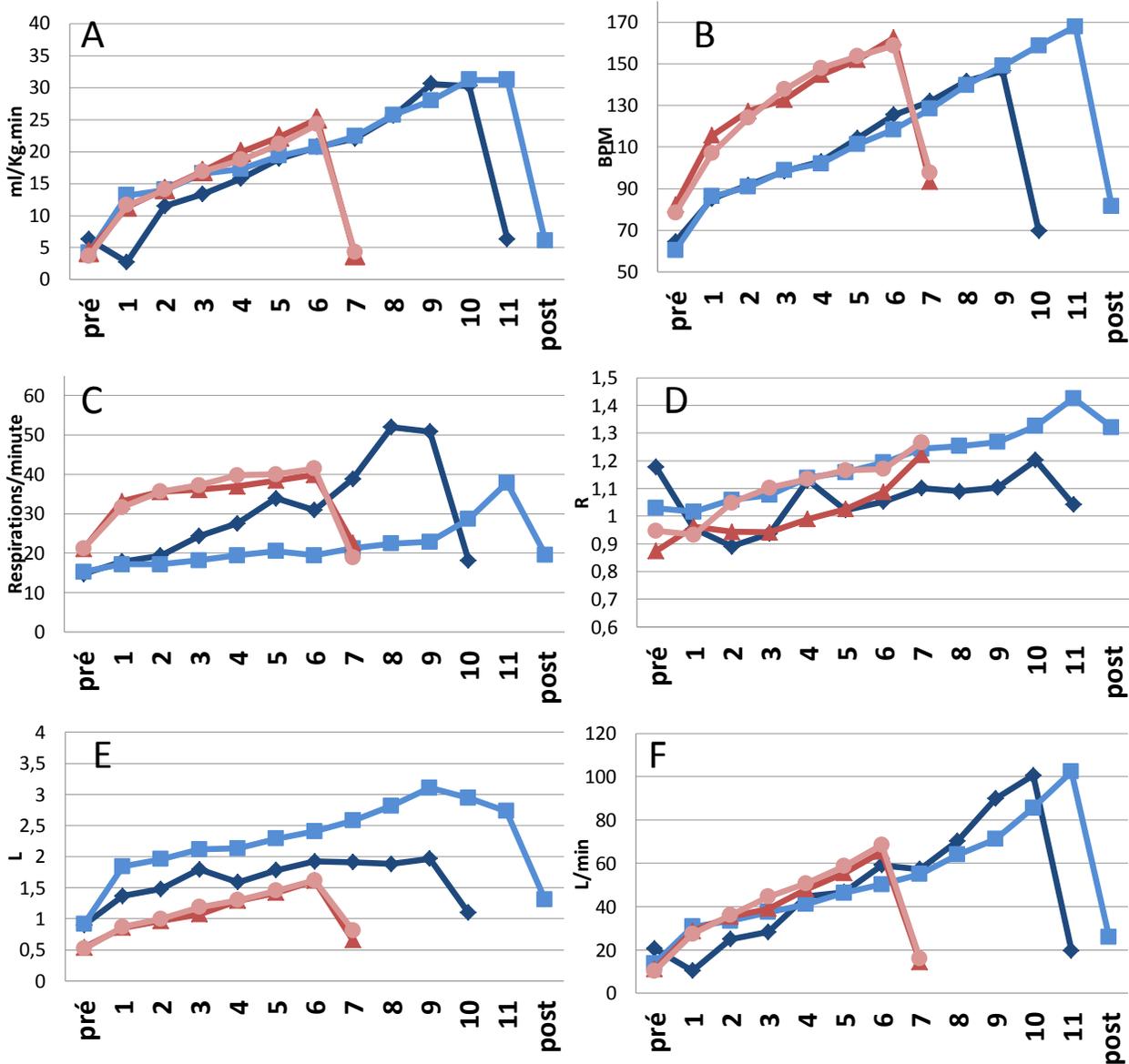
réalisation de l'épreuve. Finalement, les signes et symptômes d'une intolérance ou nécessitant un arrêt de l'épreuve seront surveillés tout au long du test.

L'intensité de départ est prédéterminée selon le sexe et le niveau d'activité du sujet. En fait, elle sera la même pour les deux sujets. Le sujet F est une personne active entraînée spécifiquement considérée comme athlète étant donné l'intensité et le volume d'entraînement qu'elle effectue depuis près de trois ans. Tandis que le sujet H est un homme actif non entraîné spécifiquement. Par conséquent, tel que décrit précédemment, ces deux niveaux d'activité correspondent à une intensité de 50 watts. Ensuite, le test débutera par une brève période (2 minutes) d'échauffement sans ou à petite résistance afin de familiariser le sujet avec la cadence souhaitée qui est de 60 à 80 révolutions par minute (rpm). Par la suite, le test débute à l'intensité initiale prédéterminée et elle augmente de 10 watts à chaque palier d'une minute. Une cadence inférieure à 35 rpm ou un arrêt volontaire (i.e. épuisement) marque la fin de l'épreuve d'effort. Les sujets terminent par une période de récupération passive, sans révolution, de 6 minutes. Pour plus d'informations sur le protocole, une version détaillée est en annexe 7.3.

3.4.4 Résultats

Figure 5: Graphiques des réponses cardiorespiratoires à un effort progressif sur ergomètre selon l'épreuve d'effort sur ergomètre des membres supérieurs pour les 2 sujets; mesures prises avec le Cosmed K4b²

Test d'ergomètre des membres supérieurs



A: VO_2

B: Fréquence cardiaque

C: Fréquence respiratoire

D: Quotient respiratoire

E: Volume courant

F: Ventilation-minute

◆ Visite 1 sujet H

■ Visite 2 sujet H

▲ Visite 1 sujet F

● Visite 2 sujet F

TABLEAU 18 : Réponses cardiorespiratoires et puissance maximale à un effort progressif sur ergomètre selon l'épreuve d'effort sur ergomètre des membres supérieurs pour le sujet H ; autres instruments de mesure

Sujet H	Au repos		Post-test		Récupération	
			9 paliers, 11 paliers		6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
TA (mmHg)	114/63	121/66	115/75	*** **150/69	120/70	110/56
Saturation d'O ₂ (%)	99	100	99	99	100	100
Échelle de perception de la difficulté de l'effort (RPE) Borg modifiée			6	4	0	0
Puissance maximale (Watts)			Test 1 : 130	Test 2 : 150		

***Douleur au MS limitant la prise de donnée

** Seconde mesure, environ 2 minutes à la fin de l'épreuve

TABLEAU 19 : Réponses cardiorespiratoires et puissance maximale à un effort progressif sur ergomètre selon l'épreuve d'effort sur ergomètre des membres supérieurs pour le sujet F; autres instruments de mesure

Sujet F	Au repos		Post-test		Récupération	
			6 paliers		6min	
	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2	Test 1	Test 2
TA (mmHg)	108/52	105/58	127/70	150/80	103/53	116/56
Saturation d'O ₂ (%)	100	100	100	100	100	100
Échelle de perception de la difficulté de l'effort (RPE) Borg modifiée			4	3	0	0
Puissance maximale (Watts)			Test 1 : 100	Test 2 : 100		

Vous trouverez à annexe 7.4 les tableaux complets des résultats des deux sujets lors des deux épreuves d'effort ainsi qu'un tableau vierge pour une prise de données.

3.4.4.1 Analyse des variables d'intérêt

Les tableaux 18 et 19 sont le sommaire des valeurs physiologiques durant l'épreuve d'effort. L'analyse pour les deux sujets sera faite séparément étant donné qu'ils répondent de façon différente à l'effort (sauf pour le quotient respiratoire).

Tout d'abord, l'analyse des courbes du sujet masculin pour les deux épreuves démontre une augmentation linéaire et progressive de la fréquence cardiaque (FC) et du VO_2 ainsi qu'une augmentation progressive de la ventilation minute (V_E). Ces augmentations sont fonction de l'intensité lors des deux épreuves. La saturation en oxygène ($SatO_2$) répond adéquatement puisqu'aucune baisse significative (i.e. seulement une baisse d'un pourcent) n'est notée lors des épreuves. Cependant, à la fin du premier test, le sujet hyperventile avec une fréquence respiratoire (FR) s'approchant des 50 respirations par minute, tandis que le volume courant (V_T) n'augmente pas. Ainsi, la V_E répond normalement puisque la FR compense pour le V_T . De plus, immédiatement à l'arrêt de l'exercice, la tension artérielle systolique (TAS) a subi une chute de 6 mmHG comparativement à celle au repos démontrant peu d'élévation de cette dernière durant l'exercice. En soit, cela ne constitue pas une intolérance à l'effort puisque la baisse n'est pas égale ou supérieure à 10 mmHG. Lors de la deuxième épreuve d'effort, le sujet a à peu près la même réponse de la V_E mais avec de plus grands volumes pulmonaires et une FR moins élevée. Les observations en lien avec cette réponse ventilatoire au premier test semblent être corroborées par une perception de la difficulté de l'effort qui semble définitivement supérieur pour première épreuve (6 vs 4). Lors de la deuxième épreuve, le sujet atteint une puissance supérieure en lien avec une plus grande FC (85% vs 74,5% de la FC_{max} prédite) tandis que le VO_2 mesuré est le même pour les deux tests (en moyenne 31 ml/kg.min). Bien que le sujet ait rapporté une fatigue des membres supérieurs comme raison justifiant l'arrêt des deux épreuves, il semble qu'il ait bien atteint un VO_2 de pointe compatible avec un effort maximal au niveau des membres supérieurs. En effet, les deux derniers paliers des deux tests démontrent un plateau au niveau du VO_2 puisque la différence des valeurs de VO_2 est inférieure à 150 ml/kg.min.⁽³¹⁾

À l'arrêt du deuxième test, la mesure de la tension artérielle n'a pu être prise par l'appareil ne permettant pas de tirer de conclusion immédiatement à l'arrêt de l'exercice. Finalement, le sujet masculin récupère bien suite aux deux épreuves puisque les différents

paramètres (TA, FC, SatO₂) sont revenus à des valeurs normales et s'approchent de celles au repos.

Les réponses physiologiques dont la TA, la FC, la SatO₂ et les paramètres respiratoires tels que la FR, le V_T et la V_E du sujet féminin répondent de façon adéquate et similaire à la suite des deux épreuves d'effort. Le sujet a également terminé ses deux épreuves d'effort à la même puissance maximale. Seulement quelques différences sont notées dont la perception de la difficulté à l'effort qui est supérieure lors de la première épreuve (4 vs 3). Le sujet féminin récupère bien à la suite des deux épreuves puisque les réponses physiologiques reviennent à des valeurs s'approchant de celles au repos. Les fréquences cardiaques atteintes (155 et 160) représentent un pourcentage de 83% et 81% de la FC_{max} prédite correspondant à des VO₂ de pointe sensiblement les mêmes soit de 25 et 24,24 ml/kg.min pour les tests 1 et 2 respectivement. Ainsi, en considérant ces pourcentages et la perception de la difficulté à l'effort, il semblerait que le VO₂max n'ait pas été atteint. Effectivement, l'absence d'un plateau au niveau du VO₂ ainsi qu'un arrêt volontaire du sujet aux deux occasions suggèrent une limitation musculaire plus que cardiorespiratoire.

Dans les deux cas et ce pour les deux tests, le quotient respiratoire est relativement haut au repos ($H > F$), à l'exercice et lors de la récupération (test 2 principalement). En théorie, une valeur atteignant 1,1 et 1,15 est un critère permettant de déterminer l'atteinte du VO₂max. Une valeur supérieure à 1,2 suggère une hyperventilation et cette condition a été seulement observée lors du 2^e test chez le sujet masculin avec une valeur de 1,4. Par conséquent, les valeurs du quotient respiratoire ne permettent pas d'objectiver l'atteinte du VO₂max dans le cas présent puisqu'elles ne semblent pas fiables.

En résumé, le protocole sélectionné a permis d'obtenir des réponses cardiorespiratoires compatibles avec un VO₂ de pointe non maximal suite à un exercice des membres supérieurs et l'épuisement musculaire dont l'incapacité à maintenir la cadence désirée a été notre principale limitation chez nos deux sujets.

3.4.4.2 Différences inter-sujet

Les principales différences sont au niveau de la consommation maximale d'oxygène et de la ventilation minute dont un plus grand volume courant suggérant une plus grande capacité physique et pulmonaire chez le sujet masculin. Somme toute, ce dernier semble obtenir des

valeurs sommets plus élevées et ce même en terme de FC. Ainsi, il semblerait que l'intensité de départ pour le sujet féminin était trop élevée. En effet, un manque d'endurance musculaire combiné à une masse musculaire moins importante du sujet féminin peut être la cause d'un arrêt précoce ne permettant pas d'atteindre une FC aussi élevée que le sujet masculin. Pour ce qui est du sujet masculin, l'intensité de départ n'aurait pu être plus élevée puisque qu'au 12^e palier, l'intensité a augmenté de 25 watts (de 150 à 175 watts) comparativement à une augmentation constante de 10 watts pour les paliers antérieurs. Cela est dû aux propriétés intrinsèques de l'appareil qui consistent en une augmentation minimal de 25 watts après une puissance de 150 watts. Dans la situation actuelle, l'appareil a peut-être limité musculairement la fin du test 2 par une puissance supérieure (175 watts comparativement à 160 watts) sans avoir influencé l'atteinte du VO_2 de pointe puisque les deux derniers paliers démontraient un plateau au niveau du VO_2 .

3.4.4.3 Effet de familiarisation

Il est possible d'observer un effet de familiarisation par la corrélation entre la perception de la difficulté à l'effort qui est différente pour l'atteinte d'un même VO_2 pour les deux sujets. En effet, les cotes du RPE sont de 6 et de 4 pour le sujet masculin correspondant à 74,5% et 85% de la FC_{max} prédite et de 4 et de 3 pour le sujet féminin correspondant à 83% et 81% de la FC_{max} prédite pour la première et la seconde épreuve respectivement. Cependant, le délai entre les épreuves n'a pas été respecté pour le sujet masculin. Étant donné que sa condition n'a pas changée, il est possible de considérer les résultats comme s'ils avaient été effectués dans les délais préétablis. Par conséquent, les deux sujets démontrent une habitude par une perception de la difficulté de l'effort moins importante relative à des performances similaires lors de la seconde épreuve puisqu'ils atteignent les mêmes VO_2 (H : 31 ml/kg.min, F : 24,25 vs 25 ml/kg.min).

3.4.5 Recontextualisation

3.4.5.1 Dans le cadre d'une étude clinique

Afin de bien reproduire cette épreuve d'effort, quelques modifications sont nécessaires. En effet, la saturation a été prise à quelques moments lors des tests afin de s'assurer que le sujet conserve une saturation adéquate, mais elle n'a pas été prise de façon standardisée à des moments préétablis. Ainsi, une modification devrait être apportée au protocole afin de la prendre de façon systématique à chaque 2 minutes. De plus, la perception de la difficulté à l'effort aurait dû être demandée à chaque augmentation de l'intensité soit à chaque minute afin de s'assurer

de bien corrélérer la perception de la difficulté à l'effort avec chaque augmentation de l'intensité. Finalement, l'intensité de départ suggérée dans l'étude de Hol et al. (2007)⁽¹¹⁶⁾ devrait être diminuée 10 watts pour chaque catégorie de niveau de conditionnement pour les femmes. Cela permettrait d'obtenir une durée d'effort plus longue (> que 6 minutes dans ce cas-ci) permettant l'atteinte d'un VO_2 optimal ou à tout le moins l'atteinte d'un plateau ce qui n'a pas été observé chez notre sujet féminin. Cela permettrait de diminuer la limitation musculaire puisque l'intensité serait plus petite pour une même durée d'effort. Ainsi, un VO_2 de pointe maximal en lien avec un effort des membres supérieurs pourrait être obtenu.

3.3.5.2 Chez les individus ayant subi une LM

Il semblerait que la force musculaire et la capacité respiratoire soient similaires entre les sujets sains et les sujets paraplégiques.⁽⁷⁾ En effet, des auteurs ne relatent pas de différences entre les mesures de VO_2 max obtenues chez ces deux populations.⁽¹¹¹⁾ Ainsi, pour une clientèle de niveau paraplégique (T2 et plus bas) les mêmes recommandations pourraient être utilisées. Par contre, pour une clientèle tétraplégique, il faut définitivement diminuer les intensités de départ puisque ces individus démontent une atteinte des différents systèmes de régulation tel le contrôle sympathique affectant la FC à l'effort. De plus, la force musculaire est très variable d'un tétraplégique à un autre et il semblerait que la fonction respiratoire soit diminuée de 55 à 59% comparativement à des sujets sains.⁽⁷⁾ Ses données résultent d'une analyse par appariement en termes d'âge, de genre et de grandeur d'un sujet sains et d'un sujet tétraplégique. Ainsi, il devient important d'adapter le protocole en fonction du niveau de la lésion et de la condition physique de l'individu. L'ACSM (2010)⁽²⁴⁾ recommande qu'une épreuve d'effort chez les tétraplégiques débute à une intensité initiale de 0 watt et que les augmentations soient de 5 à 10 watts par paliers. L'utilisation de bandes élastiques pourrait être adaptée afin de permettre aux sujets n'ayant pas la préhension nécessaire d'effectuer l'épreuve d'effort. Sinon, une stabilisation plus efficace pourrait être appliquée au niveau thoracique afin de remplacer la perte d'innervation des muscles abdominaux et/ou une stabilisation du fauteuil roulant si l'évaluateur juge qu'elles sont inadéquates.

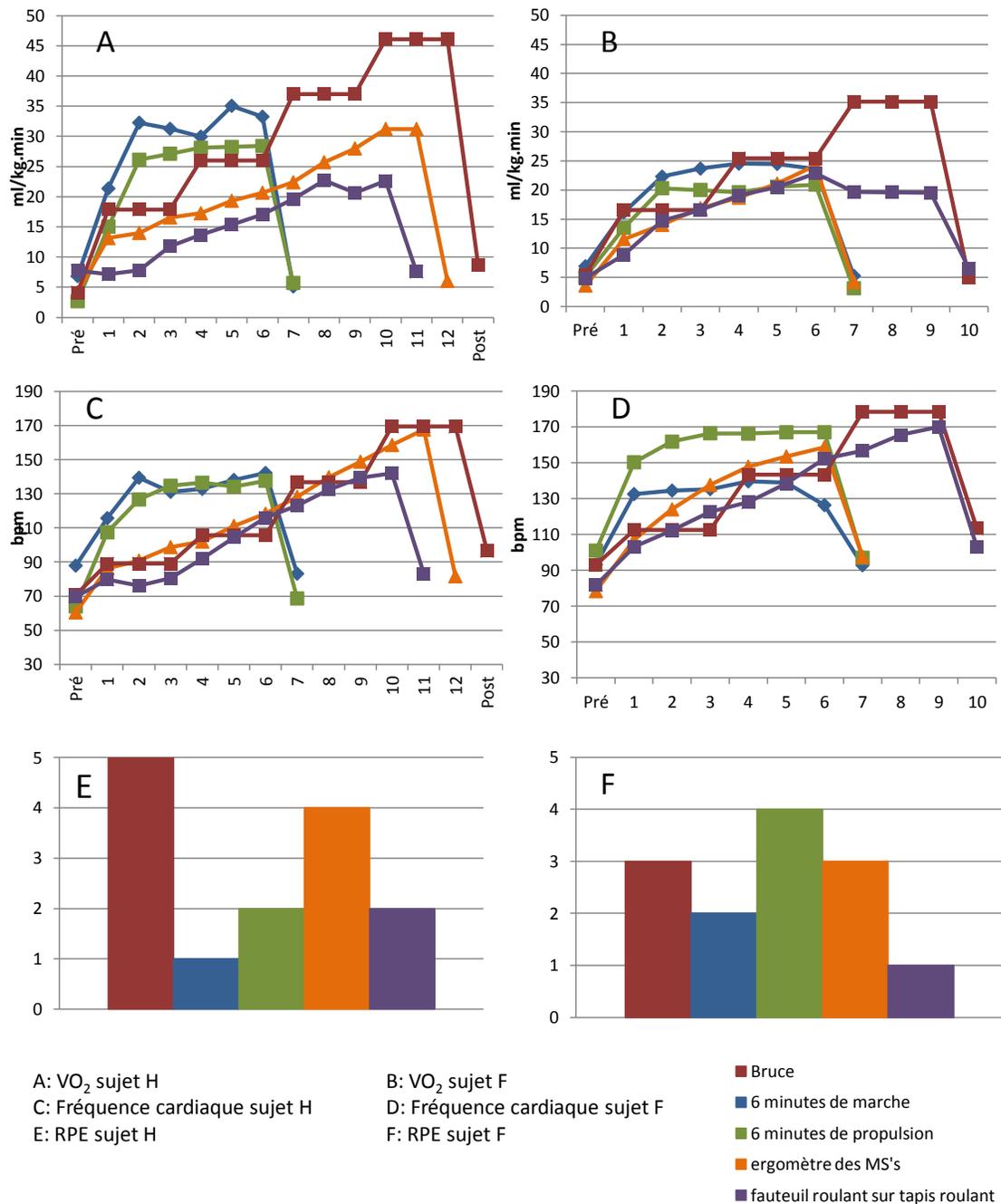
Section 4 – Discussion

4.1 Comparaison des résultats

Les réponses cardiorespiratoires des différents tests ont été comparées entre elles et entre les deux sujets. D'abord, en comparant le protocole de Bruce avec tous les autres tests, il correspond au test qui a obtenu les réponses cardiorespiratoires les plus élevées en termes de VO_2 et de FC. C'est également le test d'effort par paliers qui s'est rendu le plus loin dans le temps. C'est ce qui était attendu étant donné que celui-ci est une épreuve d'effort maximal. Selon plusieurs études, le VO_{2max} obtenu lors d'un exercice avec les MS's sur ergomètre correspond à 70% de la valeur atteinte par un exercice avec les MI's⁽¹¹⁷⁾ et correspond au VO_2 de pointe.⁽²⁵⁾ Cependant, chez des sujets s'entraînant avec les MS's, comme par exemple les rameurs, le pourcentage passe à 90% du VO_{2max} .⁽¹¹⁷⁾ Dans cette étude exploratoire, aucun test d'effort maximal avec les MS's n'atteint une de ces valeurs (Ergomètre des MS's : H : VO_2 de pointe = 64% VO_{2max} ; F : VO_2 de pointe = 56% VO_{2max} ; Fauteuil roulant sur tapis roulant : H : VO_2 de pointe = 47% VO_{2max} ; F : VO_2 de pointe = 53% VO_{2max}). Les deux sujets sains ont rapporté mettre fin à ces tests à cause d'une fatigue des MS's ou d'une difficulté à manipuler le fauteuil roulant et n'étaient pas limités par leur système cardiorespiratoire. Toutefois, pour un même niveau d'effort, c'est-à-dire pour un même VO_2 , la FC est plus élevée pour un exercice avec les MS's que pour un exercice avec les MI's.⁽³⁶⁾ Ceci s'explique par une masse musculaire sollicitée plus grande pour un exercice avec les MS's afin répondre à l'effort demandé, ce qui entraîne une augmentation de la FC.⁽³⁶⁾ Ceci est observé dans la présente étude par la comparaison des FC des différents tests entre elles pour un même VO_2 (cf. : figure 6). La consommation d'oxygène musculaire (VO_2 musculaire) dépend de facteurs extrinsèques et intrinsèques qui régulent tous deux le transfert de l'oxygène des globules rouges aux mitochondries et l'utilisation subséquente de l'oxygène par les mitochondries.⁽¹¹⁸⁾ Durant un exercice avec les MS's, il a été rapporté une plus faible capacité d'extraction d'oxygène principalement due aux facteurs intrinsèques, tels la capillarisation des muscles, et une limitation de la distribution de l'oxygène.⁽¹¹⁸⁾ C'est pourquoi les tests utilisant les MS's ont des VO_2 max plus faibles que le VO_{2max} obtenu par le test d'effort maximal sur tapis roulant.

Il est aussi important de considérer la perception de la difficulté de l'effort (RPE). Pour le sujet H, le RPE le plus élevé appartient au protocole de Bruce, qui a aussi le VO_2 sommet le plus élevé, donc il pourrait être considéré comme le test étant le plus exigeant. Pour le sujet F, c'est le test de six minutes de propulsion qui obtient le RPE le plus élevé, mais il ne correspond pas au test ayant le VO_2 le plus élevé. Selon la littérature, les valeurs de RPE à l'effort ont une

Figure 6 : Valeurs sommet du VO₂ et de la FC et valeurs des cotes sur l'échelle de Borg modifiée pour chacun des tests 2 (retests) et chacun des sujets



forte corrélation avec la FC et la charge de travail.⁽²⁴⁾ Pour l'échelle de Borg originale, graduée de 6 à 20, elles sont en relation directe avec la FC.⁽⁶³⁾ Les différentes lignes directrices rapportent qu'il y a une corrélation entre le RPE de 12 à 16 sur l'échelle originale et un %VO₂max de 50 à 85%.⁽¹¹⁹⁾ De plus, il y a une grande variabilité interindividuelle quant à la cotation sur l'échelle de Borg,^(24, 119) ce qui pourrait expliquer les résultats. L'échelle de Borg a été développée afin de permettre aux sujets d'évaluer subjectivement leur perception de l'effort lors d'un exercice en prenant en compte la forme physique de l'individu, les conditions environnementales et les niveaux de fatigue générale.⁽²⁴⁾ Les cotes peuvent être influencées par des facteurs psychologiques, l'humeur du sujet, les conditions environnementales, le mode d'exercice et l'âge.⁽²⁴⁾ Ces facteurs ont donc pu influencer les deux sujets de l'étude et ainsi induire la variabilité interindividuelle observée. Enfin, l'ACSM rapporte que des sujets en santé atteignent leur limite subjective de fatigue à un RPE de 9 à 10 sur l'échelle modifiée,⁽²⁴⁾ ce qui aurait dû être atteint pour le protocole de Bruce considérant que celui-ci est un test d'effort maximal. À la lumière des résultats obtenus, il semble avoir tout de même une association entre le RPE et la FC dans la présente étude, mais les cotes de RPE sont inférieures à ce qui est attendu, particulièrement pour le protocole de Bruce. Pour les tests en fauteuil roulant ou utilisant les MS's, qui se sont terminés par une limitation par la fatigue au niveau des MS's plutôt que par une limitation cardiorespiratoire, il est normal de retrouver des cotes plus basses étant donné une perception d'effort moins élevée ou l'inverse. Un manque de familiarisation avec la propulsion d'un fauteuil roulant ou des stratégies de propulsion moins efficaces de même que la fatigue des MS's sont des causes probables d'une perception de la difficulté de l'effort plus ou moins valide et en association avec la FC.

Trois des tests effectués étaient spécifiques à une clientèle blessée médullaire utilisatrice de fauteuil roulant, soit le test de six minutes de propulsion, l'ergomètre des MS's et le test de propulsion en fauteuil roulant sur tapis roulant. L'analyse des courbes permet de déterminer que le test apportant un plus grand VO₂ de pointe est l'ergomètre des MS's. Celui-ci est considéré comme un test d'effort maximal par paliers. Même si l'ergomètre des MS's est une modalité d'exercice moins familière qu'un exercice avec fauteuil roulant, il semble plus facile de pratiquer cette activité que le fauteuil roulant sur tapis roulant, surtout pour des sujets sains n'ayant jamais utilisé de fauteuil. Cette épreuve, soit le fauteuil roulant sur tapis roulant, est aussi un test d'effort maximal par paliers. Selon des études portant sur des individus avec une LM, la puissance, la FC et la concentration de lactate sont significativement plus élevées pour l'ergomètre des MS's que pour l'exercice de fauteuil roulant stationnaire sur tapis roulant lors

d'un effort maximal, même s'il n'y a pas de différence significative entre les VO_2 de pointe à l'épuisement.⁽²⁵⁾ Dans une autre étude, chez des sujets paraplégiques de niveau varié de T5 à L4, le VO_2 , la V_E , le VCO_2 et la FC sont significativement plus élevés à l'épuisement pour le test de propulsion de fauteuil roulant sur tapis roulant que pour l'ergomètre des MS's.⁽²⁵⁾ Les auteurs indiquent que la valeur la plus élevée de VO_2 sur le tapis roulant devrait référer au VO_{2max} puisque pour ces sujets, ils ont activé le maximum de masse musculaire disponible comparativement à l'exercice sur ergomètre.⁽²⁵⁾ De plus, le fauteuil roulant sur tapis roulant est une activité plus spécifique à l'ambulation quotidienne chez cette population.⁽²⁵⁾ Cependant, il s'agit d'une population hétérogène quant au niveau de la lésion. Ainsi, selon l'étude de Gass et al.(1995)⁽²⁵⁾, où les sujets étaient plus homogènes (niveau de lésion de T4 à T6), il n'y a pas de différence significative entre les différents paramètres physiologiques mesurés lors des tests d'effort maximal (fauteuil roulant sur tapis roulant vs ergomètre des MS's) alors les tests sur ergomètre des MS's restent une méthode d'évaluation valide.⁽²⁵⁾ En analysant les résultats de la présente étude, les conclusions s'avèrent différentes des deux études mentionnées ci-dessus puisque l'ergomètre des MS's obtient le VO_2 de pointe le plus élevé pour les deux sujets. Par contre, il est important de considérer que l'échantillon est très petit et par conséquent, a pu biaiser les résultats.

Le test de propulsion manuelle de six minutes en fauteuil roulant est une épreuve d'effort sous-maximal. Il est donc normal que les réponses cardiovasculaires obtenues lors de ce test soient plus faibles que celles obtenues lors des tests d'effort maximal. Les résultats démontrent que ce test est tout de même exigeant et évalue bien le système cardiorespiratoire. Les FC obtenues en fin de test, 70% $FC_{max\ prédite}$ (sujet H) et 86% $FC_{max\ prédite}$ (sujet F), atteignent plus ou moins les valeurs du critère d'arrêt pour ce type d'effort, soit 85% FC_{max} .⁽²⁴⁾ Par contre, comme c'est un test encore à l'étude, il est impossible de prédire une valeur de VO_{2max} , aucune formule ne permettant de la calculer. Cependant, il serait quand même possible de faire une prescription d'exercices à partir de ce test en utilisant les valeurs de FC obtenues. Cette épreuve est intéressante du fait qu'elle est représentative des activités d'un sujet ayant subi une LM. Ces sujets sont constamment mis dans des situations où ils doivent arrêter puis repartir. Également, comme il a été mentionné, une plus grande masse musculaire est activée durant la propulsion en fauteuil roulant que durant l'ergomètre des MS's.⁽²⁵⁾ C'est pourquoi ce test serait plus optimal qu'un test sur ergomètre des MS's ou qu'un test de propulsion sur fauteuil roulant et probablement qu'un programme d'exercices bâti à partir des résultats du test serait plus stimulant et plus accessible pour les sujets. Enfin, les réponses cardiorespiratoires obtenues lors

de ce test sont comparables aux réponses obtenues lors du test de six minutes de marche (H : VO_2 de pointe 6WPT = 81% VO_2 de pointe 6MWT, F : VO_2 de pointe 6WPT = 85% VO_2 de pointe 6MWT); il s'agit d'un test qui pourrait être facilement utilisé avec cette population. Néanmoins, il ne faut pas négliger l'espace nécessaire à la réalisation du test qui peut être un inconvénient comparativement à l'ergomètre pour MS's. Parmi les épreuves d'effort étudiées et avec les conclusions apportées au cours de l'étude exploratoire, le test de six minutes de propulsion en fauteuil roulant semble être le test de choix pour la clientèle blessée médullaire.

4.2 Limites de l'étude

La limite principale de notre étude exploratoire est le nombre de sujets. En effet, il demeure toujours difficile, voire impossible, d'arriver à des résultats fiables et statistiquement significatifs avec un échantillon de deux sujets. C'est la raison pour laquelle les auteurs n'ont pas utilisé d'analyses statistiques dans cette étude. Bien qu'il a été possible d'évaluer l'exactitude des résultats attendus et la portée clinique que pourrait apporter une telle méthodologie à plus grand échantillon, les conclusions de cette étude ne sont que très anecdotiques. Dans un second temps, bien qu'un seul sujet de chaque sexe soit représenté, la généralisation de comparaison de résultats entre homme et femme est impossible. Effectivement, les deux sujets avaient plusieurs similitudes, permettant de les comparer entre eux de façon plus réaliste. Cependant, il est important de comprendre qu'une multitude de facteurs autres que ceux reliés à la différence du sexe pourraient expliquer la variabilité des résultats.

De plus, les participants font partie des auteurs de l'étude, ce qui pourrait créer un biais puisque les sujets connaissent les différents tests ainsi que les résultats attendus. Pour ce qui est des évaluateurs, comme ils ont eux-mêmes choisi, modifié ou créé leurs protocoles, ils connaissent également les tests produits ainsi que les attentes face aux résultats, ce qui crée un second biais. Dans les outils utilisés, un problème a été rencontré avec le tensiomètre. Le temps de prise de mesure était relativement long pouvant facilement dépasser une minute. Les données réelles représentant l'effort sont ainsi faussées. Certaines mesures obtenues sont également irréalistes, nous ayant obligé à limiter l'interprétation de certains résultats. L'utilisation d'un sphygmomanomètre manuel pourrait améliorer la certitude de cette prise de données dans une éventuelle étude de ce genre.

Finalement, les sujets choisis ont un volume élevé d'entraînement contrairement à la moyenne de la population. Ce volume amène beaucoup de facteurs extrinsèques pouvant faire

varier les résultats. Une future recherche pourrait être envisagée avec des sujets davantage représentatifs de la population générale ou avec des individus ayant une lésion de la moelle épinière.

Section 5 – Conclusion

5.1 Retour sur les objectifs et hypothèses généraux

L'objectif principal de l'étude était de comparer les réponses cardiorespiratoires de cinq différents protocoles dans le but d'émettre un avis clinique sur le protocole qui serait potentiellement le plus efficace et adéquat dans l'évaluation de la capacité cardiorespiratoire chez un sujet utilisateur de fauteuil roulant. L'évaluation des réelles valeurs maximales du VO_2 chez chacun des sujets ainsi que des valeurs sous-maximales de ceux-ci a d'abord été mesuré à l'aide de deux protocoles connues et validés chez des sujets marcheurs, soit le protocole de Bruce (test maximal) et le test de six minutes de marche (test sous-maximal). Ensuite, trois protocoles pour sujets utilisateurs de fauteuil roulant ont été comparés entre eux. Deux protocoles d'efforts maximaux, soit un sur ergomètre des MS's et un sur fauteuil roulant sur tapis roulant, ainsi qu'un protocole d'effort sous-maximal, soit le nouveau protocole de six minutes de propulsion en fauteuil roulant au corridor développé par des chercheurs québécois, ont été choisis. Aucun de ceux-ci n'a atteint des valeurs maximales comparables aux résultats obtenus par le protocole de Bruce, même avec prise en compte des différences entre les réponses cardiorespiratoires secondaires à un effort des MS's versus un effort des MI's. Effectivement, les trois protocoles ont donné des résultats entre 56 et 64% du VO_{2max} connu par le protocole de Bruce. Ces trois tests semblent donc être des tests représentatifs d'un effort cardiorespiratoire sous-maximal comparable entre eux pour leur intensité exigée. Le test d'ergomètre des MS's étant présentement le plus utilisé en clinique, bien que bien peu suffisamment à titre d'outil d'évaluation, possède des limites importantes. Premièrement, l'arrêt de l'effort se trouve souvent limité par la fatigue musculaire plus que par une limitation cardiorespiratoire. De plus, la demande d'effort se fait dans une position non fonctionnelle en comparaison avec la position adoptée lors de la propulsion d'un fauteuil roulant. Le test de fauteuil roulant sur tapis roulant, pour sa part, demande l'achat d'un appareil adapté très coûteux et encombrant pour un environnement clinique. Le test de propulsion de six minutes, par ses qualités fonctionnelles d'intégration de pivot et d'arrêt, par son coût d'utilisation et de matériel minime, par sa facilité d'installation et le peu d'espace requis et finalement par ses réponses cardiorespiratoires similaires aux deux autres protocoles, devient le protocole parmi les trois proposés qui semble le plus adéquat pour l'application clinique. Bien qu'il soit très peu étudié par la littérature à ce jour, il se veut très prometteur pour l'avenir de l'évaluation cardiorespiratoire chez les sujets utilisateurs de fauteuil roulant.

Un second objectif était d'évaluer l'effet de familiarisation des protocoles chez un même sujet. Une amélioration notable des performances a été notée pour chacun des protocoles et pour chacun des sujets, mais principalement au niveau des protocoles nécessitant l'utilisation de la propulsion en fauteuil roulant. En effet, l'effet réel de familiarisation a été nuancé par rapport à celle qui aurait pu être observée chez de vrais sujets utilisateurs de fauteuil roulant dans la vie quotidienne. Effectivement, comme nous n'avons pas fréquemment utilisé de fauteuil roulant, une amélioration significative de notre efficacité de propulsion, associée à la familiarisation avec le fauteuil et non aux exigences du test, a été observée. Une éventuelle étude comportant des sujets utilisateurs de fauteuils roulants pourrait évaluer de meilleure façon l'effet de familiarisation aux protocoles effectués.

Le dernier objectif portait sur la comparaison des résultats entre les sujets, soit un sujet H et un sujet F. Peu de conclusions réelles peuvent être effectuées pour comparer l'effet du genre sur les résultats puisque seulement deux sujets ont fait partis de l'étude. Bien que le volume d'entraînement et la stratification des sujets sont similaires entre ceux-ci, plusieurs facteurs personnels autres que ceux reliés au genre peuvent modifier la nature des différences observées. Somme toute, le sujet H a démontré un VO_2 max plus élevé et des réponses cardiorespiratoires démontrant un V_T plus élevé ainsi qu'une FC et un VO_2 de pointe plus bas pour l'ensemble des quatre protocoles utilisés en comparaison au protocole d'effort maximal de Bruce.

5.2 Retombées et implications cliniques

Cette étude exploratoire a permis de voir que certains protocoles décrits comme maximaux n'étaient pas représentatifs de la réelle capacité cardiorespiratoire maximale chez des sujets sains. Ainsi, des études portant sur une clientèle affectée au niveau cardiorespiratoire pourraient permettre de supposer que les sujets sains très entraînés utilisés dans l'étude actuelle ont atteint l'effet plafond des protocoles. Dans le cas contraire, il serait important de s'assurer que les protocoles établis soient documentés à leur juste valeur et selon ce qu'ils évaluent réellement. De plus, les résultats obtenus et les avantages du 6MWPT détaillés dans la partie précédente permettent d'affirmer qu'il s'agit d'un test prometteur pour l'avenir. Bien évidemment, la validation et l'évaluation des qualités métrologiques de ce test seront essentielles pour prouver son utilité clinique. Ainsi, des études avec un échantillon de la population plus importante pourraient mener à des conclusions mieux définies.

5.3 Contributions et remerciements

Les auteurs de l'étude tiennent à souligner la contribution et remercier le support de leurs directeurs de recherche associés qui ont été essentiels au bon déroulement de ce travail. Dr. Dany Gagnon ainsi que Mme Rachel Brosseau ont fait partie intégrante de ce projet. Il est également important de souligner le support du laboratoire de pathokinésiologie de Montréal, situé à l'IRGLM, qui a fourni les outils et le matériel nécessaire à l'exécution de cette étude exploratoire. Finalement, des remerciements spéciaux au programme de physiothérapie de l'École de réadaptation qui a permis aux auteurs d'approfondir leurs connaissances et de créer ce projet d'envergure pour des étudiants à la maîtrise professionnelle. Merci!

Section 6- Références

1. CPA. CPA National. [2011-09-13]; Available from: <http://canparaplegic.org/fr/>.
2. Pickett GE, Campos-Benitez M, Keller JL, Duggal N. Epidemiology of traumatic spinal cord injury in Canada. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(7):799-805. Epub 2006/04/04.
3. Haisma JA, Bussmann JB, Stam HJ, Sluis TA, Bergen MP, Post MW, et al. Physical fitness in people with a spinal cord injury: the association with complications and duration of rehabilitation. *Clinical rehabilitation*. 2007;21(10):932-40. Epub 2007/11/06.
4. Warburton DER SS, Krassioukov A, Eng JJ Cardiovascular Health and Exercise Following Spinal Cord Injury. *Spinal Cord Injury Rehabilitation Evidence [Internet]*. 2010; (Version 3.0):[1-38 pp.]. Available from: <http://www.scireproject.com>.
5. Vidal J, Javierre C, Segura R, Lizarraga A, Barbany JR, Perez A. Physiological adaptations to exercise in people with spinal cord injury. *Journal of physiology and biochemistry*. 2003;59(1):11-8. Epub 2003/08/09.
6. Ginis KA, Hicks AL, Latimer AE, Warburton DE, Bourne C, Ditor DS, et al. The development of evidence-informed physical activity guidelines for adults with spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2011;49(11):1088-96. Epub 2011/06/08.
7. 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. Epub 2006/03/15.
8. Jacobs PL, Nash MS. Exercise recommendations for individuals with spinal cord injury. *Sports Med*. 2004;34(11):727-51. Epub 2004/10/01.
9. RIPPH. RIPPH: Réseau international sur le Processus de production du handicap. 2006 [2011-12-08]; Available from: www.ripph.qc.ca.
10. Noreau L, Proulx P, Gagnon L, Drolet M, Laramée MT. Secondary impairments after spinal cord injury: a population-based study. *Am J Phys Med Rehabil*. 2000;79(6):526-35. Epub 2000/11/18.
11. Devillard X, Rimaud D, Roche F, Calmels P. Effects of training programs for spinal cord injury. *Annales de readaptation et de médecine physique : revue scientifique de la Société française de rééducation fonctionnelle de readaptation et de médecine physique*. 2007;50(6):490-8, 80-9. Epub 2007/05/08.
12. Riggins MS, Kankipati P, Oyster ML, Cooper RA, Boninger ML. The relationship between quality of life and change in mobility 1 year postinjury in individuals with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011;92(7):1027-33. Epub 2011/06/28.
13. Umphred DA. *Neurological rehabilitation, fifth edition*. 5ième ed. Mosby E, editor 2007. 1257 p.
14. 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. Epub 1998/11/27.
15. DeVivo MJ, Black KJ, Stover SL. Causes of death during the first 12 years after spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74(3):248-54. Epub 1993/03/01.
16. Berlly M, Shem K. Respiratory management during the first five days after spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2007;30(4):309-18. Epub 2007/09/15.
17. Carter RE. Medical management of pulmonary complications of spinal cord injury. *Adv Neurol*. 1979;22:261-9. Epub 1979/01/01.
18. Krassioukov A WD, Teasell RW, Eng JJ Autonomic Dysreflexia Following Spinal Cord Injury. *Spinal Cord Injury Rehabilitation Evidence [Internet]*. 2010; (Version 3.0):[1-33 pp.]. Available from: <http://www.scireproject.com>.

19. Hjeltnes N, Jansen T. Physical endurance capacity, functional status and medical complications in spinal cord injured subjects with long-standing lesions. *Paraplegia*. 1990;28(7):428-32. Epub 1990/09/01.
20. Noreau L, Shephard RJ. Spinal cord injury, exercise and quality of life. *Sports Med*. 1995;20(4):226-50. Epub 1995/10/01.
21. Cress ME, Meyer M. Maximal voluntary and functional performance levels needed for independence in adults aged 65 to 97 years. *Phys Ther*. 2003;83(1):37-48. Epub 2002/12/24.
22. Hicks AL, Martin KA, Ditor DS, Latimer AE, Craven C, Bugaresti J, et al. Long-term exercise training in persons with spinal cord injury: effects on strength, arm ergometry performance and psychological well-being. *Spinal Cord*. 2003;41(1):34-43. Epub 2002/12/21.
23. Vanderthommen M, Francaux M, Colinet C, Lehance C, Lhermerout C, Crielaard JM, et al. A multistage field test of wheelchair users for evaluation of fitness and prediction of peak oxygen consumption. *J Rehabil Res Dev*. 2002;39(6):685-92. Epub 2007/10/19.
24. ACSM. ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, eight edition. 8ième ed. Lippincott WW, editor2010.
25. 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. Epub 1995/05/01.
26. Maeder M, Wolber T, Atefy R, Gadza M, Ammann P, Myers J, et al. A nomogram to select the optimal treadmill ramp protocol in subjects with high exercise capacity: validation and comparison with the Bruce protocol. *J Cardiopulm Rehabil*. 2006;26(1):16-23. Epub 2006/04/18.
27. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American heart journal*. 1973;85(4):546-62. Epub 1973/04/01.
28. Buchanan S, Orris P, Karliner J. Alternatives to the mercury sphygmomanometer. *J Public Health Policy*. 2011;32(1):107-20. Epub 2010/11/27.
29. Midgley AW, Bentley DJ, Luttikholt H, McNaughton LR, Millet GP. Challenging a dogma of exercise physiology: does an incremental exercise test for valid VO₂ max determination really need to last between 8 and 12 minutes? *Sports Med*. 2008;38(6):441-7. Epub 2008/05/21.
30. Myers J, Bellin D. Ramp exercise protocols for clinical and cardiopulmonary exercise testing. *Sports Med*. 2000;30(1):23-9. Epub 2000/07/25.
31. Poole DC, Wilkerson DP, Jones AM. Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *Eur J Appl Physiol*. 2008;102(4):403-10. Epub 2007/10/31.
32. Whiting RB, Dreisinger TE, Hayden CR. Wheelchair exercise testing: comparison of continuous and discontinuous exercise. *Paraplegia*. 1984;22(2):92-8. Epub 1984/04/01.
33. Wezenberg D, de Haan A, van der Woude LH, Houdijk H. 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*. 2012;92(2):329-38. Epub 2011/12/14.
34. Robergs RA, Keteyian, S.J. Fundamentals of exercise physiology: For fitness, performance, and health. 2e édition ed. Mc-Graw-Hill, editor2003.
35. Lear SA, Brozic A, Myers JN, Ignaszewski A. Exercise stress testing. An overview of current guidelines. *Sports Med*. 1999;27(5):285-312. Epub 1999/06/16.
36. Robergs RA, Ketyian, S.J. Fundamentals of exercise physiology: For fitness, performance, and health. 2e édition ed. Mc-Graw-Hill, editor2003.
37. Tordi N, Dugue B, Klupzinski D, Rasseneur L, Rouillon JD, Lonsdorfer J. Interval training program on a wheelchair ergometer for paraplegic subjects. *Spinal Cord*. 2001;39(10):532-7. Epub 2001/10/20.
38. Laughlin MH. Cardiovascular response to exercise. *The American journal of physiology*. 1999;277(6 Pt 2):S244-59. Epub 2000/01/22.
39. ACSM. ACSM's resource manual for Guidelines for exercise testing and prescription. 1993.

40. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377-81. Epub 1982/01/01.
41. Ortego AR, Dantzler DK, Zaloudek A, Tanner J, Khan T, Panwar R, et al. Effects of gender on physiological responses to strenuous circuit resistance exercise and recovery. *J Strength Cond Res.* 2009;23(3):932-8. Epub 2009/04/24.
42. Ehrman JK. ACSM's Resource Manual for Guidelines for Exercise Testing and Prescription. 6ième ed. Wilkins LW, editor 2010. 868 p.
43. Carter R, 3rd, Watenpaugh DE, Smith ML. Gender differences in cardiovascular regulation during recovery from exercise. *J Appl Physiol.* 2001;91(4):1902-7. Epub 2001/09/25.
44. Robertson RJ, Moyna NM, Sward KL, Millich NB, Goss FL, Thompson PD. Gender comparison of RPE at absolute and relative physiological criteria. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(12):2120-9. Epub 2000/12/29.
45. Harms CA, Rosenkranz S. Sex differences in pulmonary function during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(4):664-8. Epub 2008/03/05.
46. Harms CA. Does gender affect pulmonary function and exercise capacity? *Respir Physiol Neurobiol.* 2006;151(2-3):124-31. Epub 2006/01/13.
47. Reybrouck T, Fagard R. Gender differences in the oxygen transport system during maximal exercise in hypertensive subjects. *Chest.* 1999;115(3):788-92. Epub 1999/03/20.
48. Carter J, Jeukendrup AE. Validity and reliability of three commercially available breath-by-breath respiratory systems. *Eur J Appl Physiol.* 2002;86(5):435-41. Epub 2002/03/08.
49. Duffield R, Dawson B, Pinnington HC, Wong P. Accuracy and reliability of a Cosmed K4b2 portable gas analysis system. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia.* 2004;7(1):11-22. Epub 2004/05/14.
50. Kingsley M, Lewis MJ, Marson RE. Comparison of Polar 810s and an ambulatory ECG system for RR interval measurement during progressive exercise. *Int J Sports Med.* 2005;26(1):39-44. Epub 2005/01/12.
51. Weippert M, Kumar M, Kreuzfeld S, Arndt D, Rieger A, Stoll R. Comparison of three mobile devices for measuring R-R intervals and heart rate variability: Polar S810i, Suunto t6 and an ambulatory ECG system. *European journal of applied physiology.* 2010;109(4):779-86. Epub 2010/03/13.
52. Pickering TG, Hall JE, Appel LJ, Falkner BE, Graves J, Hill MN, et al. Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: part 1: blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research. *Circulation.* 2005;111(5):697-716. Epub 2005/02/09.
53. Polo Friz H, Facchetti R, Primitz L, Beltrame L, Galbiati V, Ricioppo A, et al. Simultaneous validation of the SunTech 247 diagnostic station blood pressure measurement device according to the British Hypertension Society protocol, the International Protocol and the Association for the Advancement of Medical Instrumentation standards. *Blood Press Monit.* 2009;14(5):222-7. Epub 2009/09/11.
54. O'Brien E, Pickering T, Asmar R, Myers M, Parati G, Staessen J, et al. Working Group on Blood Pressure Monitoring of the European Society of Hypertension International Protocol for validation of blood pressure measuring devices in adults. *Blood Press Monit.* 2002;7(1):3-17. Epub 2002/06/01.
55. White WB, Berson AS, Robbins C, Jamieson MJ, Prisant LM, Roccella E, et al. National standard for measurement of resting and ambulatory blood pressures with automated sphygmomanometers. *Hypertension.* 1993;21(4):504-9. Epub 1993/04/01.
56. Mengelkoch LJ, Martin D, Lawler J. A review of the principles of pulse oximetry and accuracy of pulse oximeter estimates during exercise. *Phys Ther.* 1994;74(1):40-9. Epub 1994/01/01.

57. Breuer HW, Groeben H, Schondeling H, Worth H. Comparative analysis of arterial oxygen saturations during exercise by pulse oximetry, photometric measurements, and calculation procedures. *Int J Sports Med.* 1990;11(1):22-5. Epub 1990/02/01.
58. Mollard P, Bourdillon N, Letournel M, Herman H, Gibert S, Pichon A, et al. Validity of arterialized earlobe blood gases at rest and exercise in normoxia and hypoxia. *Respir Physiol Neurobiol.* 2010;172(3):179-83. Epub 2010/05/25.
59. Thomas FO, Hoffman TL, Handrahan DL, Crapo RO, Snow G. The measure of treatment agreement between portable and laboratory blood gas measurements in guiding protocol-driven ventilator management. *J Trauma.* 2009;67(2):303-13; discussion 13-4. Epub 2009/08/12.
60. Borg G, Dahlstrom H. A case study of perceived exertion during a work test. *Acta Societatis Medicorum Upsaliensis.* 1962;67:91-3. Epub 1962/01/01.
61. Pandolf KB. Advances in the study and application of perceived exertion. *Exercise and sport sciences reviews.* 1983;11:118-58. Epub 1983/01/01.
62. Robertson RJ. Central signals of perceived exertion during dynamic exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):390-6. Epub 1982/01/01.
63. Finch E, Brooks D, Statford P W, Mayo N E. *Physical Rehabilitation Outcome Measures, A Guide to Enhanced Clinical Decision Making.* 2^{ième} édition ed: Association canadienne de physiothérapie, BC Decker; 2002.
64. Coquart JBJ ea. *Perception de l'effort chez l'enfant et l'adolescent : mesure et intérêts.* Science & Sports 2008.
65. Noonan V, Dean E. Submaximal exercise testing: clinical application and interpretation. *Phys Ther.* 2000;80(8):782-807. Epub 2000/07/27.
66. Mackenzie B. Bruce Treadmill Test. 2002; Available from: <http://www.brianmac.co.uk/bruce.htm>
67. Quinn E. **The Bruce Treadmill Test Protocol / A Fitness Evaluation Used to Measure VO₂ Max.** 2008; Available from: http://sportsmedicine.about.com/od/fitnessevalandassessment/a/Bruce_Protocol.htm.
68. Foster C, Jackson AS, Pollock ML, Taylor MM, Hare J, Sennett SM, et al. Generalized equations for predicting functional capacity from treadmill performance. *Am Heart J.* 1984;107(6):1229-34. Epub 1984/06/01.
69. Myers J, Buchanan N, Walsh D, Kraemer M, McAuley P, Hamilton-Wessler M, et al. Comparison of the ramp versus standard exercise protocols. *J Am Coll Cardiol.* 1991;17(6):1334-42. Epub 1991/05/01.
70. Pollock ML, Bohannon RL, Cooper KH, Ayres JJ, Ward A, White SR, et al. A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am Heart J.* 1976;92(1):39-46. Epub 1976/07/01.
71. Handler CE, Sowton E. A comparison of the Naughton and modified Bruce treadmill exercise protocols in their ability to detect ischaemic abnormalities six weeks after myocardial infarction. *Eur Heart J.* 1984;5(9):752-5. Epub 1984/09/01.
72. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *American journal of respiratory and critical care medicine.* 2002;166(1):111-7. Epub 2002/07/02.
73. Butland RJ, Pang J, Gross ER, Woodcock AA, Geddes DM. Two-, six-, and 12-minute walking tests in respiratory disease. *Br Med J (Clin Res Ed).* 1982;284(6329):1607-8. Epub 1982/05/29.
74. Guyatt GH, Pugsley SO, Sullivan MJ, Thompson PJ, Berman L, Jones NL, et al. Effect of encouragement on walking test performance. *Thorax.* 1984;39(11):818-22. Epub 1984/11/01.
75. B. B. A simple field test for the assessment of physical fitness. 1963.
76. King SJ, Wessel J, Bhambhani Y, Sholter D, Maksymowych W. The effects of exercise and education, individually or combined, in women with fibromyalgia. *The Journal of rheumatology.* 2002;29(12):2620-7. Epub 2002/12/05.

77. Pankoff B, Overend T, Lucy D, White K. Validity and responsiveness of the 6 minute walk test for people with fibromyalgia. *The Journal of rheumatology*. 2000;27(11):2666-70. Epub 2000/11/28.
78. Mudge S, Stott NS. Timed walking tests correlate with daily step activity in persons with stroke. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009;90(2):296-301. Epub 2009/02/25.
79. Focht BC, Rejeski WJ, Ambrosius WT, Katula JA, Messier SP. Exercise, self-efficacy, and mobility performance in overweight and obese older adults with knee osteoarthritis. *Arthritis and rheumatism*. 2005;53(5):659-65. Epub 2005/10/07.
80. Ross RM, Murthy JN, Wollak ID, Jackson AS. The six minute walk test accurately estimates mean peak oxygen uptake. *BMC pulmonary medicine*. 2010;10:31. Epub 2010/05/28.
81. Enright PL. The six-minute walk test. *Respiratory care*. 2003;48(8):783-5. Epub 2003/08/02.
82. Hamilton DM, Haennel RG. Validity and reliability of the 6-minute walk test in a cardiac rehabilitation population. *J Cardiopulm Rehabil*. 2000;20(3):156-64. Epub 2000/06/22.
83. Faggiano P, D'Aloia A, Gualeni A, Lavatelli A, Giordano A. Assessment of oxygen uptake during the 6-minute walking test in patients with heart failure: preliminary experience with a portable device. *American heart journal*. 1997;134(2 Pt 1):203-6. Epub 1997/08/01.
84. Guyatt GH, Thompson PJ, Berman LB, Sullivan MJ, Townsend M, Jones NL, et al. How should we measure function in patients with chronic heart and lung disease? *Journal of chronic diseases*. 1985;38(6):517-24. Epub 1985/01/01.
85. Riley M, McParland J, Stanford CF, Nicholls DP. Oxygen consumption during corridor walk testing in chronic cardiac failure. *European heart journal*. 1992;13(6):789-93. Epub 1992/06/01.
86. Elpern EH, Stevens D, Kesten S. Variability in performance of timed walk tests in pulmonary rehabilitation programs. *Chest*. 2000;118(1):98-105. Epub 2000/07/14.
87. Demers C, McKelvie RS, Negassa A, Yusuf S. Reliability, validity, and responsiveness of the six-minute walk test in patients with heart failure. *American heart journal*. 2001;142(4):698-703. Epub 2001/10/02.
88. Ingle L. A review of the six-minute walk test: its implication as a self-administered assessment tool. *European journal of cardiovascular nursing : journal of the Working Group on Cardiovascular Nursing of the European Society of Cardiology*. 2009;8(3):232-4. Epub 2009/02/19.
89. Redelmeier DA, Bayoumi AM, Goldstein RS, Guyatt GH. Interpreting small differences in functional status: the Six Minute Walk test in chronic lung disease patients. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 1997;155(4):1278-82. Epub 1997/04/01.
90. Troosters T, Vilaro J, Rabinovich R, Casas A, Barbera JA, Rodriguez-Roisin R, et al. Physiological responses to the 6-min walk test in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *The European respiratory journal : official journal of the European Society for Clinical Respiratory Physiology*. 2002;20(3):564-9. Epub 2002/10/03.
91. Solway S, Brooks D, Lacasse Y, Thomas S. A qualitative systematic overview of the measurement properties of functional walk tests used in the cardiorespiratory domain. *Chest*. 2001;119(1):256-70. Epub 2001/02/07.
92. Enright PL, Sherrill DL. Reference equations for the six-minute walk in healthy adults. *American journal of respiratory and critical care medicine*. 1998;158(5 Pt 1):1384-7. Epub 1998/11/17.
93. D DSG. Comparaison de la réponse cardiorespiratoire lors d'un test de propulsion manuelle en fauteuil roulant de 6 minutes et d'un test maximal progressif avec ergomètre à bras chez les individus atteint d'une lésion médullaire 2011.
94. Gagnon D CMDS. The 6-Minute Manual Wheelchair Propulsion Test: A Novel, Reliable and Precise Performance-Based Outcome Measure for Individuals with Spinal Cord Injury. 16th International World Confederation for Physical Therapy Congress, Amsterdam, The Netherlands.

June 2011. 16th International World Confederation for Physical Therapy Congress, Amsterdam, The Netherlands 2011.

95. gagnon D. rA. The 6-minute Manual Wheelchair Propulsion Test for Individuals with a Spinal Cord Injury : A new performance-based rehabilitation outcome measure. 2010.
96. Bernard PL, Mercier J, Varray A, Prefaut C. Influence of lesion level on the cardioventilatory adaptations in paraplegic wheelchair athletes during muscular exercise. *Spinal Cord*. 2000;38(1):16-25. Epub 2000/04/13.
97. Chitwood LF, Moffatt RJ, Burke K, Luchino P, Jordan JC. Encouragement during maximal exercise testing of type A and type B scorers. Perceptual and motor skills. 1997;84(2):507-12. Epub 1997/04/01.
98. Kwarciaak AM, Turner JT, Guo L, Richter WM. The effects of four different stroke patterns on manual wheelchair propulsion and upper limb muscle strain. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2012. Epub 2012/02/03.
99. Wicks JR, Lymburner K, Dinsdale SM, Jones NL. The use of multistage exercise testing with wheelchair ergometry and arm cranking in subjects with spinal cord lesions. *Paraplegia*. 1977;15(3):252-61. Epub 1977/11/01.
100. Glaser RM, Sawka MN, Brune MF, Wilde SW. Physiological responses to maximal effort wheelchair and arm crank ergometry. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*. 1980;48(6):1060-4. Epub 1980/06/01.
101. Walker R, Powers S, Stuart MK. Peak oxygen uptake in arm ergometry: effects of testing protocol. *Br J Sports Med*. 1986;20(1):25-6. Epub 1986/03/01.
102. Day JR, Rossiter HB, Coats EM, Skasick A, Whipp BJ. The maximally attainable VO₂ during exercise in humans: the peak vs. maximum issue. *J Appl Physiol*. 2003;95(5):1901-7. Epub 2003/07/15.
103. 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. Epub 2002/09/18.
104. 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. Epub 1991/09/01.
105. Smith PM, Doherty M, Drake D, Price MJ. The influence of step and ramp type protocols on the attainment of peak physiological responses during arm crank ergometry. *Int J Sports Med*. 2004;25(8):616-21. Epub 2004/11/09.
106. Smith PM, Price MJ, Doherty M. The influence of crank rate on peak oxygen consumption during arm crank ergometry. *Journal of sports sciences*. 2001;19(12):955-60. Epub 2002/02/01.
107. Price MJ, Collins L, Smith PM, Goss-Sampson M. The effects of cadence and power output upon physiological and biomechanical responses to incremental arm-crank ergometry. *Applied physiology, nutrition, and metabolism = Physiologie appliquee, nutrition et metabolisme*. 2007;32(4):686-92. Epub 2007/07/12.
108. Duran FS, Lugo L, Ramirez L, Eusse E. Effects of an exercise program on the rehabilitation of patients with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(10):1349-54. Epub 2001/10/06.
109. El-Sayed MS, Younesian A, Rahman K, Ismail FM, El-Sayed Ali Z. The effects of arm cranking exercise and training on platelet aggregation in male spinal cord individuals. *Thromb Res*. 2004;113(2):129-36. Epub 2004/04/30.
110. Al-Rahamneh HQ, Eston RG. Prediction of peak oxygen consumption from the ratings of perceived exertion during a graded exercise test and ramp exercise test in able-bodied participants and paraplegic persons. *Arch Phys Med Rehabil*. 2011;92(2):277-83. Epub 2011/01/29.

111. Al-Rahamneh HQ, Eston RG. The validity of predicting peak oxygen uptake from a perceptually guided graded exercise test during arm exercise in paraplegic individuals. *Spinal Cord*. 2011;49(3):430-4. Epub 2010/10/13.
112. Lansley KE, Dimenna FJ, Bailey SJ, Jones AM. A 'new' method to normalise exercise intensity. *Int J Sports Med*. 2011;32(7):535-41. Epub 2011/05/13.
113. Barker AR, Williams CA, Jones AM, Armstrong N. Establishing maximal oxygen uptake in young people during a ramp cycle test to exhaustion. *Br J Sports Med*. 2011;45(6):498-503. Epub 2009/08/15.
114. Foster C, Kuffel E, Bradley N, Battista RA, Wright G, Porcari JP, et al. VO₂max during successive maximal efforts. *Eur J Appl Physiol*. 2007;102(1):67-72. Epub 2007/09/25.
115. Rossiter HB, Kowalchuk JM, Whipp BJ. A test to establish maximum O₂ uptake despite no plateau in the O₂ uptake response to ramp incremental exercise. *J Appl Physiol*. 2006;100(3):764-70. Epub 2005/11/12.
116. 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. Epub 2007/04/03.
117. Secher NH, Volianitis S. Are the arms and legs in competition for cardiac output? *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38(10):1797-803. Epub 2006/10/05.
118. Calbet JA, Holmberg HC, Rosdahl H, van Hall G, Jensen-Urstad M, Saltin B. Why do arms extract less oxygen than legs during exercise? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*. 2005;289(5):R1448-58. Epub 2005/05/28.
119. Whaley MH, Brubaker PH, Kaminsky LA, Miller CR. Validity of rating of perceived exertion during graded exercise testing in apparently healthy adults and cardiac patients. *J Cardiopulm Rehabil*. 1997;17(4):261-7. Epub 1997/07/01.
120. Castro RR, Pedrosa S, Chabalgoity F, Sousa EB, Nobrega AC. The influence of a fast ramp rate on peak cardiopulmonary parameters during arm crank ergometry. *Clinical physiology and functional imaging*. 2010;30(6):420-5. Epub 2010/08/20.
121. Boone J, Koppo K, Barstow TJ, Bouckaert J. Aerobic fitness, muscle efficiency, and motor unit recruitment during ramp exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42(2):402-8. Epub 2009/11/21.
122. Zoeller RF, Jr., Riechman SE, Dabayeb IM, Goss FL, Robertson RJ, Jacobs PL. Relation between muscular strength and cardiorespiratory fitness in people with thoracic-level paraplegia. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86(7):1441-6. Epub 2005/07/09.
123. Sedlock DA, Schneider DA, Gass E, Gass G. Excess post-exercise oxygen consumption in spinal cord-injured men. *Eur J Appl Physiol*. 2004;93(1-2):231-6. Epub 2004/09/07.
124. Hopman MT, Houtman S, Groothuis JT, Folgering HT. The effect of varied fractional inspired oxygen on arm exercise performance in spinal cord injury and able-bodied persons. *Arch Phys Med Rehabil*. 2004;85(2):319-23. Epub 2004/02/18.
125. Jacobs PL, Nash MS, Rusinowski JW. Circuit training provides cardiorespiratory and strength benefits in persons with paraplegia. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(5):711-7. Epub 2001/04/27.

section 7 – Annexes

7.1 Q-APP

Questionnaire sur l'aptitude
à l'activité physique - Q-AAP
(version révisée en 2002)

Q-AAP et VOUS

(Un questionnaire pour les gens de 15 à 69 ans)

L'exercice physique pratiqué d'une façon régulière constitue une occupation de loisir saine et agréable. D'ailleurs, de plus en plus de gens pratiquent une activité physique de façon régulière. Règle générale, augmenter la pratique sportive n'entraîne pas de risques de santé majeurs. Dans certains cas, il est cependant conseillé de passer un examen médical avant d'entreprendre un programme régulier d'activités physiques. Le Q-AAP (questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique) vise à mieux cerner les personnes pour qui un examen médical est recommandé.

Si vous prévoyez modifier vos habitudes de vie pour devenir un peu plus actif(ve), commencez par répondre aux 7 questions qui suivent. Si vous êtes âgé(e) de 15 à 69 ans, le Q-AAP vous indiquera si vous devez ou non consulter un médecin avant d'entreprendre votre nouveau programme d'activités. Si vous avez plus de 69 ans et ne participez pas d'une façon régulière à des activités physiques exigeantes, vous devriez consulter votre médecin avant d'entreprendre ces activités.

Lisez attentivement et répondez honnêtement à chacune des questions suivantes. Le simple bon sens sera votre meilleur guide pour répondre correctement à ces questions. Cochez OUI ou NON.

OUI	NON	
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1. Votre médecin vous a-t-il déjà dit que vous souffriez d'un problème cardiaque et que vous ne deviez participer qu'aux activités physiques prescrites et approuvées par un médecin?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2. Ressentez-vous une douleur à la poitrine lorsque vous faites de l'activité physique?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3. Au cours du dernier mois, avez-vous ressenti des douleurs à la poitrine lors de périodes autres que celles où vous participez à une activité physique?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4. Éprouvez-vous des problèmes d'équilibre reliés à un étourdissement ou vous arrive-t-il de perdre connaissance?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5. Avez-vous des problèmes osseux ou articulaires (par exemple, au dos, au genou ou à la hanche) qui pourraient s'aggraver par une modification de votre niveau de participation à une activité physique?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6. Des médicaments vous sont-ils actuellement prescrits pour contrôler votre tension artérielle ou un problème cardiaque (par exemple, des diurétiques)?
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7. Connaissez-vous une autre raison pour laquelle vous ne devriez pas faire de l'activité physique?

Si vous

avez

répondu

OUI à une ou plusieurs questions

Consultez votre médecin AVANT d'augmenter votre niveau de participation à une activité physique et AVANT de faire évaluer votre condition physique. Dites à votre médecin que vous avez complété le questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique et expliquez-lui précisément à quelles questions vous avez répondu «OUI».

- Il se peut que vous n'ayez aucune contre-indication à l'activité physique dans la mesure où vous y allez lentement et progressivement. Par ailleurs, il est possible que vous ne puissiez faire que certains types d'efforts adaptés à votre état de santé. Indiquez à votre médecin le type d'activité physique que vous comptez faire et suivez ses recommandations.
- Informez-vous quant aux programmes d'activités spécialisés les mieux adaptés à vos besoins, offerts dans votre localité.

NON à toutes ces questions

Si, en toute honnêteté, vous avez répondu «NON» à toutes les questions du Q-AAP, vous êtes dans une certaine mesure, assuré(e) que:

- vous pouvez augmenter votre pratique régulière d'activités physiques en commençant lentement et en augmentant progressivement l'intensité des activités pratiquées. C'est le moyen le plus simple et le plus sécuritaire d'y arriver.
- vous pouvez faire évaluer votre condition physique. C'est le meilleur moyen de connaître votre niveau de condition physique de base afin de mieux planifier votre participation à un programme d'activités physiques.

REMETTRE À PLUS TARD L'AUGMENTATION DE VOTRE PARTICIPATION ACTIVE:

- si vous souffrez présentement de fièvre, d'une grippe ou d'une autre affection passagère, attendez d'être remis(e); ou
- si vous êtes enceinte ou croyez l'être, consultez votre médecin avant de modifier votre niveau de pratique sportive régulière.

Veillez noter que si votre état de santé se trouve modifié de sorte que vous deviez répondre «OUI» à l'une ou l'autre des questions précédentes, consultez un professionnel de la santé ou de la condition physique, afin de déterminer s'il vous faut modifier votre programme d'activités.

Formule de consentement du Q-AAP: La Société canadienne de physiologie de l'exercice, Santé Canada et ses représentants n'assument aucune responsabilité vis-à-vis des accidents qui pourraient survenir lors de l'activité physique. Si, après avoir complété le questionnaire ci-dessus, un doute persiste quant à votre aptitude à faire une activité physique, consultez votre médecin avant de vous y engager.

Toute modification est interdite. Nous vous encourageons à copier le Q-AAP dans sa totalité.

Dans la mesure où le Q-AAP est administré avant que la personne ne s'engage dans un programme d'activités ou qu'elle fasse évaluer sa condition physique, la section suivante constitue un document ayant une valeur légale et administrative.

«Je soussigné(e) affirme avoir lu, compris et complété le questionnaire et avoir reçu une réponse satisfaisante à chacune de mes questions.»

NOM _____

SIGNATURE _____

DATE _____

SIGNATURE D'UN PARENT
ou TUTEUR (pour les mineurs)

TÉMOIN _____

N.B. – Cette autorisation de faire de l'activité physique est valide pour une période maximale de 12 mois à compter du moment où le questionnaire est rempli. Elle n'est plus valide si votre état de santé change de telle sorte que vous répondiez «OUI» à l'une des sept questions.



© Société canadienne de physiologie de l'exercice www.csep.ca/forms

7.2 Tableaux résumés des protocoles recensés

7.2.1 Épreuve d'effort progressif sur tapis roulant : Protocole de Bruce

TABLEAU 20 : Tableau comparatif des protocoles d'effort à la marche sur tapis roulant

Nom de l'auteur et année	Population à l'étude	Protocoles comparés	Type de protocole	Protocole / critères d'arrêt	Mesures des résultats (■) / paramètres monitorisés (□)	Résultats obtenus
Bruce et al., 1973	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Hommes et femmes volontaires sains classés selon leur niveau d'activité (sédentaire / actif physiquement) et leur âge ✓ Hommes avec problèmes cardiaques classés selon leur pathologie (hypertension / infarctus du myocarde guéri / angine / infarctus du myocarde guéri + angine) 	Établir des normes standards avec le protocole de Bruce	Par paliers	<ol style="list-style-type: none"> 1. Débuter avec une marche de 3 min. à une vitesse de 1.7 miles/h avec une pente de 10% (METs = 4). 2. Vitesse et pente augmentées toutes les 3 min.. 3. Exercice arrêté lorsqu'il y a fatigue extrême du patient et/ou d'autres signes ou symptômes limitants. 4. Critères d'arrêt obligatoire : <ul style="list-style-type: none"> ■ Apparition d'une démarche ataxique ■ Extrasystoles ventriculaires consécutives ≥ 3 	<ul style="list-style-type: none"> ■ VO₂max mesuré ■ VO₂max prédit (en fonction de l'âge, du sexe et de l'activité physique) ■ VO₂max estimé (en fonction du temps obtenu au test) ■ FAI (functional aerobic impairment → déficience aérobique fonctionnelle) ■ Nomogramme □ FC □ ECG (2 dérivations) enregistré assis au repos, à chaque minute d'exercice et durant les 5 minutes de la période de récupération (sujet 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Exercice sous-maximal : <ul style="list-style-type: none"> □ Aucune différence significative des mesures répétées pour les VO₂ obtenus lors de l'épreuve sous-maximale □ Apparition d'un plateau lors des 2 dernières minutes des 2 premiers niveaux □ Après les 5 premières minutes, ↑ linéaire du VO₂ □ VO₂ ♂ > VO₂ ♀ de la 5^{ème} à la 9^{ème} minute □ Pas de différence significative entre les VO₂ des 4 premières minutes des hommes en santé vs hommes cardiaques □ VO₂ ♂ cardiaques < VO₂ ♂ en santé de la 5^{ème} à la 9^{ème} minute ■ Exercice maximal :

				<p>assis) → utilisé pour monitorer le rythme, la fréquence et les changements du segment ST</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ Pression artérielle mesurée avant l'exercice, durant chaque palier et durant les 5 minutes de la période de récupération ▫ Gaz expirés afin de calculer le VO_2 et le VCO_2/VO_2 	<ul style="list-style-type: none"> ▫ $VO_2 \text{ ♀} = 77\% VO_2 \text{ ♂}$ ▫ Durée de l'exercice $\text{♀} = 46\%$ durée de l'exercice ♂ → ♀ travaillent plus fort que les ♂ pour le même niveau d'exercice sous-maximal ▫ Excellente reproductibilité du $VO_2\text{max}$ chez les sujets en santé et les hommes avec maladie cardiaque après un retest ▫ Chez les sujets qui ont continué le test après l'obtention du $VO_2\text{max}$, on observe une \downarrow du VO_2 ▪ Prédiction du $VO_2\text{max}$: <ul style="list-style-type: none"> ▫ par analyse par régression multiple progressive : valeurs prédites pour les femmes sont sous-estimées ▫ par équations de régression à 2 variables : meilleures prédictions ▫ Variables qui ont un effet sur la prédiction du $VO_2\text{max}$: sexe, âge, activité physique, poids, grandeur, histoire de tabagisme ▪ Estimation du $VO_2\text{max}$: $VO_2\text{max estim\acute{e}} = 6.70 - 2.82 * (\text{facteur poids pour le sexe}) + 0.056 * (\text{dur\acute{e}e en secondes})$ ▪ $FAI = 0 \pm 14\%$ (valeur négative → $VO_2\text{observ\acute{e}}$)
--	--	--	--	---	---

						<p>> 100% VO₂prédit)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nomogrammes construits afin de faciliter l'évaluation clinique rapide de la capacité à l'exercice en termes de FAI
Foster et al., 1984	Hommes qui ont subi une épreuve d'effort limitée par symptômes (avec le protocole de Bruce) en même temps qu'une mesure de VO ₂ max à l'aide de spirométrie en circuit ouvert. Échantillon avec un large spectre d'âge, de conditions cliniques et de niveaux de santé physique, incluant des athlètes.	<ol style="list-style-type: none"> 1. VO₂max mesuré 2. VO₂max prédit par les équations de régression 	Par paliers	<ol style="list-style-type: none"> 1. Test préliminaire avec 3 niveaux de 2 min. chacun pour les sujets avec maladie cardiovasculaire connue : <ul style="list-style-type: none"> ▪ 1.5 miles/h, pente=0% ▪ 1.5 miles/h, pente=3% ▪ 1.7 miles/h, pente=6% 2. Sujets sains débutent avec le protocole standard. Si nécessaire, une courte période de familiarisation avec le tapis roulant est donnée. 3. Protocole de Bruce : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vitesse de départ : 1.7 miles/h; pente de départ : 0% ▪ Vitesse et pente ajustées après chaque palier de 3 minutes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VO₂max mesuré ▪ VO₂max prédit ▫ ECG (12 dérivations) obtenu durant les 15 dernières secondes de chaque minute d'exercice, immédiatement après l'exercice et durant les 5 premières minutes de la période de récupération ▫ Pression artérielle mesurée durant la dernière minute de chaque niveau, immédiatement après l'exercice et durant les 5 premières minutes de la période de récupération ▫ VO₂max / VO₂ présenté à toutes les minutes et mis à jour toutes les 30 secondes ▫ Ventilation pulmonaire 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Un plateau est atteint lorsque les critères pour un VO₂max sont atteints chez 89% des patients. ▪ Équation généralisée pour prédire le VO₂max : modèle cubique. ▪ VO₂max chez un patient avec maladie cardiovasculaire < VO₂max chez un sujet en santé sédentaire < VO₂max chez un sujet sain pour un même niveau de performance. ▪ Il n'y a pas de différence statistiquement significative entre le VO₂max mesuré et le VO₂max prédit en utilisant les équations généralisées. ▪ La première équation généralisée, qui dépend uniquement de la performance sur le tapis roulant, donne une estimation exacte du VO₂max et est simple d'utilisation : $VO_2\text{max} = 14.76 - 1.38*(\text{temps}) + 0.451*(\text{temps}^2) - 0.012*(\text{temps}^3)$.

				4. Arrêt du test à l'apparition de symptômes (fatigue, dyspnée, angine 2+, claudication ou symptômes centraux) ou signes (dépression du segment ST >3 mm par rapport au repos, activité ectopique significative ou réponse inappropriée de la pression artérielle).	<ul style="list-style-type: none"> ▫ Contenu en O₂ et CO₂ ▫ VCO₂/VO₂ 	
Noonan, V. et Dean, É., 2000	Sujets d'âge varié avec une variété de conditions cliniques et de niveaux d'activité physique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Protocole de Bruce original 2. Protocole de Bruce modifié 	Par paliers	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Échauffement quelques minutes ▪ Vitesse de départ : 1.7 miles/h; pente de départ : 0% ▪ Vitesse et pente ajustées après chaque palier de 3 minutes selon le tableau. ▪ Arrêt du test lorsque le sujet est incapable de continuer. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VO₂max ▪ Durée de l'exercice 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VO₂max ♂ > VO₂max ♀ ▪ VO₂max personnes actives > VO₂max sédentaires ▪ VO₂max diminue avec l'âge ▪ VO₂max mesuré corrélé avec la durée de l'exercice ▪ Équations de régression (en fonction du sexe, niveau d'activité et âge) : <ul style="list-style-type: none"> ▫ pour les hommes : VO₂ max = 14.8 - (1.379 x T) + (0.451 x T²) - (0.012 x T³) ▫ Pour les femmes : VO₂ max = (4.38 x T) - 3.9
Porszasz, J. et al.,	Sujets sédentaires en santé, âgés de 18 à 54 ans	1. Protocole en rampe sur tapis	Rampe	Protocole sur tapis roulant :	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Relation VO₂-charge de travail (pente) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réponse du VO₂ en relation linéaire avec l'↑ de la charge de travail →

2003		roulant 2. Protocole en rampe sur ergomètre		<ol style="list-style-type: none"> 1. Charge de travail maximale prédite par une équation 2. Vitesse maximale choisie en fonction de l'habileté du sujet à marcher confortablement 3. Échauffement : vitesse de départ lente et pente faible → 1^{er} palier = 3 min. (ex. : 0,7 miles/h à 2,7%). 4. 20 paliers de 30 sec. pour une durée totale de 10 minutes (pentes et vitesses ajustées selon les équations). 5. Arrêt du test à la limite de tolérance du sujet. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VO₂max ▪ Seuil lactate estimé ▫ Ventilation-minute (V_E) ▫ Consommation d'oxygène (VO₂) ▫ Production de CO₂ (VCO₂) ▫ ECG (12 dérivations) ▫ FC 	<p>pente de la relation VO₂-charge de travail + élevée sur tapis roulant qu'ergomètre</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ VO₂max et seuil lactate estimé + élevés sur tapis roulant qu'ergomètre
Maeder et al., 2006	Sujets volontaires en santé, âgés de 20 à 65 ans	<ol style="list-style-type: none"> 1. Protocole sur tapis roulant 2. Protocole de Bruce 	Rampe	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tous les participants ont fait les 2 tests sur 2 jours différents. 2. Protocole individuel sélectionné à partir de 5 protocoles en 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MET_{SVSAQ} ▪ MET_{SNOMOGRAMME} ▪ MET_{SESTIMÉ} ▪ MET_{SMESURÉ} ▫ ECG (3 dérivations) enregistré en continu ▫ TA prise aux 2 min. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tous les participants ont obtenu un temps de tapis roulant entre 8 et 12 min pour le protocole en rampe. ▪ 6 participants ont obtenu un temps entre 8 et 12 min. au protocole de Bruce. ▪ VO₂max mesuré (donc le

				<p>rampe en fonction du $MET_{SNOMOGRAMME}$ obtenu.</p> <p>3. $MET_{ESTIMÉ}$ à partir d'équations standards à l'aide de la vitesse et de la pente utilisées au cours du test.</p> <p>4. $MET_{MESURÉ} = VO_2max$ mesuré directement/3.5.</p> <p>5. Arrêt du test jusqu'à épuisement du sujet. Les critères d'arrêt standards ont aussi été utilisés s'ils apparaissent avant l'épuisement du sujet.</p>	<p>durant le protocole en rampe et aux 3 min. durant le protocole de Bruce</p> <ul style="list-style-type: none"> ▫ Gaz expirés recueillis en continu ▫ VO_2 et VCO_2 recueillis aux 30 sec. ▫ RPE sur l'échelle de Borg prise aux 2 min. et à l'effort maximal ▫ VCO_2/VO_2 déterminé au début du test et à l'effort maximal 	<p>$MET_{MESURÉ}$ protocole en rampe < VO_2max mesuré protocole de Bruce</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ $MET_{MESURÉ}$ est près du $MET_{SNOMOGRAMME}$ et $MET_{ESTIMÉ}$ est 11% > $MET_{SNOMOGRAMME}$ pour le protocole en rampe ▪ $MET_{MESURÉ}$ est près du $MET_{SNOMOGRAMME}$ et $MET_{ESTIMÉ}$ est 13% > $MET_{SNOMOGRAMME}$ pour le protocole de Bruce ▪ Forte corrélation entre $MET_{MESURÉ}$ et $MET_{ESTIMÉ}$ pour le protocole en rampe ▪ Faible corrélation entre $MET_{MESURÉ}$ et $MET_{ESTIMÉ}$ pour le protocole de Bruce
Myers, J. et Bellin, D., 2000	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 10 patients avec insuffisance cardiaque chronique ✓ 10 patients avec maladie artérielle coronarienne qui sont limités par l'angine à l'effort ✓ 10 patients avec maladie artérielle coronarienne qui sont asymptomatiques à l'effort ✓ 10 sujets volontaires 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Test sur ergomètre : paliers de 25W/2 min. 2. Test sur ergomètre : paliers de 50W/2 min. 3. Test sur ergomètre en rampe 4. Test de Bruce 	Rampe	<ol style="list-style-type: none"> 1. Les 3 tests sur tapis roulant et les 3 tests sur ergomètre ont été effectués par chaque patient dans un ordre randomisé à des jours différents. 2. Nomogramme utilisé pour estimer le MET_{max} à partir du 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VO_2max ▪ Relation VO_2-charge de travail (pente) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VO_2max protocoles sur tapis roulant > VO_2max protocoles sur ergomètre, mais pas de différence significative entre les protocoles sur tapis roulant et entre les protocoles sur ergomètre entre eux ▪ Relation VO_2-charge de travail protocoles en rampe > relation VO_2-charge de travail

	appariés selon l'âge	5. Test de Balke 6. Protocole en rampe		questionnaire VSAQ avant de débiter les tests. 3. Protocole en rampe : échauffement d'une durée de 1 minute à 2,0 miles/h et 0% de pente. Les changements de vitesse et de pente sont individualisés en fonction du VO ₂ max estimé.		protocoles avec grandes augmentations de la charge de travail ▪ Amélioration marquée de la relation VO ₂ -charge de travail pour patients avec maladie cardiaque vs sujets normaux pour les protocoles en rampe
Myers, J. et al., 1992	Sujets en santé, sans histoire de maladie cardiovasculaire, séparés en 2 groupes : hypertension et normotension.	1. Protocole de Balke-Ware modifié 2. Protocole en rampe	Rampe	1. Protocole de Balke-Ware modifié fait en premier pour la familiarisation avec le test et les appareils pour mesurer les gaz et pour mesurer le VO ₂ max. 2. 2 ^{ième} test effectué une semaine plus tard : ▪ Échauffement : 1 min. de marche à une charge de 2 miles/h - 0% ▪ Vitesse maximale individualisée choisie pour	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VO₂mesuré ▪ VO₂estimé ▪ VO₂max mesuré ▪ VO₂max estimé ▪ METs calculés à partir de la vitesse et de la pente maximales ▪ METs estimés à partir d'un questionnaire ▫ Perception de l'effort sur l'échelle de Borg (6-20) ▫ FC ▫ Pression systolique ▫ Pression diastolique ▫ VO₂ ▫ VCO₂ ▫ V_E 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La consommation d'oxygène augmente avec l'augmentation de la charge de travail. ▪ La pente de la relation VO₂/charge de travail ne diffère pas selon la durée de l'exercice (< 5 min. vs > 5 min.). ▪ Une estimation raisonnable de la capacité fonctionnelle du sujet peut être obtenue rapidement à partir d'un questionnaire (METs estimés).

				<p>chaque sujet en fonction du test initial</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Paramètres du test (changements de vitesse et de pente) calculés par un logiciel informatique à partir du VO_2max initial (1^{er} test), la vitesse maximale prédéterminée et une durée de test projetée de 10 minutes ▪ Capacité fonctionnelle (METs) calculée à partir de la vitesse et de la pente avec les équations standards ▪ Le test se termine volontairement jusqu'à fatigue du sujet. 	<p>▫ Quotient respiratoire</p>	
Pollock et al., 1976	Hommes en santé, volontaires, âgés de 35 à 55 ans, divisés en 2 groupes : actifs et sédentaires	<ol style="list-style-type: none"> 1. Protocole de Balke 2. Protocole de Bruce 3. Protocole d'Ellestad 4. Protocole d'Åstrand 	Par paliers	<ol style="list-style-type: none"> 1. Protocole de présélection : protocole de Balke : seuls les sujets en santé et asymptomatiques en termes de maladie 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ VO_2max ▪ Durée ▪ FCmax ▪ Ventilation pulmonaire max ▪ METs ▪ QR ▪ TAS 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Réponses aux tests d'effort maximaux : <ul style="list-style-type: none"> ▫ réponses cardiorespiratoires similaires pour le VO_2max, FCmax et TAS et TAD après 1 minute de récupération

				<p>coronarienne continuent l'investigation.</p> <p>2. 2 sessions d'orientation : pratique de la marche et de la course sur tapis roulant et familiarisation avec la valve respiratoire pour recueillir les données métaboliques.</p> <p>3. Chacun des 4 tests est effectué à une semaine d'intervalle :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Balke : vitesse constante à 3.3 miles/h, pente augmentée de 1% à toutes les minutes → ↑ de 0.5 METs/min après 3 minutes ▪ Bruce : vitesse de départ à 1.7 miles/h et pente à 10%, augmentation de la vitesse et de la pente toutes les 3 minutes → ↑ de 1 à 1.5 METs/min après 3 minutes ▪ Ellestad : vitesse de départ à 1.7 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TAD ▪ Relation VO_2-durée et FC-durée ▪ Nomogramme <ul style="list-style-type: none"> □ ECG □ FC □ Gaz expirés : O_2 et CO_2 □ V_E □ TAS □ TAD 	<ul style="list-style-type: none"> □ différence significative pour les réponses cardiorespiratoires du VO_2max du test de Balke vs Åstrand et de la TAD du test de Balke vs Ellestad et du test de Balke vs Åstrand □ le protocole de Balke a des valeurs de V_E et de QR significativement plus basses que les 3 autres tests de même qu'une augmentation de la charge de travail plus progressive en termes de dépense énergétique (METs) → 0.5 METs par minute ▪ Augmentation de la charge de travail par rapport au temps (VO_2 ou METs) pour les tests de Bruce et Ellestad de 1 à 1.5 METs par minute avec une augmentation initiale de 5 METs en 3 minutes ▪ Augmentation initiale rapide de 9 METs en 3 minutes pour le protocole d'Åstrand → test moins intéressant pour le dépistage de maladies coronariennes ▪ Corrélation entre le temps et le VO_2max pour les protocoles de Bruce, Ellestad et Balke → équations de prédictions
--	--	--	--	---	--	---

				<p>miles/h et pente à 10%; pente maintenue à 10% pendant 10 minutes puis augmentée à 15%; vitesse augmente après 3, 5, 7, 12, 14 et 16 minutes → ↑ de 1 à 1.5 METs/min après 3 minutes</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Åstrand modifié : vitesse constante et dépend de l'habilité du sujet à courir → ↑ de 1 METs/min après 3 minutes, mais dépense énergétique grande dès le départ (9 METs après 3 minutes) 		<p>établies</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Nomogramme : VO_2max ou durée du test pour une épreuve d'effort peut être utilisé pour déterminer la performance à l'un des 3 autres tests
--	--	--	--	--	--	---

7.2.2 Épreuve d'effort sous-maximal : Test de marche de 6 minutes au corridor

TABLEAU 21 : Tableau comparatif des protocoles d'effort au 6MWT

Auteur, Année	Type d'étude, nombre de sujet	Paramètres mesurés	Distance du parcours	Consignes/encouragement	Autres auteurs utilisant ce protocole
ATS Statements, 2002 ⁽⁷²⁾	Guidelines	FC, Borg modifié (fatigue et dyspnée), SpO ₂ , Présence de pause Symptômes post-tests Distance parcourue Distance prédite	30 m (100 feet)	Consignes fixes, encouragements fixes et standardisés pendant le test	Enright Paul L, 2003 ⁽⁸¹⁾ Enright Paul L, Sherrill Duane L., 1998 ⁽⁸⁶⁾ Elpern and coll., 2000 ⁽⁸²⁾ Butland, 1982 ⁽⁷³⁾
Trooters T. and all, 2002 ⁽⁸⁴⁾	Essai clinique non-randomisé, 20 sujets	Cosmed K4b2 (FC, RER, VCO ₂ , VO ₂ , Ve) Moitié des sujets: PaO ₂ , PaCO ₂ , concentration artérielle en lactate en sus.	90 m	Encouragements non-standardisés par physiothérapeute pour augmenter la distance de marche	Nil

7.2.3 Épreuve d'effort progressif en fauteuil roulant manuel sur tapis roulant

TABLEAU 22 : Tableau comparatif des protocoles d'effort en fauteuil roulant sur tapis roulant

Auteurs et date	type	Équipement	Vitesse	Protocole	Fin du test
Bernard 2000	Palier progressif	Tapis roulant et FR personnel	4km/h	1-Échauffement 5 minutes 2-↑ 1 km/h par minute 3-Récupération active de 5 minutes	Épuisement
Knechtle 2001	Palier progressif	FR personnel Fixé au tapis roulant	8km/h	1-Inclinaison de 1% initiale 2-↑ inclinaison de 0.5% aux 2 minutes	Épuisement
McConnell1 989	Palier progressif	Tapis roulant et fR	2 mph (3.22km/h)	1- Début a 0% de pente 2-↑de 2% chaque 3 minutes	Épuisement
Le foll-de Moro, 2005	Palier progressif	Rouleaux et FR (WCE)	4 ou 6 km/h au choix	1-Repos de 3 minutes 2-Échauffement à 15 W pour 2 min 3-↑ 5W au 2 min 4-5 min récupération passive	Épuisement
Devillard 2001	Palier progressif	Rouleaux et FR (WCE)	Au choix	1-Échauffement 10W pendant 3 min 2-↑10 W/2min	Épuisement
Bougenot 2003	Palier progressif	Rouleaux et FR (WCE)	Au choix (1.39 à 1.67 m/s)	1-2 min d'échauffement à 15 W 2- ↑ 10W/ 2min	Incapable de maintenir la vitesse
Haisma 2006	Palier progressif	Tapis roulant	2km/h tetra 4km/h para	1-0.36° / minutes	Inclinaison maintenue ≤30 sec
Martel 1991	Palier progressif	Rouleaux et FR (WCE)		1-Échauffement 5W pour 2 minutes 2- ↑ 10 W/minutes	-Fatigue sur échelle de Borg à 17/20 - Épuisement -FC max prédite
Gass 1992	Palier progressif	Tapis roulant et FR	3.5 km/h	1- 3 min échauffement à 3.5 km/h inclinaison 0% 2- ↑vitesse à 0.5km/h /30 sec puis inclinaison 0.5%/30 sec 3- Jusqu'à 4% inclinaison ensuite augmenter la vitesse 0.5 km/h /30 sec	-Épuisement
Cooper, 1992	Palier progressif	Rouleaux (WCE)	1er-2,23 m/s 2e-vitesse 2.68m/s	1er-↑0.446 m/s aux 2 minutes 2e- aucune résistance au départ, puis, 10 W aux 90 secondes	1 ^{er} - Quand le sujet ne peut plus aller plus vite 1 ^{er} - Épuisement 2 ^e - ne peut maintenir la vitesse 2 ^e - Épuisement

7.2.4 Épreuve d'effort progressif sur ergomètre des membres supérieurs

TABLEAU 23 : Tableau comparatif des protocoles d'effort sur ergomètre des membres supérieurs (MS's)

Auteur, date	Type de test d'effort / type d'ergomètre	Protocole	Critères d'arrêt	Mesures prises	Conclusions/ Recommandations/ À considérer
Barker et al., 2012 ⁽¹¹³⁾ (étude chez les enfants, 9-10 ans)	Effort maximal progressif par rampe suivi d'une épreuve supra-maximale	<u>Effort maximal :</u> 1. 3 minutes d'échauffement à 10W 2. ↑ de 10 W/minute 3. Récupération active à 10W pendant 10 minutes 4. Repos de 5 minutes <u>Épreuve supra-maximale :</u> 5. 2 minutes à 10W 6. Augmentation de l'intensité à 105% de la puissance atteinte dans le test d'effort 7. Récupération active à 10W jusqu'à une FC d'environ 120 bpm Cadence : 75 rpm	Épreuve d'effort 1. Si cadence < 60 rpm pendant plus de 5 secondes Épreuve supra-maximale 2. Jusqu'à l'épuisement	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. VO ₂ max et VO ₂ plateau 4. VO ₂ à RER ≥ 1,00 6. VO ₂ à 195 bpm 7. VO ₂ à 85% de la FC max prédite 8. [lactate] (mmol/L) 9. RER max 10. Temps (minutes)	<u>Conclusions :</u> 1. Les critères secondaires (RPE, FC max, [lactate]) comme critères d'arrêt sous-estimer le VO ₂ max d'un enfant de 10-22% 2. Les chercheurs devraient abandonner l'utilisation des critères secondaires pour déterminer le VO ₂ max chez les enfants <u>Recommandation :</u> Utiliser les épreuves supra-maximales, à la suite du test d'effort initial, comme la méthode de choix pour vérifier le VO ₂ max
Lansley et al., 2011 ⁽¹¹²⁾	Effort maximal progressif en rampe (type : Lode Excalibur Sport V2)	1. 3 minutes d'échauffement à 20W 2. ↑ de 30 W/minute 3. Récupération active à 10W pendant 10 minutes Cadence auto-sélectionnée	1. Jusqu'à l'épuisement	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. VO ₂ max (L/min) 4. [lactate] (mmol/L) 5. RER 6. RPE 7. VCO ₂ (ml/min) 8. V _E (L/min) 9. Temps (minutes)	<u>À considérer :</u> Cadence auto-sélectionnée : 70 à 90 rpm Critère d'atteinte du VO ₂ max : - RER ≥ 1.10 - FC ≤ 10 bpm de la FC maximal prédite - [lactate] de 8 à 10 mmol/L
Al-Rahamneh et al. 2011 ⁽¹¹⁰⁾	Effort maximal progressif en rampe et en	<u>Test 1 en rampe :</u> 1. 3 minutes d'échauffement sans résistance	1. Incapacité à maintenir la cadence 2. Arrêt	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. VO ₂ max (L/min) 4. RER	<u>Conclusions :</u> 1. Chez les paraplégiques le test 2 semble plus précis

	palier (type : Lode ergometer)	2. ↑ de 15 W/minute <u>Test 2 en palier :</u> 1. 3 minutes d'échauffement sans résistance 2. début du test à 30W 3. ↑ de 15 W/2 minutes Cadence : 60 rpm	volontaire 3. Jusqu'à l'épuisement	5. RPE global et périphérique 6. V_E (L/min) 7. Temps (minutes)	pour prédire VO_{2max} 2. Chez les sujets sains le test 1 semble plus précis pour prédire VO_{2max}
Al-Rahamneh et al. 2011 ⁽¹¹¹⁾	Effort maximal progressif par paliers (type : Lode ergometer)	1. 3 minutes d'échauffement sans résistance 2. début du test à 30W 3. ↑ de 15 W/2 minutes Cadence : 60 rpm	1. Incapacité à maintenir la cadence 2. Arrêt volontaire 3. Jusqu'à l'épuisement	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. VO_{2max} (L/min) 4. RER 5. RPE global et périphérique 6. V_E (L/min) 7. Temps (minutes)	<u>Conclusion :</u> Très forte relation linéaire entre la perception de la difficulté à l'effort (RPE) et le VO_2 lors de l'épreuve d'effort chez une clientèle paraplégique
Castro et al., 2010 ⁽¹²⁰⁾	Effort maximal progressif en rampe (type : Monark 818E) Comparaison de 2 protocoles progressifs en rampe	1. Échauffement d'une minute à 30W 2. Test 1 : ↑ de 2W/6 secondes Test 2 : ↑ de 1W/ 6 secondes Cadence : 70 rpm	1. Si cadence < 60 rpm pendant plus d'une minute 2. Arrêt volontaire 3. Jusqu'à l'épuisement	Au seuil ventilatoire et mesures maximales : 1. Puissance (watts) 2. FC (bpm) 3. V_E (L/min) 4. VO_2 (ml/kg x min) 5. VCO_2 (ml/min) 6. Fréquence respiratoire (FR/min) 7. Temps (minutes) Seulement mesuré aux valeurs maximales 1. RER	<u>Conclusions :</u> 1. Pas de différence entre le test 1 et 2 2. Test 1 : Recommandé pour les individus jeunes et en santé, serait intéressant de l'appliquer avec d'autres clientèles 3. Test 1 : très bonne fiabilité test-retest
Boone et al., 2011 ⁽¹²¹⁾	Effort maximal progressif en rampe (type : Excalibur Sport)	<u>Pré-test :</u> 1. ↑ de 35W/minute <u>Test d'effort :</u> 1. 3 minutes de repos 2. Puissance de départ à 50W (étude avec 10 hommes 20,4 ans) 3. rampe individualisée Cadence : 75 rpm	1. Épuisement 2. Incapacité à maintenir la cadence	1. Puissance (watts) 2. FC (bpm) 3. VO_2 (ml/kg x min) 4. VCO_2 (ml/min) 5. Seuil ventilatoire 6. EMG 7. Temps (minutes)	<u>À considérer :</u> Pré-test afin d'obtenir la puissance maximale afin d'individualiser la rampe (épuisement en moins de 12 minutes)
Poole et Wilkerson, 2008 ⁽³¹⁾	Effort maximal progressif en rampe	1. 3 minutes d'échauffement à 20 watts (plus petite puissance disponible sur	1. Arrêt volontaire	1. VO_2 max (ml/kg x min) 2. Puissance (watts) 3. FC max (bpm) 4. VO_2 plateau	<u>Conclusions :</u> 1. Les cadences auto-sélectionnées étaient de 70 à 90 rpm 2. L'utilisation des

	(type : Lode Excalibur Sport)	l'appareil) 2. ↑ de 20W/ minute Validation de ce protocole avec une épreuve de fatigue à puissance constant (105% de la puissance maximale atteinte lors de l'épreuve en rampe) Cadence : auto-sélectionnée		5. RER maximale 6. VO ₂ à RER de 1,10 7. VO ₂ à RER de 1,15 8. [lactate] (mmol/L) 9. Temps (minutes)	protocoles en rampe ne permettent pas d'atteindre le VO ₂ max chez une proportion importante d'individus en santé 3. La FC max, la concentration de lactate et le ratio des échanges RER (à 1,10 ou 1,15) sous-estiment la mesure du VO ₂ max <u>Recommandation :</u> L'abandon de l'utilisation de ces critères pour l'établissement du VO ₂ max chez une population adulte
Hol et al., 2007 ⁽¹¹⁶⁾	Effort maximal progressif en rampe (type : Excalibur)	1. 2 min au repos 2. Bref échauffement sans résistance 3. ↑ de 10 W/minute Cadence : 60 à 80 rpm	1. Si cadence < 35 rpm 2. Arrêt volontaire 3. Jusqu'à l'épuisement	1. Puissance (watts) PO 2. FC max (bpm) 3. V _E max (L/min) 4. VO ₂ max (ml/kgxmin et en L/min) 5. RER 6. [lactate] (mmol/L) 7. Temps (minutes)	<u>Recommandations :</u> PO de départ pour l'épreuve de 6 minutes sous-maximale (paraplégique) 1. 30W pour F inactive 2. 40W pour F active ou H inactif 3. 50W pour F athlète ou H actif 4. 60W pour H athlète
Foster et al., 2007 ⁽¹¹⁴⁾	Effort maximal progressif en rampe suivi d'une épreuve supra-maximale (Type : Lode Excalibur)	<u>Épreuve d'effort :</u> 1. Échauffement général 2. Début du test : ↑ à 25W, puis ↑ de 25W/minute 3. Lorsque le sujet n'est plus capable de maintenir la cadence de 60 rpm l'épreuve d'effort est terminée et la puissance est diminuée à 25W pendant 60 secondes <u>Épreuve d'effort supra-maximale :</u> 4. Puis, ré-augmentation à 25W de plus que la	Pour les 2 épreuves 1. Si cadence < 60 rpm	1. Puissance (watts) PO 2. FC max (bpm) Arrêt 1 et 2 3. V _E max (L/min) 4. VO ₂ max (en L/min) arrêt 1 et 2 5. Temps (minutes)	<u>Conclusion :</u> Le VO ₂ max obtenu à la suite des 2 épreuves est le même malgré une augmentation de la puissance comparativement à l'épreuve lors de l'effort supra-maximal VO ₂ max (effort maximal) = VO ₂ max (épreuve supra-maximale)

		<p>puissance maximale de l'épreuve d'effort</p> <p>5. Récupération active à 25W</p> <p>Cadence : 60 à 90 rpm</p>			
Rossiter et al., 2006 ⁽¹¹⁵⁾	<p>Effort maximal progressif en rampe suivi d'une épreuve supra-maximale</p> <p>(type : Lode Excalibur Sport)</p>	<p><u>Épreuve d'effort :</u></p> <p>1. Début du test à 20W, puis ↑ de 20W/minute</p> <p>2. Lorsque le sujet n'est plus capable de maintenir la cadence de 50 rpm : épreuve d'effort terminé et la puissance est diminuée à 20W pendant une phase de récupération active de 5 minutes</p> <p><u>Épreuve d'effort supra-maximale :</u></p> <p>4. Puis, ré-augmentation à 105% de la puissance maximale atteinte lors de l'épreuve d'effort</p> <p>5. Récupération active à 20W pendant 6 minutes</p> <p>Un second effort supra-maximal à 95% de la puissance de l'épreuve d'effort, 5 jours</p> <p>Cadence : non identifiée</p>	<p>Pour les 2 épreuves</p> <p>1. Si cadence < 50 rpm</p> <p>2. Jusqu'à l'épuisement</p>	<p>1. Puissance (watts) PO</p> <p>2. FC max (bpm)</p> <p>3. % de la FC max</p> <p>3. RER</p> <p>4. VO₂max (en L/min)</p> <p>5. Temps (minutes)</p>	<p><u>Conclusion</u></p> <p>1. Il n'y a pas de différence significative en les VO₂max obtenus au cours des 2 épreuves.</p> <p>2. Les auteurs supposent la présence d'un plateau dans l'atteinte du VO₂max même si leurs données ne le prouvent pas.</p>
Zoeller et al., 2005 ⁽¹²²⁾	<p>Effort progressif maximal par paliers, discontinu</p> <p>(type : Monark, modèle 881)</p>	<p>1. 10 minutes de repos</p> <p>2. Périodes d'effort de 4 minutes entrecoupé de périodes de repos de 3 minutes</p> <p>3. ↑ de 10W/période d'effort</p> <p>Cadence : 50 rpm</p>	<p>1. Arrêt volontaire</p> <p>2. Jusqu'à l'épuisement</p> <p>3. Si cadence < 50 rpm pendant plus de 10 secondes</p>	<p>1. Puissance (watts)</p> <p>2. FC max (bpm)</p> <p>3. VCO₂ (ml/min)</p> <p>4. VO₂max (ml/kg x min et en L/min)</p> <p>5. RER</p> <p>6. Temps (minutes)</p> <p>7. [lactate] (mmol/L)</p> <p>8. Temps (minutes)</p>	<p><u>À considérer :</u></p> <p>Critères d'arrêt utilisés : RER > à 1.15, [lactate] > à 10 mmol/L, FC > à 90% de l'âge prédit maximum, un plateau du VO₂ définie par une absence de changement de 150ml/min du VO₂ comparativement à la</p>

					période d'effort précédente
Sedlock et al., 2004 ⁽¹²³⁾	Effort maximal progressif en rampe (type : Monark modèle 818E)	1. 3 minutes d'échauffement sans résistance 2. ↑ de 15W/ minute Cadence : 60 rpm	1. Arrêt volontaire 2. Jusqu'à l'épuisement	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. V _E (L/min) 4. VO ₂ max (ml/kg x min) 5. [lactate] (mmol/L) 6. RER 7. Temps (minutes)	<u>Conclusion :</u> Les hommes blessés médullaire (traumatiques) actifs ont une dépense énergétique similaire et un temps de récupération comparable aux sujets sains avec caractéristiques similaires suite à un exercice sur un ergomètre des MS's
Smith et al., 2004 ⁽¹⁰⁵⁾	Comparaison entre 2 types d'efforts maximaux progressifs : par palier vs en rampe (type : Angio ergometer)	1. 2 minutes d'échauffement à 50W 2. Test 1 : ↑ à 60W, puis ↑ de 1W/6 secondes Test 2 : ↑ de 20 W/ 2 minutes 3. Période de récupération au repos de 7 minutes 4. Période de récupération active de 3 minutes à 30W Cadence : 80 rpm	1. Si cadence < 75 rpm 2. Arrêt volontaire 3. Jusqu'à l'épuisement	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. VCO ₂ (ml/min) 4. VO ₂ max (ml/kg x min et en L/min) 5. RER 6. Temps (minutes) 7. Dépense énergétique (kj)	<u>Conclusions :</u> 1. Les protocoles de rampe et de palier ne doivent pas être utilisés de façon interchangeable quoique les deux soient bons pour mesurer la capacité maximale d'un individu 2. Mise en garde de bien comprendre la façon dont les auteurs comparent différents protocoles (selon l'augmentation de l'intensité)
Hopman et al., 2004 ⁽¹²⁴⁾	Effort maximal progressif en rampe (type : Angio Lode ergometer)	1. 15 minutes au repos (sujet inspire différentes [FiO ₂]) 2. ↑ de 3, 5 ou 10W/minute selon la condition du patient 3. Période de récupération active de 5 minutes à faible puissance Cadence : 65 rpm	1. Si cadence < 50 rpm	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. V _E max (L/min) 4. VO ₂ max (L/min) 5. VCO ₂ (ml/min) 6. RER 7. SatO ₂ 8. ECG 9. Temps (minutes)	<u>Conclusions :</u> 1. Le VO ₂ augmente avec l'augmentation de la FiO ₂ chez les sujets sains, les paraplégiques, et, dans une moindre mesure, chez les tétraplégiques 2. Le VO ₂ de pointe obtenu sur un ergomètre des MS's est limité par l'apport d'O ₂ plutôt que par la masse musculaire qui est plus petite ou par des limitations biochimiques
El-Sayed et al., 2004 ⁽¹⁰⁹⁾	Effort maximal progressif par paliers	1. 5 minutes d'échauffement à 30W 2. ↑ à 30W/2	1. Arrêt volontaire 2. Symptômes	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. V _E max (L/min) 4. VO ₂ max (L/min)	<u>À considérer :</u> Atteinte du VO ₂ max : - plateau du VO ₂ avec augmentation de

	(type : non identifié)	minutes Cadence : 60-65 rpm	de fatigue ou d'étourdissement	5. VCO ₂ (ml/min) 6. Temps (minutes)	l'intensité - Incapacité du sujet à maintenir la cadence - RER ≥ 1,1
Day et al., 2003 ⁽¹⁰²⁾	Effort maximal progressif en rampe (type : Excalibur Sport)	1. 3-4 minutes d'échauffement à 20W 2. ↑ de 15, 20 ou 25 W/minute (dépendamment du sujet) 3. Période de récupération active de 6 minutes à 20W Cadence : 60 rpm	1. Si cadence < 60 rpm 2. Jusqu'à l'épuisement	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. VCO ₂ (ml/min) 4. VO ₂ max (ml/kg x min et en L/min) 5. RER 6. Temps (minutes) 7. ECG	<u>Conclusion :</u> Le VO ₂ atteint lors d'une épreuve d'effort maximale progressive est une donnée valide pour la mesure du VO ₂ max.
Jacobs et al., 2001 ⁽¹²⁵⁾	Effort progressif maximal par paliers, discontinu (type : UBE, Cybex)	1. Puissance initiale à 400 kpm 2. Périodes d'effort de 3 minutes entrecoupé de périodes de repos (temps non indiqué) 3. ↑ de 100 kpm/période d'effort Cadence : 60 rpm	1. Si incapable de maintenir la puissance 2. Critères d'arrêt de l'ACSM	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. VO ₂ max (L/min) 4. Temps (minutes)	Pas de conclusion ou de recommandation en lien avec l'épreuve d'effort
Duran et al., 2001 ⁽¹⁰⁸⁾	Effort maximal progressif par paliers (type : non identifié)	1. 3 d'échauffement sans résistance 2. ↑ de 12,5W/2 minutes 3. Période de récupération active de 6 minutes à 20W Cadence : non identifiée	1. Arrêt volontaire 2. Symptômes cardiopulmonaire anormales 3. Altération à l'ECG 4. Atteinte du maximum préalable prédit (j'imagine la FC max)	1. Puissance (watts) 2. FC max (bpm) 3. VO ₂ max (L/min) 4. ECG 5. Temps (minutes)	Pas de conclusion ou de recommandation en lien avec l'épreuve d'effort

7.3 Description des protocoles

7.3.1 Protocole de Bruce sur tapis roulant

Par

Anne-Marie Dufort

**Test d'effort maximal et progressif par paliers sur tapis roulant :
Protocole de Bruce**

1. Préparation du matériel :

- a. Imprimer une feuille de collecte de données pour chaque sujet qui fera l'épreuve d'effort (jointe ici-bas)
- b. Imprimer un formulaire Q-APP
- c. Chronomètre
- d. Sphygmomanomètre manuel et stéthoscope ou sphygmomanomètre électrique
- e. Cardio-fréquencemètre (ceinture thoracique)
- f. Appareil Cosmed-K4b² (important de se familiariser avec celui-ci avant de l'utiliser, calibration nécessaire avant chaque période d'utilisation)
- g. Échelle de perception de la difficulté à l'effort : échelle de Borg modifiée
- h. Prévoir l'utilisation du tapis roulant

2. Accueil du patient.

3. Préparation du patient :

- a. S'assurer que le patient a pris connaissance des recommandations générales pour les épreuves d'effort et qu'il les a respectées (voir introduction pp. 12-13).
- b. Remplir le formulaire Q-APP et déterminer le niveau de stratification du risque du sujet à cette épreuve d'effort maximal
- c. Prise de données générales :

Variables	Nom du sujet :
Sexe	
Âge	
Poids (kg)	
Taille (cm)	
IMC (kg/cm²)	
Volume et sorte d'entraînement actuel	
FC_{max} prédite	
FC_{repos}	
Conditions médicales particulières	
Médication actuelle	
Tabagisme	
Statut professionnel	
Autre données pertinentes	

d. Installation du cardio-fréquencemètre et du Cosmed K4b²

e. Repos pré-test : 5 minutes assis, début de l'enregistrement des données avec le Cosmed K4b²

4. Explications au patient du but et du déroulement du test : test conçu pour évaluer les patients dont nous suspectons une maladie coronarienne. Utilisé aujourd'hui comme épreuve d'effort maximal pour évaluer la condition cardiorespiratoire d'un individu, c'est-à-dire estimer son VO_{2max} , que ce soit un(e) athlète ou une personne sédentaire. Le sujet doit marcher (ou courir) le plus longtemps possible, jusqu'à ce qu'il soit fatigué et incapable de continuer, ou jusqu'à ce qu'il atteigne les critères d'arrêt suivants : FC_{max} prédite ($220 - \text{âge}$), FC qui n'augmente plus malgré une augmentation de l'intensité ou FC correspondant au VO_2 qui n'augmente plus avec l'augmentation de l'intensité. La vitesse et la pente sont augmentées chaque 3 minutes. Aucun support sur les barres du tapis roulant n'est permis durant le test sauf si nécessaire, 1 ou 2 doigts afin de maintenir le corps au centre du tapis.

5. Monitoring au repos, dans la position du test (debout), des paramètres suivants :

- fréquence cardiaque (FC)
- saturation d'oxygène ($SatO_2$)
- tension artérielle (TA)

6. Lorsque le patient est prêt, l'évaluateur programme le tapis roulant à une vitesse de 1.7 milles/h (2.74 km/h) et à une pente de 10% (5.7°) (niveau 1).

7. Déroulement du test :

a. L'évaluateur donne la commande « GO », part le chronomètre et le sujet débute le test.

b. L'évaluateur ajuste la vitesse et la pente aux temps indiqués pour chaque palier :

Niveau	Temps (min)	Vitesse (km/h)	Vitesse (milles/h)	Grade (%)	Degré
1	0	2.74	1.7	10	5.7
2	3	4.02	2.5	12	6.8
3	6	5.47	3.4	14	8.0
4	9	6.76	4.2	16	9.1
5	12	8.05	5.0	18	10.2
6	15	8.85	5.5	20	11.3
7	18	9.65	6.0	22	12.4
8	21	10.46	6.5	24	13.5

9	24	11.26	7.0	26	14.6
10	27	12.07	7.5	28	15.6

c. L'évaluateur arrête le chronomètre lorsque le sujet est incapable de continuer, qu'il a atteint sa FC_{max} prédite ou tout autre critère d'arrêt (voir point 4 - Explications au patient du but et du déroulement du test) et note le temps obtenu.

8. Période de retour au calme : durée de 6 minutes où le sujet marche avec une vitesse confortable et avec une pente à 0% (0°).

9. Monitoring :

a. Per-test : FC monitorée de façon continue par télémétrie (Cosmed K4b²) et les paramètres suivants sont monitorés à la fin de chaque palier de 3 minutes :

- perception de la difficulté de l'effort (sur l'échelle de Borg modifiée)
- SatO₂
- TA

b. Post-test (à l'arrêt du test) et durant la période de retour au calme : les mêmes paramètres sont monitorés à toutes les 2 minutes.

c. Pré, per et post-test : autres paramètres cardiorespiratoires, tels le VO₂, sont mesurés de façon continue par télémétrie avec le Cosmed K4b².

10. Calcul du VO₂max estimé à partir des équations de régression suivantes :

- Pour les hommes : $VO_2 \text{ max} = 14.8 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3)$
- Pour les femmes : $VO_2 \text{ max} = 4.38 \times T - 3.9$

Où T = temps total du test d'effort exprimé en fractions de minute (ex. : T = 12 minutes 30 secondes = 12.50 minutes).

Nom du sujet :

Date de la visite :

Test

Retest

Évaluateur (s) :

TABLEAU 1 : Test d'effort maximal par paliers sur tapis roulant

Paramètres monitorés durant le test :

Palier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps (min)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30
Vitesse (km/h)	2.74	4.02	5.47	6.76	8.05	8.85	9.65	10.46	11.26	12.07
Grade (%)	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
RPE modifiée										
FC (bpm)										
SatO ₂ (%)										
TA (mmHg)										

RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; FC : fréquence cardiaque; SatO₂ : saturation d'oxygène; TA : tension artérielle

TABLEAU 2 : Valeurs physiologiques avant et après le test, ainsi que lors de la période de récupération:

	Avant le test	Fin du test	Récupération (minutes)		
			2	4	6
TA					
FC					
RPE					
SatO ₂					
Temps		10min10sec = 10.166 min			

RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; FC : fréquence cardiaque; SatO₂ : saturation d'oxygène; TA : tension artérielle

Calcul du VO₂max estimé :

$$VO_2 \text{ max} = 14.8 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3) (\text{♂}) \text{ ou } (4.38 \times T) - 3.9 (\text{♀})$$

=

=

où T = temps total du test d'effort exprimé en fractions de minute (ex. : T = 12 minutes 30 secondes = 12.50 minutes)

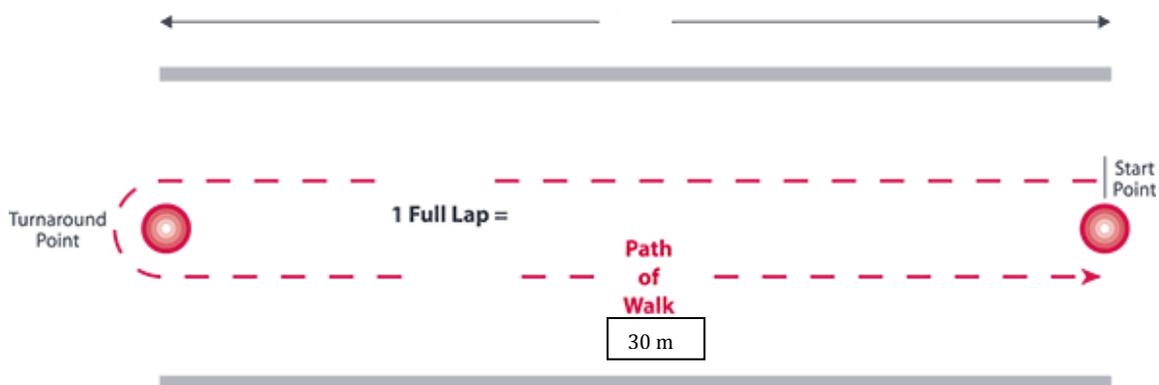
7.3.2 Description du protocole
Test de marche de six minutes
Par
Martin Gagnon

Test de marche de six minutes

1. Préparation du matériel

- a. Imprimer une feuille de collecte de données pour chaque sujet testé (jointe ici-bas)
- b. Imprimer un formulaire Q-APP
- c. 2 cônes avec drapeau
- d. Corridor de 30m de long, avec mesures à chaque 3m. Centre Deux cônes sont placés aux extrémités du parcours à équidistance de chaque côté.
- e. 1 chronomètre
- f. 1 compteur de tours, au besoin
- g. Sphygmomanomètre manuel ou électrique
- h. Cardiofréquencemètre
- i. Appareil Cosmed-K4b2 (se familiariser avec celui-ci avant utilisation)
- j. Échelle de perception de l'effort « Borg-modifiée »

2. Installation du circuit



3. Accueil du patient

4. Préparation du patient

- a. S'assurer des points suivants
 - i. Port de vêtements et chaussures confortables
 - ii. Prise de repas léger avant le test
 - iii. Prise de médication habituelle
 - iv. Aucun exercice intense dans les deux heures avant le test

- b. Remplir Formulaire Q-APP
- c. Prise de données générales

<u>Variables</u>	Nom du sujet :
Sexe	
Âge	
Poids (Kg)	
Taille (cm)	
IMC (Kg/cm ²)	
Volume et sorte d'entraînement actuel	
FC max prédite	
FC repos	
Conditions médicales particulières	
Médication actuelle	
Fumeur	
Statut professionnel	
Autre données pertinentes	

- d. Installation du cardiofréquencemètre et le Cosmed K4b2
- e. Repos pré-test : 10 minutes

5. Explication des objectifs du test

6. Mesures pré-test

- a. Prendre fréquence cardiaque, tension artérielle (debout), saturation O₂ et l'échelle de la perception de l'effort.

7. Explication du déroulement test

« Vous devez effectuer la plus grande distance possible en 6 minutes. Le départ se fait à un des deux cônes. Vous aller marcher des allers-retours dans ce corridor en prenant soin de faire des virages brusques à l'autre cône. Maintenant, je vais vous montrer. »

« 6 minutes c'est un long. Vous devrez donc gérer votre temps. Vous aller probablement devenir fatigué. Vous pouvez ralentir, arrêter, et même prendre un repos contre le mur si nécessaire et repartir dès que vous le désirez. Par contre, le chronomètre continu. Je vous rappelle que vous devez faire la plus grande distance possible. Vous ne devez ni courir, ni jogger. »

« Je vous informerai du temps restant à chaque minute et vous demanderez d'identifier votre perception de l'effort aux 2 minutes. Lorsqu'il restera 15 secondes, je vous demanderai de vous préparer à arrêter. À mon signal, vous devrez arrêter à l'endroit où vous êtes et je viendrai vous rejoindre. Avez-vous des questions avant de débiter? »

8. Encouragements per-test

- a. Encouragements standardisés. Utiliser un ton neutre pour les consignes verbales.
 - i. Après une minute : « Ca va bien, il reste 5 minutes »
 - ii. Après deux minutes : « Continuez, ça fait 2 minutes »
 - iii. Alternner de cette façon à chaque minute
 - iv. À 15 secondes de la fin : « Dans un moment, je vous direz STOP. À ce moment, arrêtez-vous là où vous êtes et je vous rejoindrai.
- b. Aucun autre encouragement lors du test.

9. Mesures per-test

- a. À chaque deux minute, prendre l'échelle de la perception de l'effort. Le Cosmed K4b2 vous donnera, tant qu'à lui, automatiquement les mesures de Vo2 et de fréquence cardiaque, en autre.

10. Mesurer post-test

- a. Prendre les données suivantes directement après le test, ainsi qu'à 2,4 et 6 minutes après afin d'évaluer le retour à la normale des réponses cardio-respiratoires; Fréquence cardiaque, tension artérielle (debout), la saturation O2 et l'échelle de perception de l'effort. Arrêter le Cosmed K4b2 seulement à la fin de la récupération.
- b. Pendant la période de récupération debout, demander au patient de faire des transferts de poids sur ses jambes. Éviter l'immobilité des membres inférieurs évitera les chutes de tension post-exercice.

11. Mettre au dossier les données collectées avec interprétation des résultats.

12. Féliciter le patient

13. Consignes au thérapeute

- a. Aucun réchauffement requis avant le test.
- b. Pendant le test;
 - i. Ne pas suivre le patient, demeurer au centre du parcours.
 - ii. Assurer vous que l'arrêt au centre soit complet avant de dire « Go ».
- c. Éviter de faire parler le patient lors de la récupération. Cela pourrait modifier les données réelles.

Nom du sujet :

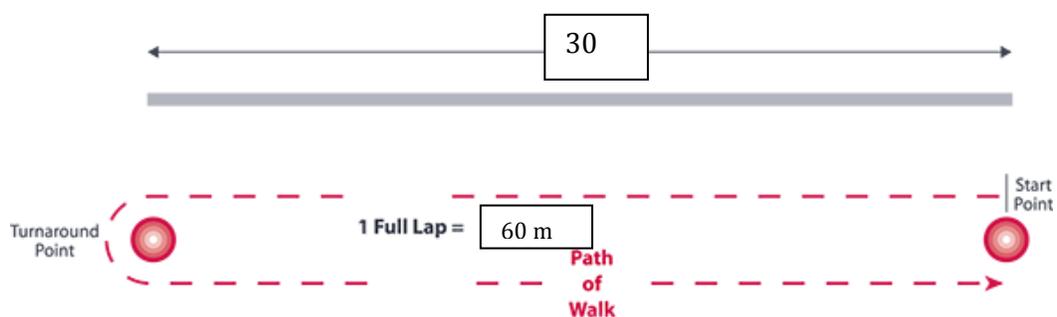
Date de la visite :

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s):

TABLEAU 3 : Test de marche de six minutes (6MWT)



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque							
Pression artériel							
Saturation O ₂							
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée							

Nombre de tour au compteur:

Grandeur du sujet:

Poids:

Distance parcourue:

Rayon de la roue:

Période de repos :

**7.3.3 Description du protocole du test de propulsion
Manuelle de six minutes en fauteuil roulant
Par
Martin Gagnon**

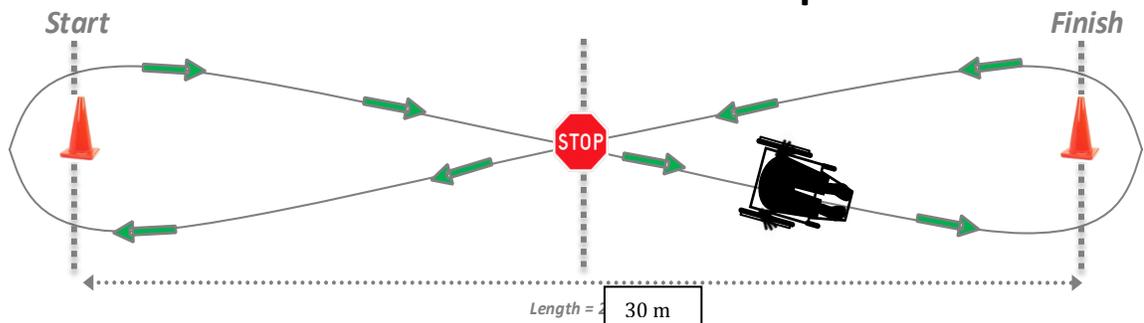
Test de propulsion manuelle de six minutes en fauteuil roulant

1. Préparation du matériel

- a. Imprimer une feuille de collecte de données pour chaque sujet testé (jointe ici-bas)
- b. Imprimer un formulaire Q-APP
- c. Obtenir une chaise roulante avec roue instrumentées si désiré
- d. 6 cônes avec drapeau
- e. Corridor de 30m de long, avec mesures à chaque 3m. Centre délimité par un carré de 1m² délimité par 4 cônes. Deux cônes sont placés aux extrémités du parcours à équidistance de chaque côté.
- f. 1 chronomètre
- g. 1 compteur de tours, au besoin
- h. Sphygmomanomètre manuel ou électrique
- i. Cardiofréquencemètre
- j. Appareil Cosmed-K4b2 (se familiariser avec celui-ci avant utilisation)
- k. Échelle de perception de l'effort « Borg-modifiée »

2. Installation du circuit

FIGURE '8' Manual Wheelchair Propulsion Test



3. Accueil du patient

4. Préparation du patient

- a. S'assurer des points suivants
 - i. Port de vêtements et chaussures confortables
 - ii. Prise de repas léger avant le test
 - iii. Prise de médication habituelle

- iv. Aucun exercice intense dans les deux heures avant le test
- b. Remplir Formulaire Q-APP
- c. Prise de données générales

<u>Variables</u>	Nom du sujet :
Sexe	
Âge	
Poids (Kg)	
Taille (cm)	
IMC (Kg/cm²)	
Volume et sorte d'entraînement actuel	
FC max prédite	
FC repos	
Conditions médicales particulières	
Médication actuelle	
Fumeur	
Statut professionnel	
Autre données pertinentes	

- d. Installation du cardiofréquencemètre et le Cosmed K4b2
- e. Repos pré-test : 10 minutes

5. Explication des objectifs du test

6. Mesures pré-test

- a. Prendre fréquence cardiaque, tension artérielle (assis), saturation O₂ et l'échelle de la perception de l'effort.

7. Explication du déroulement test

« Vous devez, à l'aide de votre fauteuil roulant, effectuer la plus grande distance possible en 6 minutes. Vous pouvez voir la figure en 8 délimitée par les cônes. » (Nous pouvons démontrer l'image de la feuille de donnée au patient pour une meilleure compréhension)

« Le départ se fait au centre dans la zone délimitée par les 4 cônes. À chaque fois que vous passerez entre ceux-ci, vous devez faire un arrêt complet et attendre mon signal avant de repartir. Donc vous partez, contourner le premier cône par la droite, revenez, faite votre arrêt. Vous allez ensuite à l'autre cône à l'opposé et devez le contourner par la gauche avant de revenir au centre.»

« Vous pouvez prendre une pause en tout temps, si vous êtes trop fatigué. Par contre, le chronomètre continu. Vous reprenez au moment où vous le désirez. Je vous rappelle que vous devez faire la plus grande distance possible »

« Je vous informerai du temps restant à chaque minute et vous demanderez d'identifier votre perception de l'effort aux 2 minutes. Lorsqu'il restera 15 secondes, je vous demanderai de vous préparer à arrêter. À mon signal, vous devrez arrêter à l'endroit où vous êtes et je viendrai vous rejoindre. Avez-vous des questions avant de débiter? »

8. Encouragements per-test

- a. Encouragements standardisés. Utiliser un ton neutre pour les consignes verbales.
 - i. Après une minute : « Ca va bien, il reste 5 minutes »
 - ii. Après deux minutes : « Continuez, ça fait 2 minutes »
 - iii. Alternier de cette façon à chaque minute
 - iv. À 15 secondes de la fin : « Dans un moment, je vous dirai STOP. À ce moment, arrêtez-vous là où vous êtes et je vous rejoindrai.
- b. Aucun autre encouragement lors du test.

9. Mesures per-test

- a. À chaque deux minutes, prendre l'échelle de la perception de l'effort. Le Cosmed K4b2 vous donnera, tant qu'à lui, automatiquement les mesures de Vo₂ et de fréquence cardiaque, en outre.

10. Mesure post-test

- a. Prendre les données suivantes directement après le test, ainsi qu'à 2,4 et 6 minutes après afin d'évaluer le retour à la normale des réponses cardio-respiratoires; Fréquence cardiaque, tension artérielle (assise), la saturation O₂ et l'échelle de perception de l'effort. Arrêter le Cosmed K4b2 seulement à la fin de la récupération.

11. Mettre au dossier les données collectées avec interprétation des résultats

12. Féliciter le patient

13. Consignes au thérapeute

- a. Pendant le test;
 - i. Ne pas suivre le patient, demeurer au centre du parcours.
 - ii. Assurer vous que l'arrêt au centre soit complet avant de dire « Go ».
- b. Éviter de faire parler le patient lors de la récupération. Cela pourrait modifier les données réelles.

Nom du sujet :

Date de la visite :

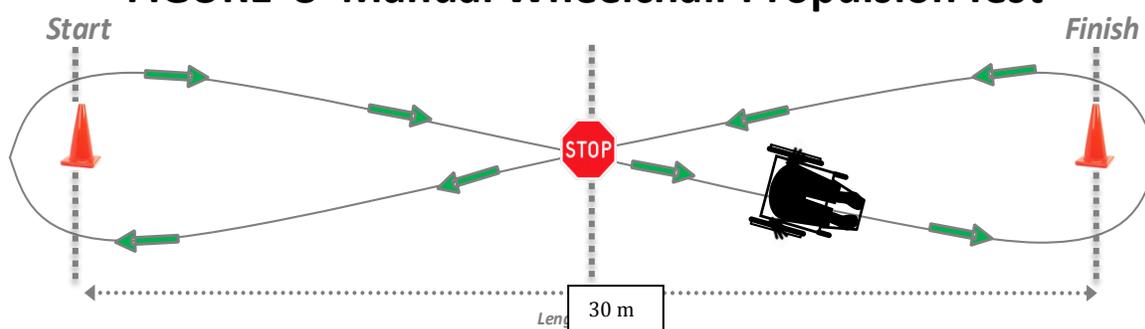
Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) :

TABLEAU 4 : Test de propulsion manuelle de six minutes (6WPT)

FIGURE '8' Manual Wheelchair Propulsion Test



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque							
Pression artériel							
Saturation O ₂							
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée							

Nombre de tour au compteur:

Grandeur du sujet:

Poids:

Distance parcourue:

Rayon de la roue:

Période de repos :

7.3.4 Description du protocole du test maximal en Fauteuil roulant sur tapis roulant

Par

Véronique Alix

Protocole d'effort maximal progressif en fauteuil roulant sur tapis roulant

1. Préparation du matériel

- a. Imprimer une feuille de collecte de données pour chaque sujet testé. (jointe ci-bas)
- b. Imprimer un formulaire Q-APP
- c. Tapis roulant permettant l'accès à un fauteuil roulant. Dans ce cas-ci, le tapis roulant Bertec
- d. Ouverture de l'ordinateur dirigeant le tapis roulant
- e. Fauteuil roulant habituel du patient
- f. 1 chronomètre
- g. Sphygmomanomètre manuel ou électrique
- h. Cardiofréquence-mètre
- i. Appareil Cosmed-K4b2 (se familiariser avec celui-ci avant utilisation)
- j. Échelle de perception de la difficulté de l'effort « Borg-modifiée »

2. Installation du matériel :

- a. Ouverture de l'ordinateur
- b. Fixer le fauteuil roulant sur le tapis roulant

3. Accueil du patient

4. Préparation du patient

- a. S'assurer des points suivants
 - i. Port de vêtements et chaussures confortables
 - ii. Prise de repas léger avant le test
 - iii. Prise de médication habituelle
 - iv. Aucun exercice intense dans les deux heures avant le test
- b. Remplir Formulaire Q-APP
- c. Prise de données générales

<u>Variables</u>	Nom du sujet :
Sexe	
Âge	
Poids (Kg)	
Taille (cm)	

IMC (Kg/cm²)	
Volume et sorte d'entraînement actuel	
FC max prédite	
FC repos	
Conditions médicales particulières	
Médication actuelle	
Fumeur	
Statut professionnel	
Autre données pertinentes	

d. Installation du cardiofréquencemètre et le Cosmed K4b2

5. Explication des objectifs du test

6. Mesures pré-test

a. Prendre fréquence cardiaque, tension artérielle (assis), saturation O₂ et l'échelle de la perception de l'effort.

7. Explication du déroulement test

« Vous allez effectuer un test maximal en fauteuil roulant. On veut se rendre au plus haut palier possible. Vous devez donc donner votre maximum. Le test se terminera lorsque vous serez épuisé, par les critères d'arrêts ou quand vous ne pourrez plus suivre la vitesse du tapis roulant. »

« Vous avez 5 minutes pour vous familiariser avec votre fauteuil roulant sur le tapis roulant à la vitesse de votre choix. On débutera le test à une vitesse de 4km/h. À toutes les minutes, nous augmenterons la vitesse de 1km/h. À chaque minute, je vous demanderai si vous êtes prêt à passer au prochain palier. Si vous refusez, j'arrêterai le tapis roulant et cessera le test. »

« Je vous rappelle que c'est un test maximal, ce qui implique, que vous devez vous rendre au palier le plus haut jusqu'à l'épuisement. Avez-vous des questions avant de débiter? »

8. Faire un essai sur le tapis roulant d'abord pour environ 5 minutes.

9. Encouragements per-test

- a. Encouragements : Motiver le patient par des encouragements verbaux tout au long du test.

10. Mesures per-test

- a. À chaque minute, prendre l'échelle de la perception de l'effort. Le Cosmed K4b2 vous donnera, quant à lui, automatiquement les mesures de Vo2 et de fréquence cardiaque, en outre.

11. Mesures post-test

- a. Prendre les données suivantes directement après le test, ainsi qu'à 2,4 et 6 minutes après afin d'évaluer le retour à la normale des réponses cardio-respiratoires; Fréquence cardiaque, tension artérielle (assis), la saturation O2 et l'échelle de perception de l'effort. Arrêter le Cosmed K4b2 seulement à la fin de la récupération.

12. Mettre au dossier les données collectées avec interprétation des résultats.

13. Féliciter le patient

14. Consignes au thérapeute

- a. Éviter de faire parler le patient lors de la récupération. Cela pourrait modifier les données réelles.

Nom du sujet :

Date de la visite :

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) :

TABLEAU 5 : Test de propulsion en fauteuil roulant sur tapis roulant

	Avant le test	Pendant le test											Après le test			
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	10 min	11 min	12 min	2min	4min	6min
	Km/h	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15			
Fréquence cardiaque (bpm)																
Pression artérielle (mmHg)																
Saturation O ₂																
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée																

Palier atteint :

Remarque :

**7.3.5 Description du protocole du test maximal sur
Ergomètre des membres supérieurs**

Par

Cindy Fleurent

Test d'effort maximal sur ergomètre des membres supérieurs

1. Préparation du matériel

- a. Imprimer une feuille de collecte de données pour chaque sujet qui fera l'épreuve d'effort (jointe ici-bas)
- b. Imprimer un formulaire Q-APP
- c. Un chronomètre
- d. Sphygmomanomètre manuel et stéthoscope ou sphygmomanomètre électrique
- e. Cardio-fréquence-mètre (ceinture thoracique)
- f. Appareil Cosmed-K4b2 (important de se familiariser avec celui-ci avant de l'utiliser, calibration nécessaire avant chaque période d'utilisation)
- g. Échelle de perception de la difficulté à l'effort « Borg-modifiée »
- h. Prévoir l'utilisation de l'ergomètre (Biodex) et d'un fauteuil roulant (FR) manuel

2. Déterminer les paramètres du test d'effort

- a. Échauffement de 2 minutes à 10 watts, aucune résistance si l'appareil le permet
- b. Début du test à 50 watts (déterminer selon le sexe et le niveau d'activité), à une cadence de 60 à 80 rpm
- c. Augmentation de 10 watts par minute
- d. Critères d'arrêts
 - i. Cadence < 35 rpm
 - ii. Arrêt volontaire du sujet, atteinte de l'épuisement
 - iii. Si présences de signes et symptômes à l'effort qui sont des critères d'arrêt tels que décrit par ACSM's: dépression du segment ST ≥ 1 mm ou troubles de la conduction sérieux (si électrocardiogramme en place), symptômes d'atteintes du SNC (i.e. ataxie), absence d'augmentation de la FC avec l'augmentation de l'exercice, début d'angine, dyspnée > 5 sur l'échelle de la dyspnée, etc.

3. Programmation de l'appareil (Biodex) selon les paramètres du protocole

- a. Choisir le programme « puissance constante »
- b. Dans l'option display, sélectionner « Set » pour programmer la puissance recherchée
- c. Dans l'option display, sélectionner « Target » pour programmer la cadence minimale désirée pour le test (par exemple : 60 rpm)

4. Accueillir le patient

5. Préparation du patient

a. S'assurer des points suivants

- i. Port de vêtements de sport
- ii. Aucune prise de repas dans les deux heures précédant le test
- iii. Une légère collation est permise
- iv. S'assurer que la médication habituelle a été prise
- v. Aucun exercice intense avant le test

b. Prise de données générales

<u>Variables</u>	Nom du sujet :
Sexe	
Âge	
Poids (Kg)	
Taille (cm)	
IMC (Kg/cm²)	
Volume et sorte d'entraînement actuel	
FC max prédite	
FC repos	
Conditions médicales particulières	
Médication actuelle	
Fumeur	
Statut professionnel	
Autre données pertinentes	

c. Remplir le formulaire Q-APP et déterminer le niveau de stratification du risque du sujet à cette épreuve d'effort maximale

d. Installation du sujet avec le fauteuil roulant pour le test sur l'ergomètre

- i. Ajuster la distance du FR à l'ergomètre. Fixer les freins du FR
- ii. L'axe de rotation du pédalier doit être aligné avec l'articulation gléno-humérale du sujet
- iii. Lors du pédalage, s'assurer que le coude du sujet soit en légère flexion (5-10 degrés) au niveau du coude lors du mouvement d'extension
- iv. S'assurer que le sujet a une bonne posture
- v. Demander au sujet d'effectuer quelques révolutions afin de s'assurer qu'il est confortable

- e. Installation du cardio-fréquencemètre et du Cosmed K4b².
- f. Repos pré-test : 5 minutes assis, début de l'enregistrement des données avec le Cosmed K4b²

6. Explication du déroulement du test

« Vous allez maintenant effectuer un test d'effort maximal sur l'ergomètre des membres supérieurs. L'objectif est de mesurer votre capacité aérobique maximale, le VO₂max. Tout d'abord, vous aller faire un échauffement de deux minutes à 10 watts afin de vous familiariser avec l'appareil. Les watts représentant la puissance, mais aussi l'intensité.

Ensuite, le test débutera à une intensité de 50 watts. Cette dernière va augmenter de 10 watts à chaque minute. Tout au long du test, vous devez maintenir une cadence qui se situe entre 60 et 80 rpm. Le test prend fin lorsque votre cadence est en dessous de 35 rpm ou que vous n'êtes plus capable de continuer.

À chaque minute du test, je vais vérifier votre perception de la difficulté à l'effort avec l'échelle de Borg-modifiée (explication de l'échelle). La saturation en oxygène de sang sera également prise aux 2 minutes. Avez-vous des questions»

7. Encouragements

Les encouragements peuvent être faits de façon propre à chaque évaluateur. En fait, il n'existe pas de standardisation pour ce type d'épreuve. Il faut donc s'assurer d'obtenir la réponse maximale du sujet.

8. Monitoring

- a. Pré-test : la fréquence cardiaque (FC), la tension artérielle assis (TA), la saturation en oxygène et l'échelle de la perception de la difficulté à l'effort (RPE)
- b. Per-test : À chaque minute, prendre RPE. Le Cosmed K4b² vous donnera automatiquement les mesures de VO₂ et de la FC par télémétrie. La saturation doit être mesurée à chaque 2 minute
- c. Post-test : les données suivantes devront être prises directement à la fin du test, ainsi qu'à la 2^e, 4^e et 6^e minutes suivante afin d'évaluer la normalisation des réponses cardio-respiratoires : la FC, la TA (assis), la saturation et RPE. Arrêter le Cosmed K4b² seulement à la fin de la récupération

*Important de surveiller les signes et symptômes en tout temps

9. Consignes au thérapeute

- a. Réchauffement de 1 à 2 minutes sans résistance suggéré avant le test afin de familiariser le patient avec la cadence demandée
- b. Pendant le test
 - vi. Encourager le patient, surtout dans les derniers paliers d'intensité élevée
 - vii. Faire parler le patient uniquement lors de la prise de donnée obligatoire (i.e. RPE). Éviter de le faire parler pour d'autres raisons afin de ne pas modifier les données enregistrées par le Cosmed K4b²
- c. Éviter de faire parler le patient lors de la récupération (pour les mêmes raisons)



Nom du sujet :

Date de la visite :

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) :

TABLEAU 6 : Test d'effort maximal progressif sur ergomètre des MS's

	Temps (minutes)	Palier*	Puissance (Watts)	TA (mmHg)	FC (bpm)	RPE	Satura- tion
Avant le test							
Échauffement	0 - 1		10				
	1 - 2		10				
Pendant le test	2 - 3	1	50				
	3 - 4	2	60				
	4 - 5	3	70				
	5 - 6	4	80				
	6 - 7	5	90				
	7 - 8	6	100				
	8 - 9	7	110				
	9 - 10	8	120				
	10 - 11	9	130				
	11 - 12	10	140				
	12 - 13	11	150				
13 - 14	12	175					
Fin du test							
Récupération	2						
	4						
	6						

TA : tension artérielle, FC : fréquence cardiaque, RPE : échelle de perception de la difficulté à l'effort

*Chaque palier est d'une durée d'une minute

Cadence : 60 à 80 rpm

7.4 Collecte de données

7.4.1 Épreuve d'effort progressif sur tapis roulant : Protocole de Bruce – sujets sains marcheurs

Nom du sujet : Sujet F

Date de la visite : 8 novembre 2011, 16h26

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) : Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Martin Gagnon

TABLEAU 7 : Paramètres cardiorespiratoires monitorés durant le test

Palier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps (min)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30
Vitesse (km/h)	2.74	4.02	5.47	6.76	8.05	8.85	9.65	10.46	11.26	12.07
Grade (%)	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
RPE modifiée	0	0.5	3	Palier non complété						
FC (bpm)	125	148	181							
SatO ₂ (%)	100	100	98							
TA (mmHg)	121/74									

RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; FC : fréquence cardiaque; SatO₂ : saturation d'oxygène; TA : tension artérielle

TABLEAU 8 : Valeurs physiologiques avant et après le test et lors de la période de récupération

	Avant le test	Fin du test	Récupération (minutes)		
			2	4	6
TA	112/76		154/68	153/95	122/72
FC	86	189	142	130	127
RPE		4	0.5	0	0
SatO ₂	100	100	100	100	100
Temps		10min10sec = 10.166 min			

TA : tension artérielle; FC : fréquence cardiaque; RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; SatO₂ : saturation d'oxygène

Calcul du VO₂max estimé :

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 \text{ max} &= (4.38 \times T) - 3.9 \\ &= (4.38 \times 10.17) - 3.9 \\ &= 40.64 \text{ ml/kg.min} \end{aligned}$$

où T = temps total du test d'effort exprimé en fractions de minute (ex. : T = 12 minutes 30 secondes = 12.50 minutes)

Nom du sujet : Sujet F

Date de la visite : 15 novembre 2011, 9h49

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) : Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Martin Gagnon

TABLEAU 9 : Paramètres cardiorespiratoires monitorés durant le test

Palier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps (min)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30
Vitesse (km/h)	2.74	4.02	5.47	6.76	8.05	8.85	9.65	10.46	11.26	12.07
Grade (%)	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
RPE modifiée	0	1	3	Palier non complété						
FC (bpm)	113	155								
Sat O ₂ (%)	99	100								
TA (mmHg)										

RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; FC : fréquence cardiaque; SatO₂ : saturation d'oxygène; TA : tension artérielle

TABLEAU 10 : Valeurs physiologiques avant et après le test et lors de la période de récupération

	Avant le test	Fin du test	Récupération (minutes)		
			2	4	6
TA	115/73	162/79	121/81	139/86	129/75
FC	81	184	130	113	111
RPE		3	0	0	0
Sat O ₂	100	100	100	100	100
Temps		9min46sec = 9.766 min			

TA : tension artérielle; FC : fréquence cardiaque; RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; SatO₂ : saturation d'oxygène

Calcul du VO₂max estimé :

$$\begin{aligned}\text{VO}_2 \text{ max} &= (4.38 \times T) - 3.9 \\ &= (4.38 \times 9.77) - 3.9 \\ &= 38.89 \text{ ml/kg.min}\end{aligned}$$

où T = temps total du test d'effort exprimé en fractions de minute (ex. : T = 12 minutes 30 secondes = 12.50 minutes)

Nom du sujet : Sujet H

Date de la visite : 8 novembre 2011, 17h01

Test 1 ☒

Retest 1 ☐

Évaluateur (s) : Véronique Alix, Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent

TABLEAU 11 : Paramètres cardiorespiratoires monitorés durant le test

Palier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps (min)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30
Vitesse (km/h)	2.74	4.02	5.47	6.76	8.05	8.85	9.65	10.46	11.26	12.07
Grade (%)	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
RPE modifiée	0	0.5	0.5	3	Palier non complet					
FC (bpm)	87	110	135	153						
Sat O ₂ (%)	100	100	98	90						
TA (mmHg)										

RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; FC : fréquence cardiaque; SatO₂ : saturation d'oxygène; TA : tension artérielle

TABLEAU 12 : Valeurs physiologiques avant et après le test et lors de la période de récupération

	Avant le test	Fin du test	Récupération (minutes)		
			2	4	6
TA	121/64	160/108	153/81		127/64
FC	79	184	126	105	105
RPE		6	0	0	0
Sat O ₂	99	90	99	100	99
Temps		14min10sec = 14.166 min			

TA : tension artérielle; FC : fréquence cardiaque; RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; SatO₂ : saturation d'oxygène

Calcul du VO₂max estimé :

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 \text{ max} &= 14.8 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3) \\ &= 14.8 - (1.379 \times 14.17) + (0.451 \times 14.17^2) - (0.012 \times 14.17^3) \\ &= 51.67 \text{ ml/kg.min} \end{aligned}$$

où T = temps total du test d'effort exprimé en fractions de minute (ex. : T = 12 minutes 30 secondes = 12.50 minutes)

Nom du sujet : Sujet H

Date de la visite : 15 novembre 2011, 10h23

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) : Véronique Alix, Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent

TABLEAU 13 : Paramètres cardiorespiratoires monitorés durant le test

Palier	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temps (min)	0-3	3-6	6-9	9-12	12-15	15-18	18-21	21-24	24-27	27-30
Vitesse (km/h)	2.74	4.02	5.47	6.76	8.05	8.85	9.65	10.46	11.26	12.07
Grade (°)	5.7	6.8	8.0	9.1	10.2	11.3	12.4	13.5	14.6	15.6
RPE modifiée	0	0.5	2	4	Palier non complet					
FC (bpm)	90	128	136							
Sat O ₂ (%)	100	95	99							
TA (mmHg)										

RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; FC : fréquence cardiaque; SatO₂ : saturation d'oxygène; TA : tension artérielle

TABLEAU 14 : Valeurs physiologiques avant et après le test et lors de la période de récupération

	Avant le test	Fin du test	Récupération (minutes)		
			2	4	6
TA	120/67	193/139	151/73	150/71	125/82
FC	70	180	110	102	95
RPE		5	0	0	0
Sat O ₂	100	100	100	100	100
Temps		14min05sec = 14.083 min			

TA : tension artérielle; FC : fréquence cardiaque; RPE : échelle de perception de la difficulté de l'effort; SatO₂ : saturation d'oxygène

Calcul du VO₂max estimé :

$$\begin{aligned} \text{VO}_2 \text{ max} &= 14.8 - (1.379 \times T) + (0.451 \times T^2) - (0.012 \times T^3) \\ &= 14.8 - (1.379 \times 14.08) + (0.451 \times 14.08^2) - (0.012 \times 14.08^3) \\ &= 51.30 \text{ ml/kg.min} \end{aligned}$$

où T = temps total du test d'effort exprimé en fractions de minute (ex. : T = 12 minutes 30 secondes = 12.50 minutes)

7.4.2 Épreuve d'effort sous maximal et soutenu : Test de marche de 6 minutes - sujets marcheurs

Nom du sujet : Sujet H

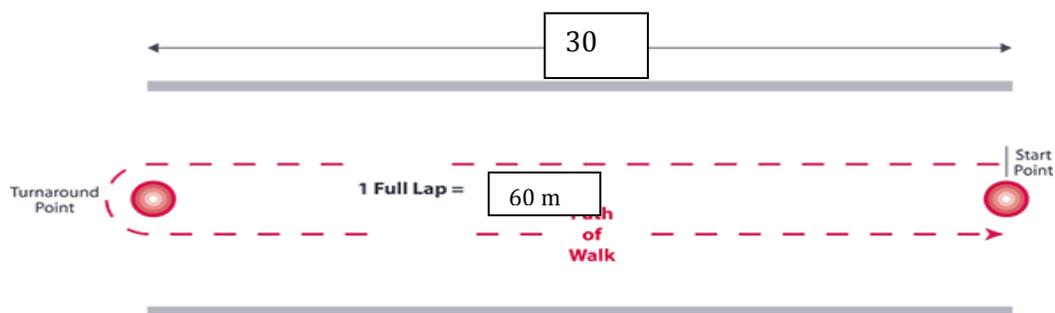
Date de la visite : 23 septembre 2011, 12h16

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s): Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Véronique Alix

TABLEAU 15 : Test de marche de 6 minutes (6MWT)



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque	70			113	86	76	73
Pression artériel	105/63			159/89	134/77	136/80	129/74
Saturation O ₂	100			100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	1	2	1	0	0	0

Nombre de tour au compteur: 13 tours +54m Grandeur du sujet: 183cm Poids: 78.0 Kg

Distance parcourue: 834m

Période de repos : Aucun

Nom du sujet : Sujet H

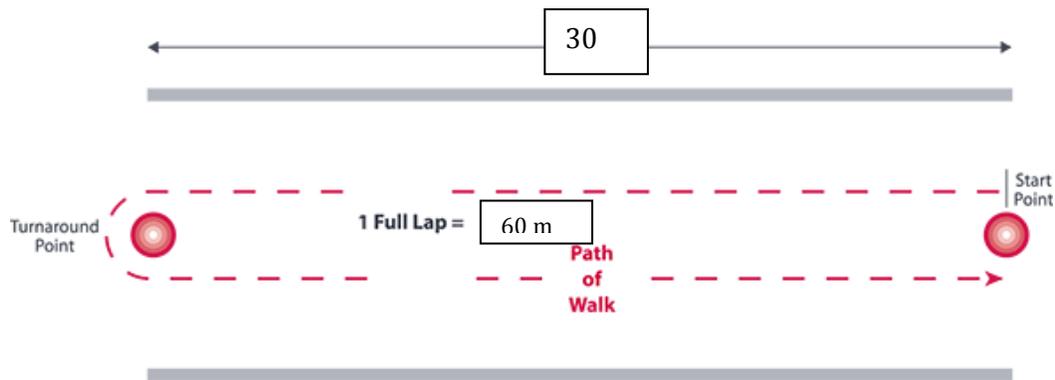
Date de la visite : 29 septembre 2011, 19h18

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s): Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Véronique Alix

TABLEAU 16 Test de marche de 6 minutes (6MWT)



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque	77			150	84	76	81
Pression artériel	125/65			145/123	137/83	126/79	110/66
Saturation O ₂	99			100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0,5	1	1	0	0	0

Nombre de tour au compteur: 28 tours + 27,5m

Grandeur du sujet: 183cm

Poids: 78.0Kg

Distance parcourue: 867,5m

Période de repos : aucun

Nom du sujet : Sujet F

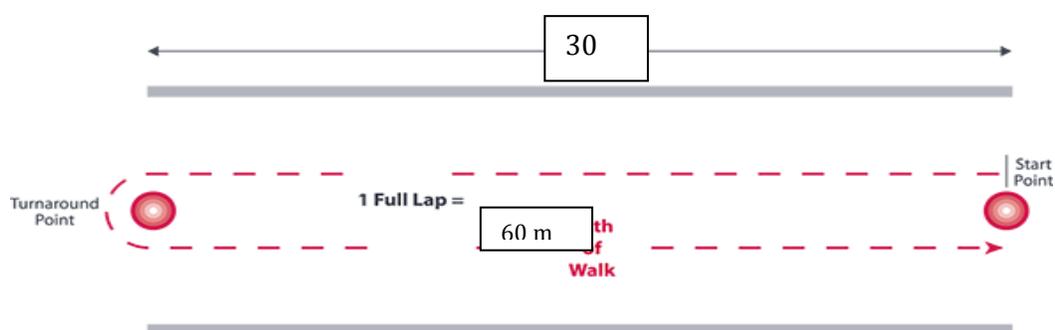
Date de la visite : 23 septembre 2011, 11h12

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s): Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Martin Gagnon

TABLEAU 17 : Test de marche de 6 minutes (6MWT)



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque	87			144	118	113	97
Pression artériel	103/66			136/78	111/78	122/83	117/72
Saturation O ₂	100			100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	1	2	1	1	0	0

Nombre de tour au compteur: 22 tours + 17m

Grandeur du sujet: 173cm

Poids: 66.2Kg

Distance parcourue: 677,5 m

Période de repos : Aucun

Nom du sujet : Sujet F

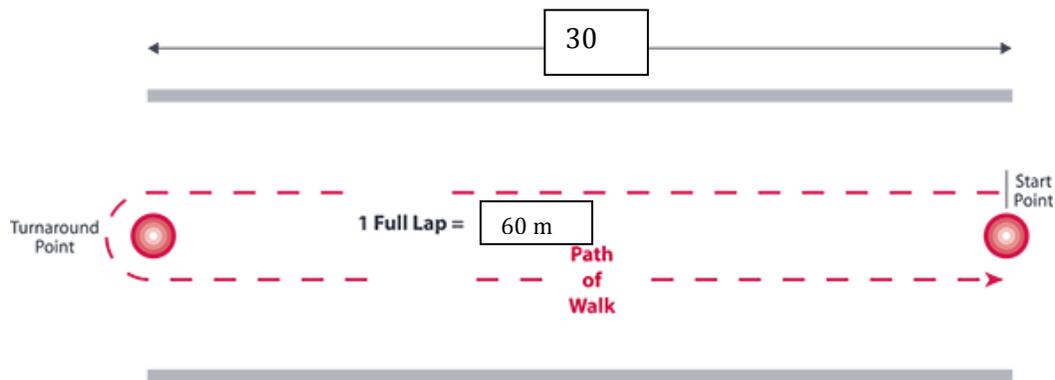
Date de la visite : 29 septembre 2011, 18h16

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s): Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Martin Gagnon

TABLEAU 18 Test de marche de 6 minutes (6MWT)



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque	85			118	97	97	93
Pression artériel	102/61			138/77	116/68	112/75	112/65
Saturation O ₂	100			100	100	100	99
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	0,5	1	0	0	0

Nombre de tour au compteur: 22 tours + 19,5m Grandeur du sujet: 1,73m

Poids: 66,2Kg

Distance parcourue: 679,5m

Période de repos : Aucun

7.4.3 Épreuve d'effort sous maximal et soutenu : Test de propulsion manuelle de 6 minutes en fauteuil roulant - sujet sains

Nom du sujet : Sujet H

Date de la visite : 23 septembre 2011, 13h39

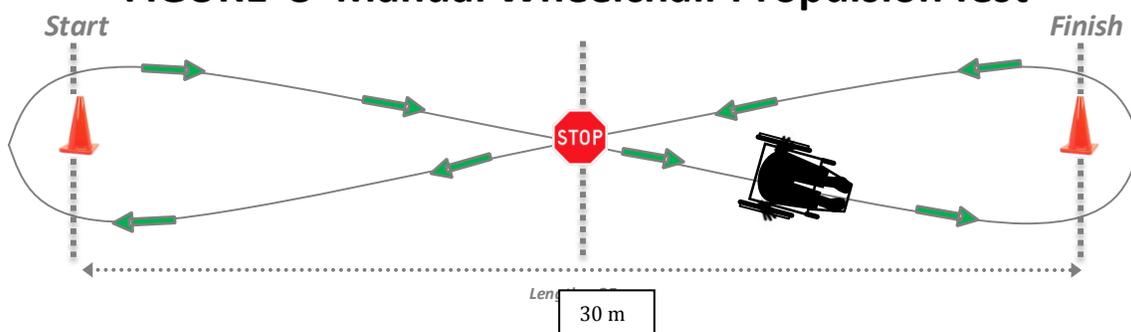
Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) : Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Véronique Alix

TABLEAU 19 : Test de propulsion manuelle de 6 minutes (6WPT)

FIGURE '8' Manual Wheelchair Propulsion Test



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque	66				81	77	76
Pression artériel	112/56			141/76	122/62	119/64	111/58
Saturation O ₂	100			98	97	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0.5	1	3	0	0	0

Nombre de tour au compteur: 21 tours + 9m

Grandeur du sujet: 183cm

Poids: 78.0 Kg

Distance parcourue: 639 m

Rayon de la roue:

Période de repos : Aucun

Nom du sujet : Sujet H

Date de la visite : 29 septembre 2011, 18h58

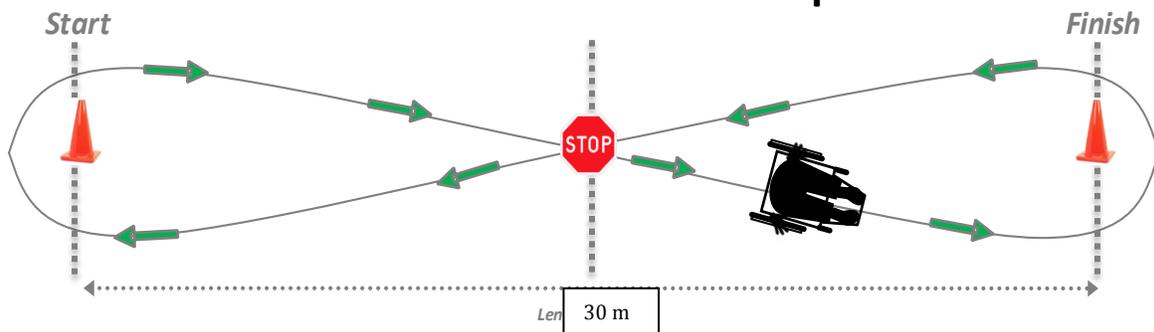
Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) : Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Véronique Alix

TABLEAU 20 : Test de propulsion manuelle de 6 minutes (6WPT)

FIGURE '8' Manual Wheelchair Propulsion Test



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque	55			100	71	73	71
Pression artériel	130/67			N/E	111/76	116/58	102/63
Saturation O ₂	99			99	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	1	1	2	0	0	0

Nombre de tour au compteur: 22 tours + 19m

Grandeur du sujet: 183cm

Poids: 78.0 Kg

Distance parcourue: 679m

Rayon de la roue:

Période de repos : Aucun

Nom du sujet : Sujet F

Date de la visite : 23 septembre 2011, 10h04

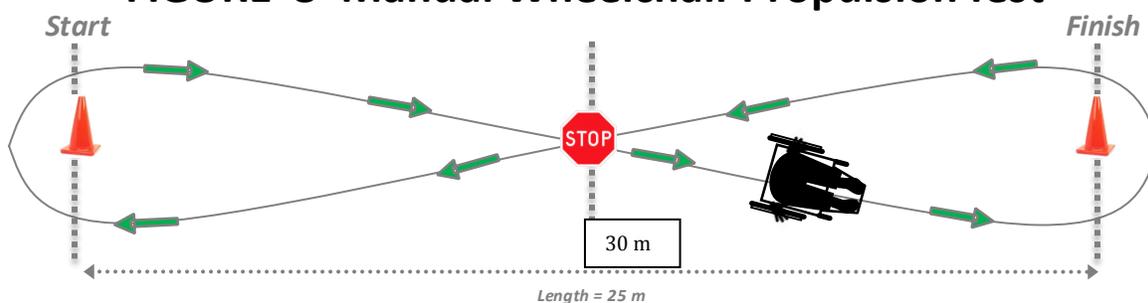
Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) : Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Martin Gagnon

TABLEAU 21 : Test de propulsion manuelle de 6 minutes (6WPT)

FIGURE '8' Manual Wheelchair Propulsion Test



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque	84			145	111	100	96
Pression artériel	116/63			130/84	111/74	112/70	104/68
Saturation O ₂	100			100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	2	4	4	2	0	0

Nombre de tour au compteur: 18 tours + 14m

Grandeur du sujet: 173 cm

Poids: 66.2 Kg

Distance parcourue: 554m

Rayon de la roue:

Période de repos : Aucun

Nom du sujet : Sujet F

Date de la visite : 27 septembre 2011, 13h57

Test 1

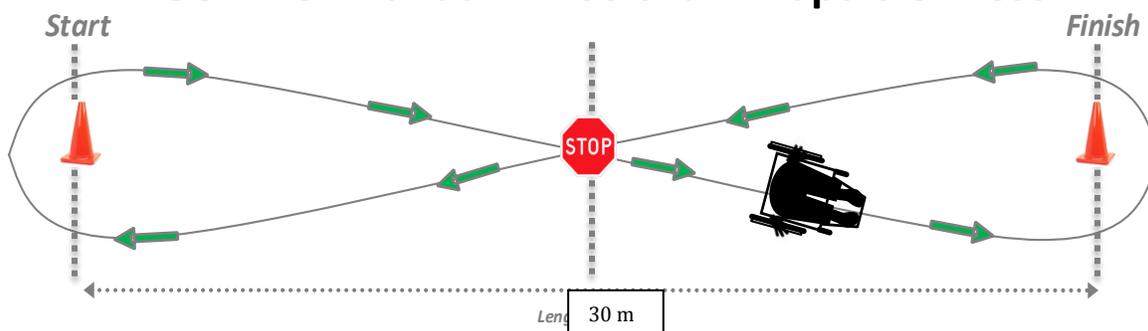
Retest 1

Évaluateur (s) : Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent, Martin Gagnon

**** Fatigue généralisée musculaire ++ ce jour verbalisé par la pte ****

TABLEAU 22 : Test de propulsion manuelle de 6 minutes (6WPT)

FIGURE '8' Manual Wheelchair Propulsion Test



	Avant le test	Pendant le test			Après le test		
		2 min	4min	6min	2 min	4min	6min
Fréquence cardiaque	70			115	90	82	78
Pression artériel	101/56			118/66	117/55	106/57	99/56
Saturation O ₂	100			100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0,5	2	3	0	0	0

Nombre de tour au compteur: 16 tours + 9m

Grandeur du sujet: 173cm

Poids: 66.2 Kg

Distance parcourue: 489m

Rayon de la roue:

Période de repos : Aucun

7.4.4 Épreuve d'effort progressif sur tapis roulant – sujets sains utilisant un fauteuil roulant manuel

Nom du sujet : sujet H

Date de la visite : 8 novembre 2011

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) : Véronique Alix, Anne-Marie Dufort, Cindy Fleurent

TABLEAU 23 : Test de propulsion en fauteuil roulant sur tapis roulant

	Avant le test	Pendant le test										Après le test		
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	9 min	Fin	2min	4min	6min
	Km/h	4	5	6	7	8	9	10	11	12		0	0	0
Fréquence cardiaque (bpm)	54										115	90	75	72
Pression artérielle	128/61										X	129/64	122/62	117/54
Saturation O ₂	100%										99%	99%	100%	100%
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	0	0	0,5	0,5	0,5	0,5	2	2	1	0	0	0

Palier atteint : 8^e palier atteint. Fin du test à 9min 21sec.

Commentaire : TA à la fin du test : défautuosité de l'appareil suntech 437, prend trop de temps à lire le résultat. Patron de propulsion en arc

Nom du sujet : sujet H

Date de la visite : 18 novembre 2011

Test 1 ☐

Retest 1 ⊗

Évaluateur (s) : Véronique Alix, Anne-Marie-Dufort, Cindy Fleurent

TABLEAU 24 : Test de propulsion en fauteuil roulant sur tapis roulant

	Avant le test	Pendant le test							Après le test			
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	Fin	2min	4min	6min
	Km/h	4	5	6	7	8	9	10				
Fréquence cardiaque (bpm)	64								130	71	64	64
Pression artérielle	111/63								113/60	105/53	104/60	117/55
Saturation O ₂	100%								99%	100%	100%	99%
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	0	0	0

Palier atteint : 6^e palier atteint. Fin du test à 6min 50sec.

Commentaire : Parton de propulsion en arc

Nom du sujet : sujet F

Date de la visite : 8 nov 2011

Test 1

Retest 1

Évaluateur (s) : Anne-Marie Dufort, Martin Gagnon, Cindy Fleurent

TABLEAU 25 : Test de propulsion en fauteuil roulant sur tapis roulant

	Avant le test	Pendant le test							Après le test			
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	Fin	2min	4min	6min
	Km/h	4	5	6	7	8	9	10				
Fréquence cardiaque (bpm)	87								156	116	103	98
Pression artérielle	110/69								152/79	156/70	117/68	127/64
Saturation O ₂	100								100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	0,5	0,5	0,5	1	3	4	5	0	0	0

Palier atteint : 7^e palier atteint. Fin du test à 7min 36sec.

Commentaire : Aucun

Nom du sujet : sujet F

Date de la visite : 15 novembre 2011

Test 1 ☐

Retest 1 ⊗

Évaluateur (s) : Anne-Marie Dufort, Martin Gagnon, Cindy Fleurent

TABLEAU 26 : Test de propulsion en fauteuil roulant sur tapis roulant

	Avant le test	Pendant le test								Après le test			
		1 min	2 min	3 min	4 min	5 min	6 min	7 min	8 min	Fin	2min	4min	6min
	Km/h	4	5	6	7	8	9	10	11				
Fréquence cardiaque (bpm)	71									164	103	95	91
Pression artérielle	105/58									142/75	126/73	119/65	115/68
Saturation O ₂	100%									100	100	100	100
Échelle de perception de l'effort (RPE) Borg modifiée	0	0	0	0	0,5	0,5	2	3	3	3	0	0	0

Palier atteint : 8^e palier atteint. Fin du test à 8min 22sec.

Commentaire : Aucun

7.4.5 Épreuve d'effort progressif sur ergomètre des MS's

Nom du sujet : **Sujet F**

Date du test : 27 septembre 2011

Test 1

Re-test

Évaluateurs : Anne-Marie Dufort, Martin Gagnon et Cindy Fleurent

TABLEAU 27 : Première épreuve d'effort maximal sur ergomètre des MS's

	Temps (minutes)	Palier*	Puissance (Watts)	TA (mmHg)	FC (bpm)	RPE	Satura- tion
Avant le test				108/52	67		100
Échauffement	0 – 1		10		98		
	1 – 2		10		107		
Pendant le test	2 – 3	1	50		133		
	3 – 4	2	60		127	1	
	4 – 5	3	70		142		
	5 – 6	4	80		145	4	
	6 – 7	5	90		158		
	7 – 8	6	100		157	4	
	8 – 9	7	110	Palier non terminé, arrêt après 14 secondes**			
Fin du test				127/70	155	4	100
Récupération	2			106/57	103	0	100
	4			107/64	99	0	100
	6			103/53	93	0	100

TA : tension artérielle, FC : fréquence cardiaque, RPE : échelle de perception de la difficulté à l'effort

*Chaque palier est d'une durée d'une minute

** Épreuve limitée par fatigue des MS's

Cadence : 60 à 80 rpm

Nom du sujet : **Sujet F**

Date du test : 29 septembre

Test 1

Re-test

Évaluateurs : Anne-Marie Dufort, Martin Gagnon et Cindy Fleurent

TABLEAU 28 : Deuxième épreuve d'effort maximal sur ergomètre des MS's

	Temps (minutes)	Palier*	Puissance (Watts)	TA (mmHg)	FC (bpm)	RPE	Satura- tion
Avant le test				105/58	80		100
Échauffement	0 - 1		10		97		
	1 - 2		10		95		
Pendant le test	2 - 3	1	50		114		
	3 - 4	2	60		130	1	
	4 - 5	3	70		144		
	5 - 6	4	80		148	3	
	6 - 7	5	90		155		
	7 - 8	6**	100		160	3	
Fin du test				150/80	160	3	100
Récupération	2			118/69	103	0,5	100
	4			115/58	95	0	100
	6			116/56	92	0	100

TA : tension artérielle, FC : fréquence cardiaque, RPE : échelle de perception de la difficulté à l'effort

*Chaque palier est d'une durée d'une minute

** Palier terminé, épreuve limitée par la fatigue des MS's

Cadence : 60 à 80 rpm

Nom du sujet : **Sujet H**

Date du test : 27 septembre

Test 1

Re-test

Évaluateurs : Anne-Marie Dufort, Véronique Alix et Cindy Fleurent

TABLEAU 29 : Première épreuve d'effort maximal sur ergomètre des MS's

Temps (minutes)		Palier*	Puissance (Watts)	TA (mmHg)	FC (bpm)	RPE	Satura- tion
Avant le test				114/68	55		99
Échauffement	0 - 1		10		77		
	1 - 2		10		82		
Pendant le test	2 - 3	1	50		85		
	3 - 4	2	60		94	0,5	
	4 - 5	3	70		103		
	5 - 6	4	80		103	3	
	6 - 7	5	90		118		
	7 - 8	6	100		128	5	
	8 - 9	7	110		136		
	9 - 10	8	120		143	6	
	10 - 11	9**	130		148		
Fin du test				115/75	145	6	99
Récupération	2			125/58	71	2	100
	4			111/56	66	0	100
	6			120/70	75	0	100

TA : tension artérielle, FC : fréquence cardiaque, RPE : échelle de perception de la difficulté à l'effort

*Chaque palier est d'une durée d'une minute

** Palier terminé, épreuve d'effort limité par la fatigue aux MS's

Cadence : 60 à 80 rpm

Nom du sujet: **Sujet H**

Date du test: 15 novembre 2011

Test 1

Retest

Évaluateurs: Cindy Fleurent, Véronique Alix, Anne-Marie Dufort

TABLEAU 30 : Deuxième épreuve d'effort maximal sur ergomètre des MS's

	Temps (minutes)	Palier*	Puissance (Watts)	TA (mmHg)	FC (bpm)	RPE	Saturation
Avant le test				121/66	58		100
Échauffement	0 - 1		10		85		
	1 - 2		10		79		
Pendant le test	2 - 3	1	50		88		
	3 - 4	2	60		92	0	
	4 - 5	3	70		103		
	5 - 6	4	80		104	0	
	6 - 7	5	90		116		
	7 - 8	6	100		126	0	
	8 - 9	7	110		134		
	9 - 10	8	120		136	1	
	10 - 11	9	130		155		
	11 - 12	10	140		164	3	
	12 - 13	11	150		170		
	13 - 14	12	175	Palier non complété**			
Fin du test				***	171	4	99
Récupération	2			150/69	104	0	100
	4			117/53	86	0	100
	6			110/56	83	0	100

TA : tension artérielle, FC : fréquence cardiaque, RPE : échelle de perception de la difficulté à l'effort

*Chaque palier est d'une durée d'une minute

** Palier non-complété limité par fatigue des MS's

*** Douleur au membre supérieur limitant la prise de donnée

Cadence : 60 à 80 rpm