

Université de Sherbrooke

**Validité de critère du textile intelligent Hexoskin pour évaluer la fonction
cardiorespiratoire chez une population en santé**

Par
Imane Mouzoune
Programme recherche en sciences de la santé

Mémoire présenté à la Faculté de médecine et des sciences de la santé
en vue de l'obtention du grade de maître ès sciences
(M. Sc.) recherche en sciences de la santé

Sherbrooke, Québec, Canada
Février 2018

Membres du jury d'évaluation
Nathaly Gaudreault, Ph. D., directrice, École de réadaptation
Neila Mézghani, Ph.D., codirectrice, département sciences et technologie, Téléuq
Michel Tousignant, Ph.D., évaluateur interne, École de réadaptation
David Labbé, Ph. D., évaluateur externe, génie logiciel et système d'information,
École de technologie supérieure, Montréal

© Imane Mouzoune, 2018

Résumé

Validité de critère du textile intelligent Hexoskin pour évaluer la fonction cardiorespiratoire chez une population en santé

Par

Imane Mouzoune Programme de maîtrise en recherche en sciences de la santé

Mémoire présenté à la Faculté de médecine et des sciences de la santé en vue de l'obtention du diplôme de maître ès sciences (M.Sc.) en sciences de la santé, Faculté de médecine et des sciences de la santé, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, Canada, J1H 5N4

L'Hexoskin est un vêtement intelligent, qui permet le télé-monitorage des signaux physiologiques en temps réel. Parmi ces signaux, on retrouve la fonction cardiorespiratoire, qui est caractérisée par la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la ventilation. **Objectif** : Mesurer l'intensité de la relation entre les variables cardiorespiratoires mesurées avec l'Hexoskin et celles mesurées avec l'équipement standard de référence. **Méthodes** : Trente participants en santé (15 hommes et 15 femmes). La variable d'intérêt est la fonction cardiorespiratoire mesurée simultanément avec l'équipement de référence (système Cosmed) et avec l'Hexoskin. Les participants ont été soumis à une épreuve d'effort maximale selon le protocole BSU/Bruce RAMP permettant de mesurer la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la ventilation et d'estimer le volume maximal d'oxygène (VO_{2max}). Afin de documenter la validité de l'Hexoskin pendant des efforts effectués à des intensités sous maximales, les participants ont effectué un test d'effort sous-maximal à quatre intensités : 2 Mets, 3 Mets, 4Mets et 6 Mets. Des analyses statistiques descriptives (erreur RMS, graphique Bland-Altman) et des coefficients de corrélation de Pearson ont été réalisés. **Résultats** : Les résultats obtenus lors d'une épreuve d'effort maximale se présentent comme suit : la fréquence cardiaque ($r =$ allant de 0,97 à 0,99 ; RMS = $0,05 \pm 0,02$; $p < 0,05$), la fréquence respiratoire ($r =$ allant de 0,89 à 0,99 ; RMS = $0,07 \pm 0,03$; $p < 0,05$) et la ventilation ($r =$ allant de 0,16 à 0,37 ; RMS = $0,89 \pm 0,35$; $p < 0,05$). Les résultats des tests d'effort sous maximaux sont les suivants pour la fréquence cardiaque à 2 Mets ($r = 0,99$; RMS = $0,03 \pm 0,003$); 3 Mets ($r = 0,99$; $0,04 \pm 0,017$); 4 Mets ($r = 0,99$; $0,02 \pm 0,015$) et à 6 Mets ($r = 0,99$; $0,03 \pm 0,005$). Pour la fréquence respiratoire à 2 Mets ($r = 0,98$; RMS = $0,09 \pm 0,003$); à 3 Mets ($r = 0,99$; $0,06 \pm 0,003$); à 4 Mets ($r = 0,99$; $0,03 \pm 0,008$) et à 6 Mets ($r = 0,98$; $0,04 \pm 0,006$). Les résultats de la ventilation sont: à 2 Mets ($r = 0,55$; RMS = $0,38 \pm 0,02$) ; à 3 Mets ($r = 0,48$; $0,43 \pm 0,04$); à 4 Mets ($r = 0,45$; $0,52 \pm 0,03$) et à 6 Mets ($r = 0,43$; $0,62 \pm 0,03$). **Conclusion**: L'excellente corrélation ainsi que la faible erreur RMS obtenus pour la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire lors d'un effort maximal et aux efforts sous maximaux confirment la validité concourante de l'Hexoskin. L'absence de corrélation pour la ventilation peut-être expliquée par l'équation d'estimation de ce paramètre.

Mots clés : Activité physique ; test cardiorespiratoire ; télé-monitorage ; Hexoskin.

Summary

Validity of the Hexoskin Intelligent Textile Criterion for Evaluating Cardiorespiratory Function in a Healthy Population

By Imane Mouzoune

Thesis presented at the Faculty of Medicine and Health Sciences to obtain a Master of Science Degree (M.Sc.) in Clinical Sciences, Faculty of Medicine and Health Sciences, Université de Sherbrooke, Sherbrooke, Quebec, Canada, J1H 5N4

Hexoskin is an intelligent clothing, which allows the remote monitoring of physiological signals in real-time. These signals include cardiorespiratory function, which is characterized by various parameters such as heart rate, respiratory frequency and ventilation. Aim. The objective of this study is to measure the intensity of the relationship between cardiorespiratory variables measured with Hexoskin and those measured with standard reference equipment (contributing criterion validity study). Methods: Thirty voluntary and healthy participants (15 men and 15 women) were recruited to participate in this validation study. The variable of interest is the cardiorespiratory function measured simultaneously with the reference equipment (COSMED system) and the Hexoskin. Participants were subjected to a maximum stress test during treadmill walking according to the BSU/Bruce RAMP protocol, which measures heart rate, respiratory rate and ventilation and estimates the maximum oxygen volume (VO₂max). To document the validity of the Hexoskin during efforts at submaximum intensities, the participants then carried out three walking tests on the treadmill at four intensities: 2 Mets, 3 Mets, 4Mets and 6 Mets. Descriptive statistical analyses (RMS error, Bland-Altman graph) and Pearson correlation coefficients were performed. Results: Maximum stress test results show that the heart rate ($r = 0.97$ to 0.99 ; $RMS = 0.05 \pm 0.02$; $p < 0.05$), respiratory rate ($r = 0.89$ to 0.99 ; $RMS = 0.07 \pm 0.03$; $p < 0.05$) and ventilation ($r = 0.16$ to 0.37 ; $RMS = 0.89 \pm$). The results of the submaximum stress tests are as follows for heart rate at 2 Mets ($r = 0.99$; $RMS = 0.03 \pm 0.003$); 3 Mets ($r = 0.99$; 0.04 ± 0.017); 4 Mets ($r = 0.99$; 0.02 ± 0.015) and 6 Mets ($r = 0.99$; 0.03 ± 0.005). For respiratory frequency, the results are 2 Mets ($r = 0.98$; $RMS = 0.09 \pm 0.003$); 3 Mets ($r = 0.99$; 0.06 ± 0.003); 4 Mets ($r = 0.99$; 0.03 ± 0.008) and 6 Mets ($r = 0.98$; 0.04 ± 0.006). Finally, the results of the breakdown at the 4 physical activity intensities are as follows: 2 Mets ($r = 0.55$; $MSR = 0.38 \pm 0.02$); 3 Mets ($r = 0.48$; 0.43 ± 0.04); 4 Mets ($r = 0.45$; 0.52 ± 0.03) and 6 Mets ($r = 0.43$; 0.62 ± 0.03). Conclusion: the excellent correlation and low RMS error for heart rate, respiratory rate at maximum effort and submaximum stress confirm the concurrent validity of Hexoskin for these two parameters. The lack of correlation for the breakdown may be explained by the estimation equation for this parameter.

Keywords: Physical activity; cardiorespiratory testing, eHealth; tele-monitoring; Hexoskin; mobile technology.

Table des matières

Résumé.....	ii
Summary.....	iii
Table des matières.....	iv
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	viii
Liste des abréviations.....	x
Remerciements.....	xi
Chapitre 1 : Introduction.....	1
Chapitre 2 : Recension des écrits.....	3
2.1 Activité physique.....	3
2.1.1 Les muscles squelettiques.....	4
2.1.2 La fonction respiratoire.....	5
2.1.3 Le système cardiaque.....	7
2.1.4 Dosage de l'exercice physique.....	7
2.2 Instruments de mesure de la fonction cardiorespiratoire.....	9
2.3 Résumé de la recension des écrits.....	13
2.4 Hexoskin.....	15
Chapitre 3 : Pertinence, objectifs et hypothèse de la recherche.....	18
3.1. Objectifs de la recherche.....	18
Chapitre 4 : Matériel et Méthodes.....	19
4.1 Devis.....	19
4.2 Population.....	20
4.2.1 Critères d'inclusion et d'exclusion.....	20

4.2.2 La taille de l'échantillon :	21
4.2.3 Stratégie de recrutement	21
4.3 Considérations éthiques	22
4.4 Variable d'intérêt, paramètres et instruments de mesure	23
4.5 Déroulement de l'étude	26
4.6 Analyse statistique	29
4.6.1. Des analyses statistiques de corrélation :	29
4.6.2. Des analyses de la concordance entre deux instruments : graphique Bland-Altman	30
4.6.3. Erreur quadratique moyenne RMS	31
Chapitre 5 : Résultats	32
5.1. Caractéristiques des participants constituant l'échantillon	32
5.2 Résultats des variables cardiorespiratoires mesurées lors de l'épreuve d'effort maximal	33
5.2.1 Résultats des analyses de corrélation et de l'erreur RMS pour les variables cardiorespiratoires mesurées lors de l'épreuve d'effort maximal	33
5.2.2 Résultats des analyses de concordance – Graphique de Band-Altman - pour variables cardiorespiratoires mesurée lors de l'effort maximum	36
5.3 Résultats des variables cardiorespiratoires mesurées lors des épreuves d'efforts sous-maximaux	39
5.4 Résultats des analyses de concordance – Graphique de Bland-Altman pour variables cardiorespiratoires mesurées lors de l'épreuves d'efforts sous-maximaux	43
5.4.1 Résultats des analyses de concordance – Graphique Bland-Altman pour la fréquence cardiaque mesurée lors de d'épreuves d'effort sous-maximaux	43
5.4.2 Résultats des analyses de concordance – Graphique de Bland-Altman pour la fréquence respiratoire mesurée lors des épreuves d'effort sous-maximaux	46
Chapitre 6 : Discussion	49
6.1 Retour sur les résultats	49

6.2 Forces et limites	51
6.2.1 Forces de l'étude	51
6.2.2 Limitations	52
6.3 Retombées et pistes de recherche	52
6.3.1 Retombées anticipées et pistes de recherche	52
Conclusion	54
References.....	55
Annexes.....	58

Liste des tableaux

Tableau 1: Paramètres cardiorespiratoires, instruments et unités de mesure.....	24
Tableau 2: Spécificités techniques de l'Hexoskin	25
Tableau 3: Caractéristiques cliniques des participants	33
Tableau 4: Résultats des analyses de la corrélation de Pearson et RMS d'épreuve d'effort maximale (20s) n=28	36
Tableau 5: Résultats de la fréquence cardiaque lors d'épreuves d'effort sous maximaux (n=27). Les données des deux dernières minutes ont été considérées dans les analyses.....	40
Tableau 6: Résultats de la fréquence respiratoire (FR) d'épreuves d'efforts sous maximaux (n=27). Les données des deux dernières minutes ont été considérées dans les analyses.....	41
Tableau 7: Résultats de la ventilation lors d'épreuves d'efforts sous maximaux (n=27). Les données des deux dernières minutes ont été considérées dans les analyses	42

Liste des figures

Figure 1: Schéma du muscle avec les rapports en dioxygène et nutriments et le rejet en dioxyde de carbone	4
Figure 2: Variation linéaire de la consommation d'oxygène en fonction de l'intensité de l'exercice physique jusqu'à atteindre le VO ₂ max	6
Figure 4: Équipement standard de référence utilisé au laboratoire pour évaluer la fonction cardiorespiratoire. Prise durant la collecte des données dans le cadre de la validation du textile l'Hexoskin.....	10
Figure 5: Le textile intelligent Hexoskin développé par Carré technologie Montréal	15
Figure 6: Une participante qui effectue l'exercice du test épreuve d'effort maximale selon le protocole BSU/Bruce Ramp	27
Figure 7: Les étapes du déroulement de l'étude	28
Figure 8: Exemple de présentation graphique des résultats du participant 03 pour la fréquence respiratoire (a), la fréquence cardiaque (b) et la ventilation (c) lors de l'épreuve d'effort maximale (30s). L'axe des abscisses représente le temps. L'axe des ordonnées représente la fréquence cardiaque en BPR, la fréquence respiratoire en respirations par minute (RPM) et la ventilation (ml.min ⁻¹ .kg ¹). Chaque point représente la valeur moyenne des données enregistrées à toutes les 30 sec pendant la durée du test	34
Figure 9: Présentation des graphiques de Bland-Altman pour les résultats de l'ensemble des participants pour la fréquence cardiaque lors d'épreuve d'effort maximale (20s)	38
Figure 10 : Présentation des graphiques Bland-Altman pour les résultats de l'ensemble des participants pour la fréquence respiratoire lors d'épreuve d'effort maximale (20s)	38
Figure 11: Présentation graphique des résultats du participant 02 pour la fréquence cardiaque lors d'épreuves d'effort sous-maximales.....	40
Figure 12:Présentation graphique des résultats du participant 02 pour la fréquence respiratoire lors d'épreuves d'effort sous-maximales.	42

Figure 13: Présentation des graphiques de Bland-Altman pour les résultats de l'ensemble des participants pour la fréquence cardiaque à 2, 3, 4 et 6 Mets	44
Figure 14: Présentation des graphiques Bland-Altman pour les résultats de l'ensemble des participants pour la fréquence respiratoire à 2, 3, 4 et 6 Mets	47

Liste des abréviations

ACSM: American Collège of Sports Medicine

BPM : Battement par minute

CO₂ : Dioxyde de carbone

ECG: Électrocardiogramme

ÉECMR : Épreuve d'effort maximal cardiorespiratoire

FC : Fréquence cardiaque

FR : Fréquence respiratoire

IMC : Indice de masse corporel

MET : Équivalent métabolique

ML : Millilitre

O₂ : Dioxygène

OMS : Organisation mondiale de la santé

RMS : Erreur quadratique moyenne

Q-AAP+ : Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique pour tous

VO₂max : La consommation maximale d'oxygène

Remerciements

Je remercie tout d'abord mes directrices. Pre Nathaly Gaudreault pour m'avoir ouvert la porte de l'Université de Sherbrooke en acceptant de me diriger, pour les précieux commentaires, les nombreux conseils et les encouragements continus et motivants. Pre Neila Mezghani pour avoir accepté la co-direction, pour son support, pour avoir financé mon projet de recherche et pour m'avoir ouvert la porte de ses laboratoires au CRCHUM et à la Télugu. Merci à vous deux de m'avoir transmis votre confiance, expérience et savoir-faire tout au long de ce projet de recherche en faisant preuve d'un grand professionnalisme.

Je tiens à remercier Mr Youssef Ouakrim, assistant de recherche au CRCHUM pour sa généreuse collaboration et pour ces conseils.

Je remercie aussi Dr Pierre Boulay et son équipe pour leur collaboration et pour avoir permis l'accès aux lieux physiques et à l'équipement nécessaire au déroulement de l'étude. Un grand merci au fabricant d'Hexoskin, Carré technologie INC, pour tous les renseignements utiles qui nous ont fournis tout au long de la réalisation du projet.

Enfin, J'aimerais également souligner la grande ouverture et la générosité des participants, sans eux l'étude n'aurait pas été possible.

Chapitre 1 : Introduction

L'activité physique est la réalisation d'un exercice de vie quotidien qui peut être classée parmi les activités professionnelles, sportives et familiales. Elle met en œuvre des ressources physiques et psychique, ce qui modifie le fonctionnement physiologique de l'organisme humain (Bachur et al., 2007). Selon l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) l'activité physique est définie comme « *tout mouvement corporel produit par les muscles qui requièrent une dépense d'énergie – ce qui comprend les mouvements effectués en travaillant, en jouant, en accomplissant les tâches ménagères, en se déplaçant et pendant les activités de loisirs* » (Organisation mondiale de la santé OMS, Juin 2016)

Bien que les effets bénéfiques de l'activité physique sur la fonction cardiorespiratoire ne soient plus à prouver (effets bénéfiques sur la prévention de l'obésité et la diminution des risques des maladies cardiorespiratoires, entre autres), l'activité physique peut également avoir des conséquences néfastes chez certaines populations comme par exemple, les personnes souffrantes de maladies cardiovasculaires. Selon les recommandations de l'American Collège of Sports Médecine (ACSM) le dosage de l'activité physique est nécessaire pour standardiser et sécuriser les pratiques dans certains milieux comme lors du travail ou en clinique (Kasaniemi et al. 2001). Ceci appuie la pertinence de mesurer des paramètres de la fonction cardiorespiratoire qui permettent de faire un suivi en temps réel chez des personnes lors d'activités physiques exercées dans différents contextes.

Les signes physiologiques comme la fréquence cardiaque, les ondes du tracé de l'électrocardiogramme (ECG), la pression artérielle, la fréquence respiratoire, le volume courant et le débit respiratoire peuvent procurer des indices sur l'impact en temps réel d'une activité physiquement exigeante sur le système cardiorespiratoire (Pierre, 2013) (Amiard et Libert, 2015). Or ces signes sont, la plupart du temps, mesurés à l'aide des protocoles bien établis utilisant un équipement spécialisé que l'on retrouve dans un centre hospitalier ou un centre de recherche. Cet équipement est coûteux, sophistiqué et nécessite un personnel hautement qualifié pour l'utiliser. Les cliniciens pourraient donc

bénéficier d'un outil accessible et peu coûteux qui procure des mesures cardiorespiratoires pertinentes pendant que la personne exerce un effort physique intense dans différents contextes comme lors d'un sport ou d'un travail pénible.

Au cours des dernières années, des avancées dans le domaine des technologies de la santé ont donné lieu au développement et au perfectionnement des outils qui guident les cliniciens dans l'évaluation, le choix des interventions et le suivi de leurs clients. Un textile intelligent, l'Hexoskin, a récemment été conçu pour mesurer des signaux physiologiques comme l'ECG, la capacité respiratoire et les accélérations du corps en mouvement. Il s'agit d'un vêtement souple et léger qui peut être porté discrètement par l'utilisateur (Villar, Beltrame, et Hughson, 2015). Les signaux sont enregistrés pendant une activité physique afin d'avoir le profil cardiorespiratoire en temps réel. L'Hexoskin ouvre une nouvelle possibilité d'obtenir des mesures cardiorespiratoires d'une personne soumise à un effort physique. Bien que l'Hexoskin semble être un outil prometteur pour évaluer les capacités cardiorespiratoires, sa validation n'en est qu'à ses débuts et demeure à être vérifiée par des études rigoureuses.

Par conséquent, l'objectif principal de ce mémoire consiste à valider les mesures physiologiques obtenues par ce textile intelligent pour éventuellement l'utiliser comme outil de mesure de l'impact de l'effort physique sur le système cardiorespiratoire.

Ce mémoire est organisé en 6 chapitres. Suite à ce chapitre d'introduction, le chapitre 2 couvrira la recension des écrits qui portera sur les trois concepts majeurs de l'étude : 1) l'effort physique 2) les équipements de mesure et 3) l'Hexoskin. Le chapitre 3 présentera les objectifs, l'hypothèse et la pertinence de l'étude. Le chapitre 4 sera consacré à la description de la méthodologie. Quant au chapitre 5, il sera constitué des résultats des analyses statistiques. Finalement, la discussion fera l'objet du chapitre 6, alors que la conclusion achèvera ce mémoire.

Chapitre 2 : Recension des écrits

Trois concepts clés sont discutés dans cette recension des écrits. L'activité physique est le premier concept abordé dans cette section. Ensuite, une synthèse des connaissances sur les instruments servant à l'évaluation et au monitoring de la fonction cardiorespiratoire sera présentée. Cette synthèse se terminera en présentant la littérature spécifique à l'Hexoskin.

2.1 Activité physique

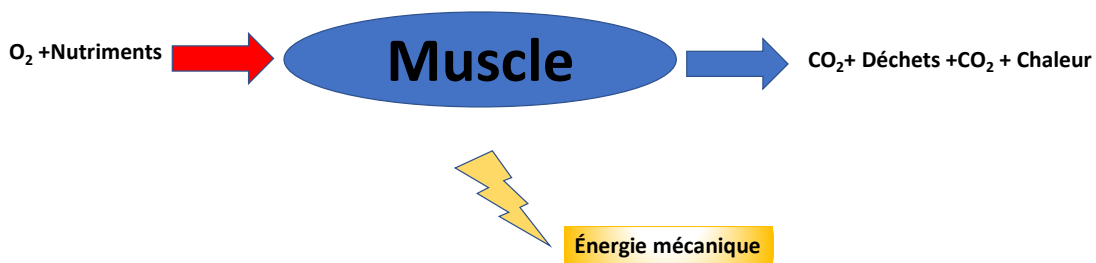
L'activité physique joue un rôle très important dans le maintien de la santé générale (physique et psychologique). En effet, la personne qui pratique une activité physique régulièrement a plus de chance d'éviter des maladies et maintenir sa santé psychologique (Russell et al,1995). L'activité physique est définie comme « *tout mouvement corporel produit par les muscles qui requièrent une dépense d'énergie – ce qui comprend les mouvements effectués en travaillant, en jouant, en accomplissant les tâches ménagères, en se déplaçant et pendant les activités de loisirs* » (Organisation mondiale de la Santé, Juin 2016). Cela inclut donc des mouvements couvrant un large spectre, allant de ceux réalisés à basse intensité à la maison, tel que le jardinage, aux exercices physiques intenses réalisés par les sportifs de haut niveau. La réponse du corps humain à l'activité physique se traduit par des changements physiologiques importants. Notamment, des modifications surviennent au niveau du système cardiorespiratoire, circulatoire et métabolique (Marieb, 2015). En effet, plusieurs changements physiologiques sont induits par l'activité physique. Ces changements sont liés à l'augmentation de l'intensité de l'effort physique. En général, plus l'intensité de l'effort augmente, plus que le ratio concentration du dioxygène/ concentration de dioxyde de carbone augmente. Ce déséquilibre gazeux stimule des récepteurs nerveux situés sur la paroi artérielle. Par conséquent, le système nerveux autonome accélère le rythme cardiaque, respiratoire ainsi que la pression artérielle pour irriguer les organes avec du sang riche en oxygène. La physiologie musculaire peut être envisagée sous l'aspect de la physiologie intégrée, ce qui permet de décrire la relation entre les organes qui sont soumis à l'activité physique. Les muscles y tiennent un rôle central, car c'est le seul organe qui peut transformer

l'énergie biochimique en énergie mécanique : c'est ce qu'on appelle la respiration (Weibel, 1984). Pour assurer la respiration musculaire, plusieurs changements sont constatés au niveau des systèmes suivants :

2.1.1 Les muscles squelettiques

Les cellules des muscles squelettiques soumises à un exercice physique consomment plus d'énergie et de dioxygène que les cellules musculaires au repos. Elles utilisent la respiration cellulaire pour prélever l'énergie des aliments comme les glucides et les lipides. Ces nutriments procurent une source d'énergie biochimique dont une partie sera prélevée par le dioxygène au niveau des cellules pour permettre la production de l'énergie mécanique nécessaire à la contraction musculaire (Weibel, 1984) (Marieb, 2015). Une autre partie de l'énergie des nutriments est dissipée sous forme de chaleur (Figure 1). Les cellules produisent aussi le dioxyde de carbone sous forme de déchet en quantité similaire à celle de dioxygène consommé (Booth et Thomason, 1991)

Figure 1: Schéma du muscle avec les rapports en dioxygène et nutriments et le rejet en dioxyde de carbone

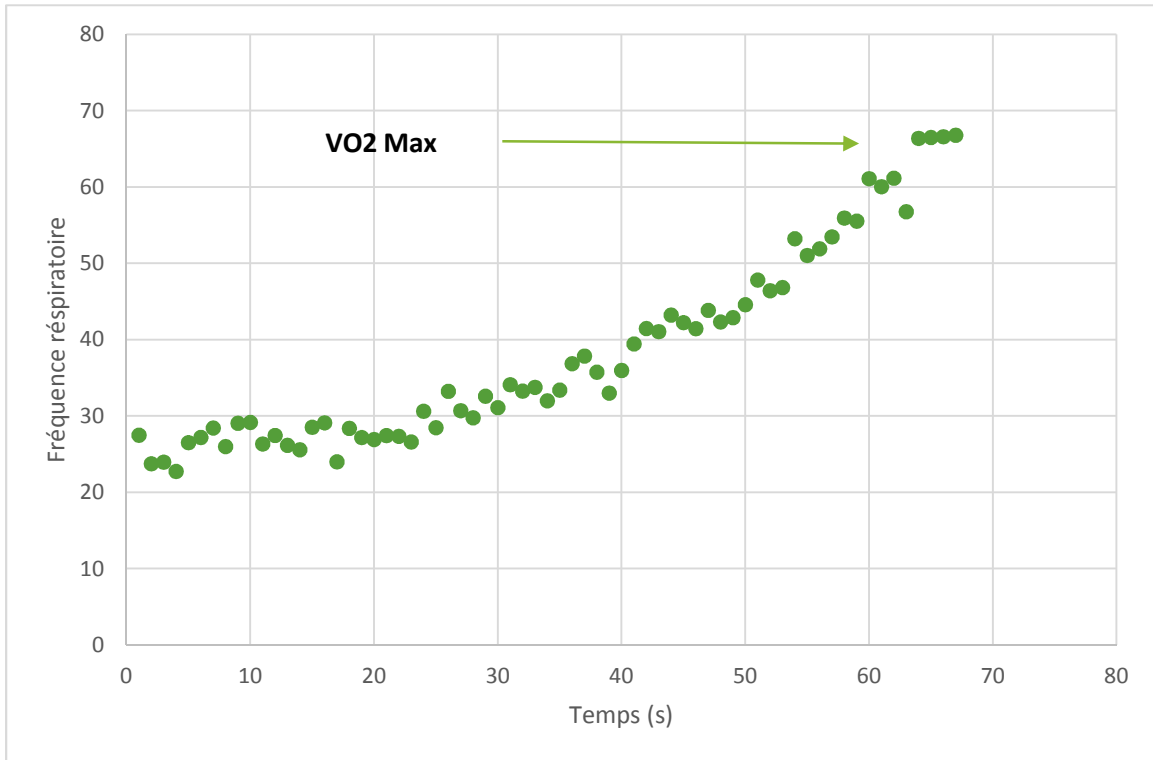


2.1.2 La fonction respiratoire

L'air inspiré par la bouche et les fosses nasales emprunte la trachée, les deux bronches et finit par parcourir les poumons grâce aux bronchioles pour aboutir aux alvéoles. L'air expiré parcourt le trajet inverse des alvéoles jusqu'à la bouche et le nez (Booth et Thomason, 1991). Le rôle principal de l'appareil respiratoire est le passage du dioxygène de l'air dans le sang et au dioxyde de carbone au sens contraire.

L'augmentation de l'intensité de l'activité physique est associée à une augmentation du débit ventilatoire, ce qui permet un approvisionnement plus important des cellules musculaires en dioxygène. En effet, plus l'intensité de l'activité physique augmente, plus la consommation et l'utilisation du dioxygène augmentent et ce, de façon linéaire pour atteindre un seuil où la consommation d'oxygène est maximale (Figure 2). À partir de cette valeur, l'organisme rentre en mode anaérobie et utilise d'autres ressources énergétiques, qui ne font pas appel à la consommation de dioxygène (Bachur et al., 2007).

Figure 2: Variation linéaire de la consommation d'oxygène en fonction de l'intensité de l'exercice physique jusqu'à atteindre le VO2 max



L'effort ne peut être maintenu au-delà de quelques minutes à des puissances égales ou supérieures au palier correspondant à la consommation maximale (ou volume maximal) d'oxygène (VO2max). Le VO2max est un indicateur de la performance cardiorespiratoire chez les personnes sous effort physique. Puisqu'il dépend de la fréquence cardiaque maximale, le VO2max est influencé par la physiologie cardiaque et non pas par l'appareil ventilatoire. Le débit ventilatoire n'est pas un facteur limitant du VO2max. Par contre, le facteur limitant est le débit cardiaque, qui est influencé par la fréquence cardiaque maximale. Cette dernière peut être estimée par plusieurs formules, la plus courante est la suivante : $(FC_{max} = 220 - \text{âge})$, où FC_{max} représente la fréquence cardiaque maximale d'un individu donné (Bot et Hollander, 2002).

2.1.3 Le système cardiaque

L'intensité et la durée de l'activité physique produisent un stress homéostatique générales. La réponse du système cardiaque au stress est immédiate afin de gérer cette perturbation physiologique. La fréquence cardiaque, qui est le nombre de battements du cœur par minute (BPM), ainsi que la pression artérielle augmentent simultanément. Au repos, la fréquence moyenne pour une personnes en santé est de 60 à 80 BPM (Karvonen et Vuorimaa, 1988), cette valeur va augmenter pour atteindre un maximum qui ne dépasse pas la fréquence cardiaque maximale ($FC_{max} = 220 - \text{âge}$). Cette augmentation permet un apport d'oxygène et du glucose aux muscles qui exercent le travail, ainsi qu'à l'ensemble des organes (cerveaux, système digestif, etc.) (Karvonen et Vuorimaa, 1988).

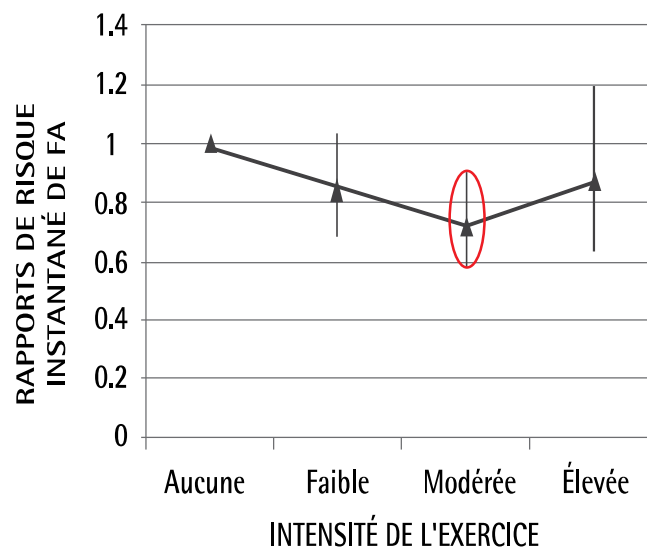
2.1.4 Dosage de l'exercice physique

Plusieurs études épidémiologiques confirment les avantages procurés par l'exercice physique (Pate et al., 2005). Ces avantages comprennent, entre autres, la diminution des risques de maladies cardiorespiratoires, d'obésité et de mortalité, quelle qu'en soit la cause (Bosomworth, 2015). Or, plus récemment, la littérature scientifique s'est centrée sur les inconvénients de l'activité physique. Elle s'est centrée, plus précisément, sur les conséquences qu'elle peut avoir sur la santé cardiorespiratoire, si cette l'activité n'est pas dosée.

Parmi les études observationnelles, les études de cohortes sont celles qui procurent le niveau de preuve le plus élevé (Fortin, 2010). Il s'agit du devis scientifique qui permet de clarifier la cause et les effets. À cet effet, en 2015, John Bosomworth et al (2015) ont réalisé une revue systématique afin d'examiner la littérature. Ils se sont concentrés sur les études portant sur les effets néfastes de l'activité physique sur le système cardiaque. Les auteurs ont intégré plusieurs études de cohortes publiées sur le sujet dont celles de Mozaffarian et al., 2008, d'Aizer et al., 2009, d'Everett et al. 2011 et d'Andersen et al., 2013. Ces études se distinguent par le grand nombre de participants et leur contrôle des sources de biais. Les résultats de ces études convergent et démontrent une relation dose-réponse entre l'augmentation de l'intensité de l'activité physique et la fibrillation auriculaire. L'étude de Mozaffarian et al. (2008) est un parfait exemple. Chez une

population d'homme et de femmes, les auteurs ont démontré une réduction cumulative de la fibrillation auriculaire incidente lorsque l'intensité de l'exercice physique passait de faible à modéré, ce qui appuie l'effet protecteur de l'exercice à intensité modéré. Toutefois, une hausse de l'incidence de la fibrillation est aussi associée à l'exposition à des exercices à des intensités élevées et le risque chez cette population n'était pas différent de celui des participants sédentaires (figure 3).

Figure 3 : Résultats de l'étude Mozaffarian et al., 2008 visant à déterminer les rapports de risque instantané de la fibrillation auriculaire, en fonction du niveau d'exercice : Les points de données encadrés indiquent une variation statistiquement significative par rapport aux valeurs initiales



Source : Données tirées de Mozaffarian et al., 2008

Toujours selon la même méta-analyse réalisée par Bosomworth et al (2015), il existe un risque modéré de développer une maladie cardiorespiratoire pour les personnes exposées à une activité physique intense. Une étude de grande qualité comme cette méta-analyse rapporte même un rapport de risque instantané de 1,29. Bosomworth et al. suggèrent que les personnes qui exercent une activité physique modérée à intense doivent être évaluées de près et en temps réel. Les méthodes d'évaluation de l'activité physique traditionnelle ne procurent pas de profil de la fonction cardiorespiratoire en contexte réel. Ceci peut expliquer la divergence dans les conclusions sur le rapport dose à effet dans la littérature.

Des études utilisant des équipements permettant le télé-monitorage pourraient confirmer ou contredire les évidences actuelles.

2.2 Instruments de mesure de la fonction cardiorespiratoire

En clinique, la fonction cardiorespiratoire est généralement évaluée lors d'une épreuve d'effort cardiorespiratoire maximal à l'aide de protocoles validés utilisant l'ECG avec 12 dérivations et un chariot métabolique permettant de mesurer les échanges gazeux (équipement standard de référence)(« ACSM's Health/Fitness Facility Standards and Guidelines-4th Edition - American College of Sports Medicine », 2010). Cet équipement permet, entre autres, d'informer le clinicien sur l'activité électrique du cœur (tracé de l'ECG), de mesurer la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire, le volume courant et le débit respiratoire (« ACSM's Health/Fitness Facility Standards and Guidelines-4th Edition - American College of Sports Medicine », 2010)(figure 4). Il permet aussi de mesurer le VO₂max et le seuil ventilatoire, deux indicateurs valides de la fonction cardiorespiratoire chez des personnes en activité physique (Jang et al. 2012). Toutefois, cet équipement sophistiqué est peu accessible : il se trouve généralement dans un centre hospitalier ou dans un centre de recherche et son utilisation nécessite un personnel hautement qualifié. Cet équipement peut donc difficilement être utilisé pour faire un suivi en continu en contexte réel de la fonction cardiorespiratoire d'une personne pendant une activité physique.

Figure 3: Équipement standard de référence utilisé au laboratoire pour évaluer la fonction cardiorespiratoire. Prise durant la collecte des données dans le cadre de la validation du textile l'Hexoskin



Plusieurs anomalies cardiorespiratoires qui sont dues à l'augmentation de l'intensité de l'activité physique peuvent être asymptomatique. Environ, 10 à 40 % des patients atteints de fibrillation auriculaire sont asymptomatiques ou silencieux (Dobreanu et al, 2013). Le taux de fibrillation auriculaire silencieuse varie selon les études, cette différence résulte en grande partie du type du suivi. Une stratégie spécifique en temps réel peut être une solution pour le dépistage et la gestion de la fibrillation auriculaire (Dobreanu et al., 2013, Rho RW, 2005). Le fait de ne pas avoir un profil cardiorespiratoire au moment de l'activité physique ou pendant la période de récupération peut sous-estimer la prévalence et l'incidence des effets délétères de l'activité physique sur la santé cardiorespiratoire (Hulos et al., 2015). Le suivi de la fonction cardiorespiratoire en temps réel s'améliore avec les progrès technologiques. Les moniteurs portatifs constituent un très bon exemple. Au cours des dernières années, plusieurs équipements portatifs ont été développés et utilisés en milieu clinique. Ceci a permis le télé-monitorage de la fonction

cardiorespiratoire pendant l'activité physique et à des endroits autres que la clinique (Rho RW, 2005).

Des études antérieures ont utilisé différents outils comme des bracelets multi sensoriels ou des cardio-fréquencemètres, combinés à des questionnaires auto-rapportés (Brighenti-Zogg et coll., 2016). Ces outils peuvent être utilisés pour enregistrer des données sur la fonction cardiorespiratoire pendant le travail par exemple (Miller et Brown, 2004)(Thorp et coll., 2012). Ils permettent, entre autres, d'évaluer l'intensité de l'activité physique en mesurant la fréquence cardiaque, la dépense énergétique (quantifiée en équivalent métabolique (MET)) et certains procurent même une estimation du VO₂max. Ces outils permettent le monitoring de l'intensité de l'activité physique dans des situations réelle, dont l'environnement diffère de celui d'un laboratoire (Su, Borov, et Zrenner, 2013). Parmi ces outils, nous aborderons le bracelet multi sensoriel de type Fit bit et le ECG holter car il s'agit des premières technologies portatives qui ont fait l'objet d'études de validation vis à vis l'équipements standard de référence (Su et al., 2013)(Akintola, van de Pol, Bimmel, Maan, & van Heemst, 2016)(Evenson et al., 2015).

Le Fit bit a été validé à ses début par rapport à des technologies de mesure portatives telles que le podomètre et l'accéléromètre. En effet, Tully et al. 2014 ont étudié la validité du Fit bit par rapport à un accéléromètre et à un podomètre chez 48 participantes durant 7 jours et en utilisant des questionnaires auto-rapportés (Tully, McBride, Heron, & Hunter, 2014). Les auteurs ont évalué l'association entre les données du Fit bit et ces deux outils en utilisant des coefficients de corrélation de Spearman et ont comparé les données avec des tests de rangs signés Wilcoxon. Des graphiques de Bland-Altman ont aussi été utilisés pour vérifier la concordance des données. Ils ont démontré la présence d'une corrélation élevée entre le Fit bit et les deux dispositifs de référence ($r = 0,91$, $p < 0,001$). Les graphiques de Bland-Altman révèlent une forte concordance entre les appareils.

Dans une étude corrélationnelle très récente publiée en 2017, Powierza et collaborateurs ont comparé, chez un échantillon de 22 participants en santé, les données de la fonction cardiorespiratoire mesurées avec le bracelet multi sensoriels de type Fit bit avec celles mesurées avec l'équipement standard de référence de type ECG EKG lors d'une épreuve

d'effort maximal. Cette étude a démontré que le bracelet multi sensoriel peut être utilisé en remplacement de l'ECG pour monitorer la fréquence cardiaque. De fait, les résultats du suivi de la fréquence cardiaque avec le bracelet démontrent une forte corrélation et une concordance parfaite avec le signal obtenu avec l'ECG. En effet, les auteurs ont observé un coefficient de corrélation intra-classe qui est égale à 0,83 (intervalle de confiance de 95% 0,67-0,90).

Les résultats de la concordance (différence moyenne = -6,04 bpm ; écart type = 10,40 bpm; Bland-Altman 95% ; limites d'accord = -26,42 à 14,35 bpm) démontrent que Fit bit sous-estime la fréquence cardiaque par rapport à l'équipement de référence. Les auteurs ont conclu que le bracelet multi sensoriel de type Fit bit peut être une alternative valide pour mesurer la fréquence cardiaque. Le faible coût et la manipulation facile font du Fit bit un bon remplaçant de l'équipement de référence. (Powierza, Clark, Hughes, Carneiro, et Mihalik, 2017).

À partir de ces deux études sur le Fit bit, on peut conclure qu'il s'agit d'un outil de mesure portatif qui a été validé par rapport à un ou plusieurs outils du télé-monitorage. Ces deux équipes de chercheurs ont exploré deux pistes de validation. La première était de valider le bracelet par rapport à des équipements portatifs qui sont déjà sur le marché et la deuxième était de valider le Fit bit par rapport à un équipement statique (lourd et non portatif) qui est le matériel de référence chez les cliniciens. Les deux méthodes convergent vers un seul résultat, c'est que le fit bit est un outil de mesure portatif capable de mesurer la fréquence cardiaque en temps réel.

L'Holter est un appareil portatif, léger et utilisé en cardiologie pour monitorer en continu les tracés ECG d'une personne pendant ses activités quotidiennes. Les chercheurs s'intéressaient à étudier les différents segments du tracé ECG obtenue par l'ECG holter. Ils utilisaient des méthodes d'analyse de données et des algorithmes très spécifiques au domaine de l'ingénierie afin de donner des interprétations cliniques. On cite l'exemple des études réalisées par : Kim, Hyejung, et coll. (2010) et de Laguna, Pablo, et coll. (1997). En 2013, l'équipe de Su et collaborateurs ont réalisé une revue de la littérature afin de démontrer la validité de l'Holter en contrastant les données qu'il procure à celles obtenues avec l'ECG standard de référence. Les auteurs ont essayé de faire le lien entre

les études techniques réalisées par les spécialistes du signal numérique et l'utilité clinique pour détecter les pathologies cardiaques. Les auteurs s'intéressaient plus à déterminer les inconvénients d'un ECG holter sur la pratique clinique courante. Ils ont soulevé plusieurs inconvénients de l'Holter. L'accessibilité restreinte, le format peu pratique du boîtier, l'usure rapide des électrodes (due au contact direct avec la peau), la faible capacité de stockage de l'information, les artéfacts musculaires et surtout le fait qu'il ne donne aucune information sur la capacité respiratoire limitent son utilisation (Su et al., 2013).

2.3 Résumé de la recension des écrits

En somme, bien que la validité de ces outils semble avoir été démontrée, ces outils ne renseignent pas sur les fonctions respiratoires des personnes soumises à un effort physique. Ils ne peuvent, par exemple, nous renseigner sur les fonctions cardiorespiratoires dans un environnement réel et sécuritaire d'une personne souffrant de maladies pulmonaires restrictives ou obstructives. Afin de résoudre ce problème, de nombreux efforts ont été consacrés à la conception des dispositifs portatifs intelligents capables d'enregistrer des signaux qui informent sur la capacité respiratoire. Tandis que la personne est en activité spontanée, le confort de l'utilisation quotidienne ne doit pas être limité par cet outil. Le résultat de ces efforts a donné naissance à des textiles intelligents, nommément les « T-shirt intelligents ».

Selon la revue Lux Research (22 Aout 2016), le Canada est le 5^e pays développeur du textile intelligent. Vingt-sept pourcent de ces technologies ont été dédiées au domaine de la santé principalement et 40% des produits développés sont des textiles intelligents. Il faut savoir que les premières études qui ont été publiées sur le sujet étaient des études techniques. Plus précisément, ces études s'intéressaient à l'analyse du signal numérique obtenu par ces textiles intelligents. L'équipe de Rienzo et al. 2005 ont été parmi les premiers à valider le signal obtenu par un textile intelligent appelé MagIC. Dans cette étude, les données cardiorespiratoires enregistrées par le textile MagIC ont été comparées avec les données obtenues par un équipement utilisé dans les hôpitaux et considéré comme le « Gold standard ». Cette étude a été réalisée chez une population en santé et libre, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de protocole pré établi. Les participants effectuaient des activités quotidiennes habituelles (jardinage, ménage, sport, ect). Les auteurs ont

démontré que les signaux cardiorespiratoires obtenues par le textile MagIC sont similaires aux signaux obtenues par l'équipement traditionnel (Rienzo et al., 2005).

La nature très technique des articles publiés sur les textiles intelligents et le fait qu'elles s'intéressent principalement au signal cardiaque fait en sorte qu'il manque d'études rigoureuses pour justifier l'utilisation des textiles intelligents pour évaluer ou monitorer la fonction cardiorespiratoire ou encore, justifier le remplacement de l'équipement standard dans certains contextes.

2.4 Hexoskin

L'Hexoskin, récemment développé par Carré technologique (Montréal, Canada), est un vêtement léger, extensible et lavable à la machine. Il est pourvu de capteurs de signaux émis par l'activité cardiaque et respiratoire et muni d'un accéléromètre. Ces signaux sont transmis via un système de connexion Bluetooth à un petit boîtier qui permet l'enregistrement d'un volume important de données. Ces données peuvent ensuite être transférées vers un ordinateur afin d'être traitées et analysées à l'aide du logiciel du fabricant. L'Hexoskin procure un tracé ECG, il permet de mesurer plusieurs indices de la fonction cardiaque et respiratoire ainsi que le déplacement d'une personne, le tout en temps réel (figure 5).

Figure 4: Le textile intelligent Hexoskin développé par Carré technologie Montréal



Source : www.hexoskin.ca

Une recherche documentaire effectuée dans différentes bases de données (PubMed, CINHAL, Google Scholar) nous a permis de recenser 4 études sur ce vêtement. Villar et al. (2015) ont étudié la corrélation entre les mesures de la fréquence cardiaque, de la fréquence respiratoire, le volume courant, le débit ventilatoire et le déplacement angulaire de la hanche obtenus avec l'Hexoskin et celles obtenues au laboratoire. Ces paramètres

ont été mesurés chez 20 participants lors de différentes positions de repos (assis, couché et debout) de même qu'à la marche à 80% de la fréquence cardiaque maximale prédite à partir de l'âge. Les auteurs ont conclu à de faibles coefficients de variation pour chacune des tâches (allant de 0.27% à 1.61%) et des coefficients de corrélation intra-classe élevés (allant de 0.96 à 1.00) et ce, pour la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire. L'Hexoskin procure des valeurs de volume courant et du débit ventilatoire en unités arbitraires (à partir d'estimations), les variations relatives de ces paramètres mesurés avec l'Hexoskin suivent de très près celles enregistrées par l'équipement de laboratoire. Les tâches ont été effectuées lors d'efforts sous maximaux basés sur une valeur prédite, ce qui constitue une limite importante à cette étude.

Dans la 2^e étude, Montes et al. (2015) ont utilisé l'Hexoskin auprès d'un échantillon de 10 participants afin de mesurer les capacités cardiorespiratoires lors de deux activités de marche effectuées sur le terrain et à différentes intensités (sentier plat, ascension et descente d'une pente). Les auteurs rapportent une absence de corrélation significative entre les mesures de fréquences cardiaques (minimales et maximales) mesurées avec l'Hexoskin et les trois types de terrain. Or, le fait que les données de plusieurs participants n'ont pu être enregistrées ne permet d'émettre aucune conclusion valable.

Dans une 3^e étude, Tobon et al. (2014) ont développé et validé un indice ECG à partir de la modulation du contenu spectral (indice MS-QI) de signaux collectés avec l'Hexoskin, qu'ils ont comparé avec des signaux enregistrés avec l'équipement ECG standard et un équipement permettant le monitoring ambulatoire de l'ECG. Les auteurs concluent que l'Hexoskin procure un indice MS-QI valide, ce qui supporte l'utilisation de l'Hexoskin pour le télé-monitorage en contexte réel. Bien que l'Hexoskin semble être un outil prometteur pour évaluer les capacités cardiorespiratoires, sa validation n'en est qu'à ses débuts et demeure à être vérifiée par des études rigoureuses.

Enfin, Beltrame et al (2017) ont tenté de caractériser et de prédire le VO₂max en utilisant les capteurs lents intégrés à l'Hexoskin. L'objectif de cette étude était de prédire et d'évaluer la dynamique temporelle de la réponse aérobie lors d'activités réalistes, sans utiliser un équipement traditionnel de laboratoire ni un protocole habituel pour

l'acquisition du VO₂max. Plus précisément, les données acquises (qui sont la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la ventilation) sont obtenues à partir de la fusion des capteurs portables. Les paramètres cardiorespiratoires ont été traités par des algorithmes pour prédire VO₂max chez 16 hommes en santé. Les auteurs ont conclu que les signaux obtenus à partir des capteurs portables ont permis la prédiction de l'absorption d'oxygène pendant les activités de la vie quotidienne et la marche au hasard. Aussi, la dynamique de la consommation d'oxygène peut être prédite à partir de la fusion des données des capteurs non intrusifs (les capteurs de l'Hexoskin), mais en utilisant des algorithmes de prédiction de VO₂max avec l'Hexoskin (Beltrame et al., 2017).

En sommes, bien que l'Hexoskin semble être un outil prometteur pour évaluer les capacités cardiorespiratoires, sa validation n'en est qu'à ses débuts et demeure à être vérifiée par des études rigoureuses.

Chapitre 3 : Pertinence, objectifs et hypothèse de la recherche

3.1. Objectifs de la recherche

L'objectif principal de cette étude est de documenter la validité de critère concourante de l'Hexoskin (Monod, 1967). Plus spécifiquement, nous tenterons de déterminer l'intensité, la forme et le sens de la relation entre les variables cardiorespiratoires mesurées avec l'Hexoskin et les variables cardiorespiratoires mesurées avec l'équipement standard de référence (Cosmed).

Trois objectifs spécifiques ont été établis lors de cette étude :

1. Déterminer l'intensité, la forme et le sens de la relation entre les variables cardiorespiratoires mesurées avec l'Hexoskin et les variables cardiorespiratoires mesurées avec l'équipement standard de référence.
2. Déterminer l'écart entre le signal obtenu par l'Hexoskin et le signal obtenu par l'équipement de référence.
3. Vérifier si l'Hexoskin est capable de déterminer les paramètres cardiorespiratoires à trois intensités d'effort physique (faible, modérée, fort).

Les données seront collectées avec les deux outils simultanément lors d'une épreuve d'effort maximal et d'une épreuve d'effort sous maximal chez des hommes et des femmes adultes en santé.

3.2. Hypothèse de la recherche

En nous basant sur la littérature et sur des données préliminaires, nous émettons l'hypothèse suivante : des paramètres comme la fréquence cardiaque et respiratoire, qui proviennent de mesures directes, seront fortement corrélées ($r > 0.6$) et la relation sera linéaire et positive. La ventilation qui est un paramètre estimé pourrait présenter une relation dont l'intensité, la forme et le sens restent à déterminer.

Chapitre 4 : Matériel et Méthodes

Ce chapitre présente la méthodologie de recherche choisie afin de répondre aux objectifs de l'étude. Tout d'abord, le devis est détaillé. Ensuite, la population, les critères d'admissibilité et les stratégies de recrutement, les variables de l'étude et les instruments de collecte des données, les considérations éthiques et le déroulement de l'étude seront présentés. Enfin, les procédures d'analyses statistiques utilisées concluent le présent chapitre. Je tiens à préciser que j'ai été impliquée à toutes les étapes de ce projet. J'ai contribué à la revue de la littérature et à l'élaboration du protocole expérimental, j'ai participé à la collecte des données qui ont eu lieu au laboratoire de Pr Pierre Boulay, physiologiste de l'exercice certifié pour effectuer des épreuves d'effort maximal, j'ai réalisé les analyses statistiques et j'ai interprété les résultats qui seront présentés et discutés plus loin dans ce mémoire.

4.1 Devis

Le devis choisi pour cette étude est un devis descriptif corrélationnel. Ce type d'étude a pour but d'explorer et de vérifier la relation entre des variables qui sont mesurées par deux instruments de mesure différents (Loiselle, 2007). L'étude corrélationnelle se base sur l'analyse statistique de corrélation. C'est une analyse qui renseigne sur le degré d'association entre des variables cardiorespiratoires mesurées par l'Hexoskin et celles mesurées par l'équipement standard de référence. Le coefficient de corrélation (r) est une quantification de la relation linéaire entre les variables cardiorespiratoires. Ce coefficient permet de déterminer la force, le sens et la direction de la relation entre ces variables (Fortin, 2010). Le choix du devis est justifié par :

- Le but de l'étude, qui consiste à valider les mesures obtenues par l'Hexoskin par rapport aux mesures obtenues par l'équipement de référence (*gold standard*). En d'autres termes, les mesures cardiorespiratoires qui sont obtenues par l'Hexoskin ont été vérifiées et comparées par rapport aux mesures cardiorespiratoires obtenues avec l'équipement standard de référence tout en adoptant l'approche parallèle. Cette approche est définie comme parallèle, car elle se base sur des tests

ayant des moyennes et des variances égales ainsi que des inter-corrélations élevées (Demeuse et Henry, 2007)

- Les analyses statistiques, qui sont utilisées pour des études de validation d'un instrument de mesure sont des analyses de corrélation (Fortin, 2010). Sachant qu'une étude corrélationnelle s'appuie sur la corrélation (méthode statistique), une mesure qui renseigne sur l'association entre les mesures déterminées par deux instruments ;
- Enfin, déterminer une relation de causalité n'est pas le but de cette étude. Le but est de déterminer l'intensité, la forme et le sens de la relation.

4.2 Population

La population cible était formée de personnes actives en santé résidentes au Québec. La population accessible était constituée des hommes et des femmes actives en santé qui résident dans la région de l'Estrie entre 2016 et 2017. Un échantillon non probabiliste de convenance de 30 participants (15 hommes et 15 femmes) en santé, âgés d'au moins 18 ans été constitué à partir d'une population habitant la région de l'Estrie.

4.2.1 Critères d'inclusion et d'exclusion

Pour répondre aux critères d'inclusion, les participants devaient être :

- Hommes et femmes actives
- Âgés entre 18 ans et plus
- Parler et lire le français ou anglais
- Pouvoir faire un exercice rigoureux de façon sécuritaire évalué avec le questionnaire d'aptitude à l'activité physique pour tous (Q-AAP+)

Les critères d'exclusion étaient :

- Avoir une maladie cardio-respiratoire ou rénale
- Avoir un diagnostic du diabète de type 1 ou 2
- Avoir une pression artérielle au repos \geq à 140/90 mm Hg
- Cancer actif ou passif pouvant modifier l'activité cardiorespiratoire

- Avoir une maladie dermatologique contagieuse (qui peuvent être transmise par le vêtement Hexoskin)
- Avoir un problème osseux ou articulaire (qui peut limiter le mouvement du participant)
- Femmes enceintes
- Être sous médicaments pour augmenter ou diminuer la fonction cardiorespiratoire durant les 6 derniers mois
- Être dépendants à l'alcool ou une drogue.

4.2.2 La taille de l'échantillon :

Il n'existe pas de données préalables sur les valeurs des paramètres requis pour effectuer un calcul de puissance fiable puisqu'il s'agit de la première étude qui va documenter la validité clinique de l'Hexoskin. En raison de ce contexte, la taille de l'échantillon a été fixée à 30 participants. Ce nombre de participants devrait nous permettre d'effectuer des procédures d'analyses paramétriques pour valider nos hypothèses de recherche, car les méthodes d'analyses choisies (décrites plus loin) tiennent compte du nombre de données valides (30 participants x 6 paramètres = 180 observations). En raison de la structure des données, et non du nombre de participants, la puissance de l'étude ne peut être que plus grande.

4.2.3 Stratégie de recrutement

Le recrutement s'est fait à partir des affiches apposées à la faculté des sciences de l'activité physique, au campus principal, et à la faculté de médecine et des sciences de la santé, au campus de la santé, de l'Université de Sherbrooke. De plus, des médias sociaux, tels qu'une page Facebook, ont été utilisés afin d'élargir la visibilité du projet et ainsi optimiser nos chances de recruter des participants. Les personnes désirant participer à l'étude ont communiqué par téléphone ou par courriel avec les responsables du projet, afin qu'elles puissent être informées davantage sur le projet, vérifier qu'elles respectent les critères d'admissibilité et planifier un rendez-vous de collecte des données. Une copie de la liste des recommandations à suivre établies par l'American College of Sport Médecine (ACSM) a été envoyée avant la première rencontre (voir annexe A1).

4.3 Considérations éthiques

L'étude a été approuvée par le comité d'éthique de la recherche du CHUS en date du 29 juillet 2016 (annexe B1). Chaque personne intéressée à participer a reçu toutes les informations inhérentes au projet et une copie du formulaire de consentement (annexe B2) dont le contenu lui a été expliqué : les objectifs de l'étude, le but de la participation attendue, les avantages, les inconvénients, le droit de se retirer en tout temps sans préjudice, les mesures prises pour protéger la confidentialité et l'anonymat des données ainsi que la protection des renseignements privés par un numéro de code.

Le projet présentait deux risques qui ont été expliqués aux participants :

1. Risque majeur : Risque de malaise ou de chute par exemple. L'équipe de recherche a mis en place un protocole d'urgence bien établi dans l'éventualité qu'un incident survienne lors de l'épreuve d'effort maximal cardiorespiratoire. Aussi, les épreuves d'effort maximal cardiorespiratoire ont toutes été effectuées par le Pr Pierre Boulay, physiologiste de l'exercice reconnu et certifié (certification de physiologiste de l'exercice de la Société canadienne de physiologie de l'exercice et certification de *Clinical Exercise Specialist* de l'ACSM) possédant une expérience de plus de 20 000 ÉECMR en milieu hospitalier, dont la majorité chez une clientèle atteinte de maladies chroniques. Aucun participant n'a rapporté avoir ressenti un malaise.
2. Détection fortuite de pathologie cardiorespiratoire : En cas de détection d'une pathologie cardiorespiratoire chez un participant, l'information devait être acheminée à son médecin de famille ou au participant lui-même. Une consultation d'urgence était nécessaire. Cette situation n'est pas survenue dans notre étude.

L'étudiante responsable du projet était en charge d'obtenir le consentement, elle a répondu à toutes les questions et une période de réflexion a été allouée à la personne avant qu'elle donne son consentement à participer. L'étudiante et la chercheuse

responsable ont signé les deux copies du formulaire de consentement et une copie a été remise au participant.

4.4 Variable d'intérêt, paramètres et instruments de mesure

Pour cette étude, la variable d'intérêt est **la fonction cardiorespiratoire** mesurée à l'aide de deux outils : **l'équipement de référence en laboratoire** et **l'Hexoskin**. Pour ce projet, l'équipement de laboratoire consistait en tapis roulant, un chariot métabolique, un électrocardiogramme (ECG) et un spiromètre.



Les paramètres servant à caractériser la fonction cardiorespiratoire ont été collectés avec l'équipement de référence (ECG 10 dérivation et chariot métabolique Cosmed Quark CPET) et l'Hexoskin de façon simultanée lors d'une épreuve d'effort maximal cardiorespiratoire (ÉEMCR) selon le protocole BSU/Bruce ramp (Kaminsky et Whaley, 1998) décrit plus loin et présenté de façon détaillée à l'annexe C. L'ÉEMCR en laboratoire s'impose comme le « gold standard » de l'évaluation fonctionnelle cardiorespiratoire et permet de déterminer plusieurs paramètres. Tout au long de l'évaluation, les échanges gazeux sont collectés de façon continue par la méthode cycle à cycle. Pour la collecte de ces données, les participants portaient un masque qui couvrait le nez et la bouche. La détermination du seuil ventilatoire (anaérobie) a été faite à partir des cinétiques du débit ventilatoire expiré (VE) et des équivalents respiratoires (VE/VO₂ et VE/VCO₂) et selon la méthode de Beaver, ou V slope, qui met en correspondance VO₂ et VCO₂. L'électrocardiogramme (ECG), pour sa part, enregistre le rythme cardiaque de façon continue à l'aide de 10 électrodes positionnées sur le thorax des participants. Les paramètres cardiorespiratoires d'intérêt commun aux deux outils (n=6) et les unités de mesure sont résumés au Tableau 1. Pour ce mémoire, les paramètres suivants ont été retenus : la fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la ventilation. La validation pour les autres signaux fera l'objet d'études futures car une expertise plus poussée en traitement et analyses de signaux est requise. Les caractéristiques techniques du vêtement l'Hexoskin sont présentées au Tableau 2.

Tableau 1: Paramètres cardiorespiratoires, instruments et unités de mesure

Paramètres cardiorespiratoires	Instruments de mesure	Unités de mesure
Fréquence cardiaque (FC)	Équipement de référence : Quinton	BPM
	Hexoskin : 3 capteurs intégrés au vêtement	
Paramètres ECG (10 dérivations)	Équipement de référence : Quinton	Représentation graphique du tracé des ondes d'activité électrique
	Hexoskin : 3 capteurs intégrés au vêtement*	
Ventilation (fréquence et volume)	Équipement de référence : Cosmed Quark CPET	Respiration minute / L·min ⁻¹
	Hexoskin : 2 canaux, l'un au thorax et l'autre à l'abdomen, intégrés au vêtement*	
Volume d'oxygène (VO ₂)	Équipement de référence : Cosmed Quark CPET	mlO ₂ ·kg ⁻¹ ·min ⁻¹
	Hexoskin : (valeur estimée)	
Seuil ventilatoire (anaérobie)	Équipement de référence : Cosmed Quark CPET	mlO ₂ ·kg ⁻¹ ·min ⁻¹ (utilisant méthodes V slope, EqO ₂ , EqCO ₂ , FeO ₂ , P _{ET} O ₂ , P _{ET} CO ₂)
	Hexoskin : (valeur estimée)	

* voir les spécificités techniques du vêtement Hexoskin au Tableau 2

Tableau 2: Spécificités techniques de l'Hexoskin

Paramètres cardiaques	Paramètres respiratoires
	
<ul style="list-style-type: none"> • 3 électrodes intégrées • Un canal 256 Hz • Rythme cardiaque : 30-220 BPM, 1Hz • Détection de bruit de 50-60 Hz • Détection d'évènement QRS : résolution de 4 ms résolution des intervalles RR 4ms 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 canaux, 128 Hz • Fréquence respiratoire: 3-80 RPM • Volume courant (dernière inspiration) - 80-10000 mL , 1Hz • Ventilation minute (inductance pléthysmographie) 2-150 L / min , 1Hz • Inspiration et expiration : Résolution 8ms

4.5 Déroulement de l'étude

La collecte des données implique une seule visite au laboratoire du Pr Pierre Boulay, situé au Centre sportif du Campus principal – Université de Sherbrooke, local 321. Une fois sur place, le formulaire de consentement a été présenté et expliqué aux participants par l'étudiante responsable du projet afin d'obtenir leur consentement libre et éclairé à participer. Tel que recommandé par l'Américain Collège of Sport Medicine ACSM, les participants devaient ensuite remplir le questionnaire (Q-AAP+ - voir annexe D) pour confirmer qu'ils étaient aptes à faire un exercice vigoureux. Les participants aptes à poursuivre l'étude ont rempli un questionnaire sociodémographique maison (voir annexe E) dont les données ont servi à caractériser l'échantillon.

Ensuite, les participants devaient être vêtus de vêtements amples et de souliers de marche ou de course. En premier lieu, une ÉEMCR a été effectuée selon le protocole BSU/Bruce ramp (voir annexe C), un protocole de marche sur tapis roulant validé et couramment utilisé en clinique et en recherche. Ce protocole se résume comme suit : 1) le protocole débute à une vitesse de 1.7 mph avec une inclinaison de 0% et une augmentation de la vitesse et/ou de l'inclinaison à toutes les 20 secondes et 2) le réglage de la vitesse et de l'inclinaison pour les 20 dernières secondes de chacun des segments de 3 minutes sont identiques à ceux du protocole standard de Bruce. Les critères d'arrêt du test de l'ACSM (voir annexe A2) ont été utilisés.

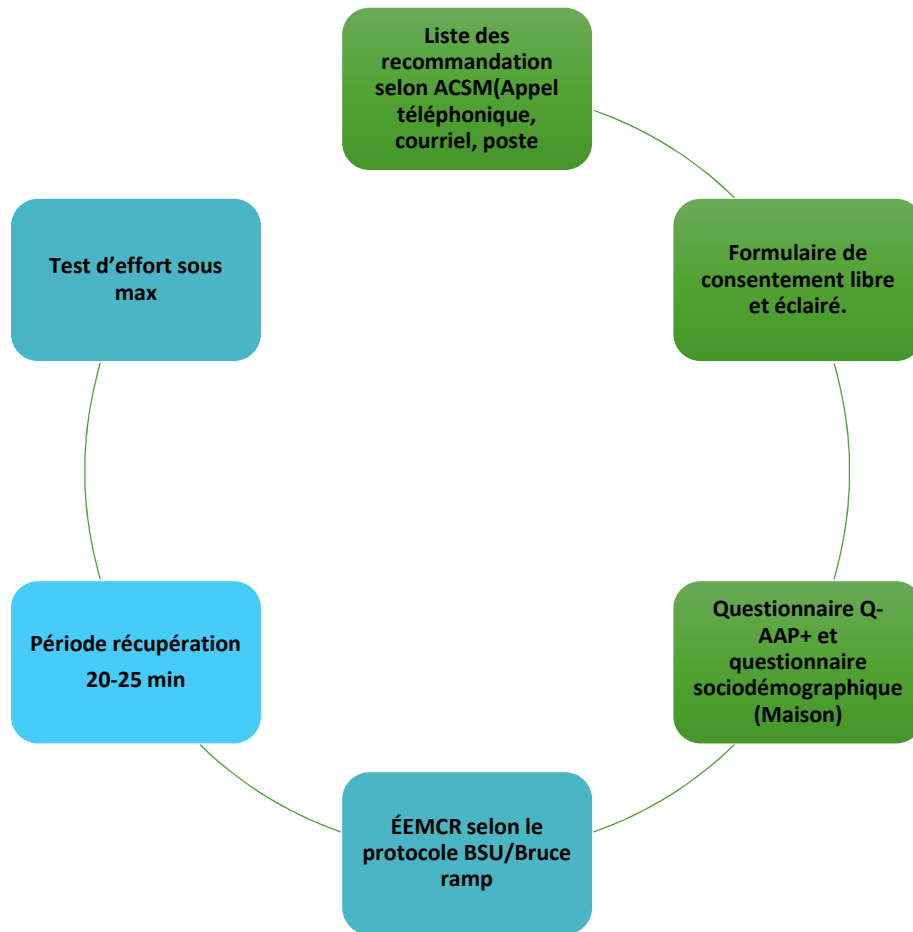
Toujours afin de respecter les critères de l'ACSM, la perception de la difficulté de l'effort a été évaluée tout au long de l'ÉEMCR en utilisant l'Échelle de BORG modifiée (CR10) et adaptée de Borg G. A. (voir annexe G). Cet outil de mesure comporte 12 niveaux entre 0 et 10 (0; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9 et 10) et utilise une échelle de type catégorie avec des propriétés de ratio (Category Ratio scale from 0 to 10 (CR-10)). L'outil de mesure a été expliqué aux participants avant l'ÉEMCR sur tapis roulant. Suite à l'ÉEMCR, une période de repos de 15 minutes a été allouée à chaque participant. Le montage expérimental est présenté à la Figure 6 et le déroulement de l'étude est illustré à la Figure 7.

Afin de documenter la validité de l'Hexoskin pendant des efforts effectués à des intensités sous maximales représentatives de celles observées pendant des activités occupationnelles (Brighenti-Zogg et al., 2016), le participant a ensuite effectué trois tests de marche à des efforts sous maximaux sur le tapis roulant : 1) marche de 3 minutes à intensité faible (20% du VO₂max); 2) marche de 3 minutes à intensité modérée (30% du VO₂max) et 3) marche de 3 minutes à intensité élevée (40% du VO₂max). Pour chaque participant, les % du VO₂max pour chaque intensité (faible, modérée et élevée) de même que la vitesse et l'inclinaison du tapis roulant qui sont requises pour atteindre ces % du VO₂max ont été déterminées à partir des données de leur ÉEMCR respectif. Une période de repos de 5 minutes a été allouée entre chaque test d'effort sous maximal.

Figure 5: Une participante qui effectue l'exercice du test épreuve d'effort maximale selon le protocole BSU/Bruce Ramp



Figure 6: Les étapes du déroulement de l'étude



4.6 Analyse statistique

Des statistiques descriptives (comme par exemple la tendance centrale et la dispersion) ont été utilisées pour décrire l'ensemble de l'échantillon.

Afin de décrire et de comparer deux séries de valeurs qui proviennent de deux instruments différents (Hexoskin et le gold standard), deux techniques d'analyse de données ont été utilisées : la régression linéaire et l'étude de concordance.

En effet, le point commun aux deux techniques que sont la régression linéaire et l'étude de concordance est d'utiliser deux séries de valeurs quantitatives pour étudier les relations qui existent entre elles. Ces deux techniques statistiques sont complémentaires et répondent à des objectifs différents (Journois, 2008).

- La corrélation : l'existence d'une relation de proportionnalité entre deux séries numériques sans une relation obligatoire de dimension ou d'unité. Elle permet de déterminer un jugement de signification statistique (Fuhrman et Chouaïd, 2004).
- La concordance : Elle renseigne sur l'écart de mesures entre deux séries de variables mesurées par deux instruments différents chez un même participant (Fuhrman et Chouaïd, 2004).

4.6.1. Des analyses statistiques de corrélation :

Afin de déterminer l'intensité, la forme et le sens de l'association entre les mesures de l'Hexoskin et celles de l'équipement de référence et documenter la variabilité, des analyses de corrélations ont été utilisées. Puisque les mesures cardiorespiratoires obtenues par l'Hexoskin et par l'équipement de référence sont des mesures numériques avec un $n \geq 30$. Le but de cette étude n'est pas de prédire une variable obtenue par l'Hexoskin à partir d'une variable obtenue par l'équipement de référence. Cela étant dit, la corrélation de Pearson est l'analyse statistique d'association appropriée pour cette étude.

4.6.2. Des analyses de la concordance entre deux instruments : graphique Bland-Altman

La corrélation de Pearson est une indication du degré de relation linéaire entre deux variables. Un coefficient de corrélation de Pearson élevé ne permet pas de valider les données obtenues par Hexoskin par rapport aux données obtenues par un matériel de référence. Une analyse de concordance Bland-Altman est nécessaire (Grenier, Dubreuil, et Journois, 2000). L'interprétation des résultats fournis par l'approche Bland-Altman demeure essentielle pour le clinicien. Il est normal d'observer des écarts entre deux séries de mesure d'une variable qui est mesurée par deux technologies différentes, car il n'y a pas de raison de s'attendre à une identité de valeur chez un sujet donné. L'étude de la concordance examine à quel point l'Hexoskin, étant une technologie différente du matériel de référence peut conduire à sur-estimer ou sous-estimer des résultats qui auraient été obtenus chez un individu donné avec le « gold standard », si ces phénomènes varient sur la gamme de mesure considérée.

Un graphique Bland-Altman consiste à produire en ordonnée, la différence entre les valeurs obtenues par le matériel de référence et l'Hexoskin (soit la différence Cosmed - Hexoskin) et en abscisse la moyenne des valeurs obtenues par les deux instruments (soit Cosmed + Hexoskin). La ligne du milieu est la moyenne des différences ou le biais. Elle indique si les deux instruments tendent à produire des valeurs systématiquement différentes.

Dans le cas d'une concordance parfaite des deux séries de mesures, la somme des différences arithmétiques entre les valeurs est nulle (biais = 0). Le biais représente la moyenne de l'écart systématique d'une série mesurée par un instrument par rapport à l'instrument à valider.

De même, un biais inférieur à 0 permet d'indiquer une sous-estimation des valeurs qui sont mesurées avec l'Hexoskin. Quand à un biais supérieur à 0, il indique une surestimation des mesures (Journois, 2008).

En d'autres termes, un biais qui est différent de 0 est expliqué par la présence d'un écart entre les mesures d'Hexoskin et les mesures de l'équipement de référence Cosmed. Toutefois, cet écart est quantifié numériquement par un calcul de l'erreur RMS.

4.6.3. Erreur quadratique moyenne RMS

La ligne de régression prédit la valeur Y moyenne associée à une valeur X donnée. Il est nécessaire d'obtenir une mesure de la répartition des valeurs y autour de cette moyenne grâce à l'erreur RMS. C'est une mesure statistique qui permet de déterminer l'écart entre les signaux obtenus par deux équipements de mesure en tenant compte des valeurs résiduelles. L'erreur RMS est exprimée par l'équation suivante :

$$\text{Erreur RMS} = \sqrt{1/n \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

L'erreur RMS détermine le degré d'acceptabilité clinique de l'écart qui peut exister entre le signal obtenu par l'Hexoskin par rapport à la référence (Cosmed) (Bussièrès et Hogg, 1989).

Chapitre 5 : Résultats

Les résultats de cette étude corrélationnelle seront présentés en trois sections. La première section présente les caractéristiques de l'ensemble des participants constituant l'échantillon. Puisque l'expérimentation s'est déroulée en deux étapes différentes, c'est-à-dire à deux intensités différentes d'effort physique, les résultats seront présentés en deux sections. Elles correspondent respectivement aux résultats d'épreuve d'effort maximal et aux résultats des épreuves d'effort sous-maximaux.

La collecte des données s'est déroulée du 23 août au 30 septembre 2016, au laboratoire du Pr Pierre Boulay, situé au Centre sportif du Campus principal – Université de Sherbrooke, local 321. Les analyses statistiques ont été réalisées avec le logiciel SPSS version 24. Une valeur de p inférieure à 0.05 a été considérée comme seuil de significativité

5.1. Caractéristiques des participants constituant l'échantillon

Trente participants ont accepté de participer à cette étude. Une participante a eu un incident la veille de l'expérimentation et elle n'a pu se présenter. Les données d'un participant de sexe masculin ont été éliminées en raison d'une mauvaise manipulation du système d'acquisition Hexoskin. De ce fait, l'échantillon est composé de 28 participants dont 10 de sexe féminin (âge moyen de 27 ans \pm 7,15) et 18 de sexe masculin (âge moyen de 27 ans \pm 7,25). Les participants ne présentaient aucune comorbidité et aucun ne prenait de médicaments pour le système cardiorespiratoire. Les participants pratiquaient une activité sportive au moins une fois par semaine.

Tous les participants ont complété la procédure expérimentale. Aucun changement au protocole expérimental n'est survenu pendant la collecte des données. Aucun malaise ou incident ne sont survenus lors de cette étude. Le tableau 3 présente les valeurs moyennes et l'écart type des caractéristiques cliniques des participants recueillies au début de l'expérimentation.

Tableau 3: Caractéristiques cliniques des participants

n = 28 (18 hommes + 10 Femmes)

Caractéristiques	Moyenne ± écart type
Âge (ans)	27 ± 7,14
Poids (kg)	73,12 ± 13,60
Taille (Cm)	172,76 ± 8,20
IMC(kg/m ²)	24 ± 3,43
FC Max (BPM)	193 ± 7,14
FC au repos (BPM)	71 ± 8,85
PA systolique (mm Hg)	121 ± 11,06
PA diastolique (mm Hg)	80 ± 11,25

*BPM : Battement par minute ; PA : Pression artérielle ; FC : Fréquence cardiaque ; IMC : Indice de masse corporel

5.2 Résultats des variables cardiorespiratoires mesurées lors de l'épreuve d'effort maximal

Cette première section des résultats des variables cardiorespiratoires présente les résultats des analyses de corrélation de Pearson et les erreurs RMS pour l'ensemble des participants (n=28) lors du protocole d'épreuve d'effort maximal de Bruce/Ramp. Ensuite, les résultats de concordance sont présentés sous forme de graphiques Bland-Altman. Pour alléger la présentation, nous présenterons les résultats pour un seul participant à titre d'exemple.

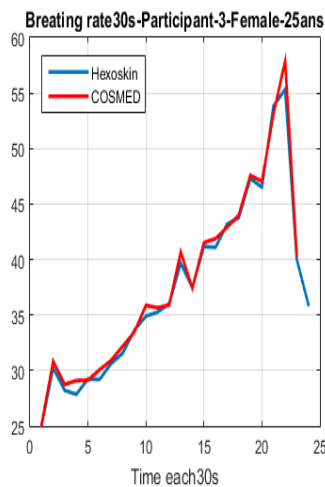
5.2.1 Résultats des analyses de corrélation et de l'erreur RMS pour les variables cardiorespiratoires mesurées lors de l'épreuve d'effort maximal

La Figure 8 représente la variation de la fréquence cardiaque (FC) (Figure 8a), de la fréquence respiratoire (FR) (Figure 8b) et de la ventilation (Figure 8c) en fonction du

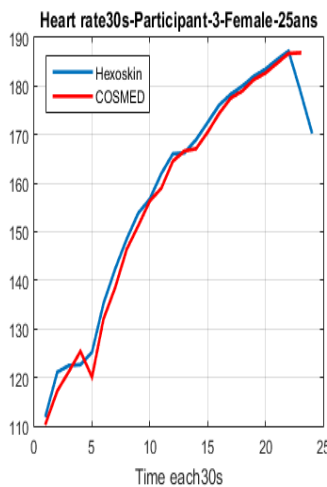
temps (s). Il est à noter que l'échelle de temps (axe des abscisses) est exprimée en un intervalle de 30s pour suivre les intervalles de variation de l'inclinaison et de la vitesse du protocole Bruce/Ram pendant laquelle a eu lieu la collecte des données. À première vue des graphiques, on observe des courbes qui ont tendance à être superposées. La courbe qui représente les données de l'Hexoskin (bleu) a la même intensité, la même forme et le même sens que la courbe qui représente les données de l'équipement de référence (rouge). Notez que le terme COSMED désigne l'équipement de référence. La fréquence cardiaque, la fréquence respiratoire et la ventilation augmentent de façon linéaire jusqu'à atteindre le VO₂max. Après que le VO₂max est atteint une baisse des valeurs de la FC, de la FR et de la ventilation est constaté. Cette baisse est normale, elle est expliquée par l'arrêt du protocole Bruce/Ramp et la fin de l'expérimentation (VO₂max atteint).

Figure 7: Exemple de présentation graphique des résultats du participant 03 pour la fréquence respiratoire (a), la fréquence cardiaque (b) et la ventilation (c) lors de l'épreuve d'effort maximale (30s). L'axe des abscisses représente le temps. L'axe des ordonnées représente la fréquence cardiaque en BPR, la fréquence respiratoire en respirations par minute (RPM) et la ventilation (ml.min⁻¹.kg¹). Chaque point représente la valeur moyenne des données enregistrées à toutes les 30 sec pendant la durée du test

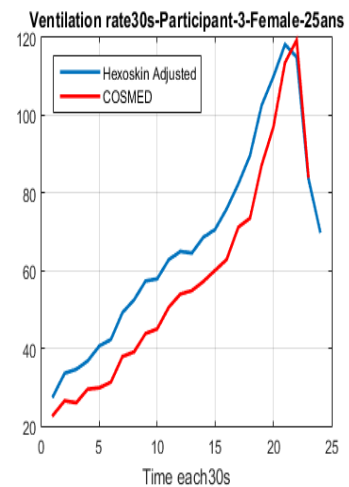
(a) Fréquence respiratoire



(b) Fréquence cardiaque



(c) Ventilation



*Les graphiques représentent les résultats de la participante 03 du sexe féminin âgée 25 ans, IMC= 20 (kg/m²), FC_(Max)= 196 BPM, FC_(repos)=73 BPM

Le tableau 4 présente les résultats de l'analyse de corrélation de Pearson, l'interprétation du coefficient de corrélation et l'erreur RMS. Un coefficient de corrélation supérieur à 0,6 indique une forte corrélation et une faible corrélation est expliquée par un coefficient de corrélation inférieur à 0,6.

Il ressort de l'ensemble du tableau 4 qu'il existe une forte corrélation entre la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire qui sont mesurés par l'Hexoskin et l'équipement de référence simultanément. En effet, le coefficient de corrélation de Pearson pour ces deux paramètres varie entre 0,97 et 0,99. Cela est en accord avec les résultats de l'analyse visuelle des graphiques (voir l'exemple pour le participant 3 au graphique 1,) où les courbes Cosmed/ Hexoskin ont la même intensité, le même sens et la même forme.

Pour la ventilation, le coefficient de corrélation de Pearson obtenue varie entre 0,16 et 0,36 et ceci démontre clairement une absence de corrélation entre les deux équipements de mesures.

En ce qui concerne l'erreur RMS, le tableau 4 montre que pour les paramètres fréquence cardiaque et fréquence respiratoire, l'erreur RMS est faible. C'est-à-dire que la distance entre les deux courbes Cosmed et Hexoskin est petite (voir figure 8). En effet, plus que cette distance est petite, plus que l'erreur RMS tend vers le 0. Quant à la ventilation, l'erreur RMS est élevée ($0,89 \pm 0,35$) ce qui concorde avec les résultats de la corrélation de Pearson qui est faible pour l'ensemble des participants (tableau 4). À première vue, des courbes de la ventilation (figure 8 c) on peut dire qu'il y a une forte corrélation entre les mesures obtenues par Cosmed et celles obtenues par l'Hexoskin. En analysant les courbe de plus près, on peut dire qu'il existe une « fausse corrélation » (voir annexe G) et qu'on ne peut pas se baser sur ces graphiques, autant que clinicien, pour faire une interprétation clinique.

Tableau 4: Résultats des analyses de la corrélation de Pearson et RMS d'épreuve d'effort maximale (20s) n=28

Paramètres	Corrélation (<i>r</i> Pearson)	Interprétation	RMS
FC (BPM)	0,97-0,99	Forte	0,05±0,02
FR (RPM)	0,89-0,99	Forte	0,07±0,03
Ventilation ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$)	0,16-0,37	Faible	0,89±0,35

*R (Pearson) : Coefficient de corrélation de Pearson ; FC : Fréquence cardiaque ; FR : Fréquence respiratoire

5.2.2 Résultats des analyses de concordance – Graphique de Band-Altman - pour variables cardiorespiratoires mesurée lors de l'effort maximum

Les analyses de corrélation démontrent qu'il n'existe aucune relation linéaire entre les mesures de la ventilation obtenues par Cosmed et celles obtenues par l'Hexoskin. Pour cette raison il n'y a pas d'intérêt de réaliser des analyses de concordance - Graphiques de Bland Altman pour le paramètre ventilation pour le test épreuve d'effort maximale.

Afin d'alléger cette section, les graphiques de Bland-Altman seront représentés uniquement pour un seul participant. De fait, pour un échantillon de 28 participants, 56 graphique de Bland-Altman doivent être présentés (1 graphiques par participant (FC, FR) x 28 participants = 56 Graphiques Bland-Altman).

Le graphique de Bland- Altman comporte en ordonnée la différence entre les valeurs obtenues par l'Hexoskin et Cosmed soit (Cosmed - Hexoskin) et en abscisse la moyenne obtenue par les deux instruments soit (Cosmed + Hexoskine)/2.

La moyenne des différences, soit la distance d (ou encore le biais), nous indique si l'Hexoskin tend à produire des valeurs systématiquement plus basses ou plus élevées que

l'équipement de référence. Les figures 8 et 9 représentent l'ensemble du signal obtenu par l'Hexoskin et l'équipement de référence du début de l'expérimentation jusqu'à la fin, qui est représentée par le point qui correspond à l'atteinte du VO₂max. Pour la fréquence cardiaque, nous observons que $d = -0,75$ (95% limites d'agrément de -4 à 2) ; Pour la fréquence respiratoire, nous observons que $d = 0,5$ (95% limites d'agrément de -2,75 à 7,5). Nous remarquons que généralement, l'Hexoskin tend à produire des valeurs un peu plus petites que l'équipement de référence pour la fréquence cardiaque (Figure 9). Par contre, l'Hexoskin tend à surestimer les mesures de fréquence cardiaque par rapport au Cosmed (Figure 10). Cependant, il faut se questionner si -0,75 et 0,5 sont des différences significatives cliniquement. Effectivement, la plupart des points (28 signaux de fréquence cardiaque et 28 signaux de fréquence respiratoire correspondant chacun à un participant) se situent dans l'intervalle donné par les limites d'agrément ($d \pm 2$ écart type), la dispersion des 28 points est constante autour du biais. Finalement, les limites plus étroites pour les deux paramètres qui sont la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire traduisent une meilleure concordance entre les deux instruments (Hexoskin par rapport au Cosmed). Alors, on peut supposer que les biais sont acceptables cliniquement.

Figure 8: Présentation des graphiques de Bland-Altman pour les résultats de l'ensemble des participants pour la fréquence cardiaque lors d'épreuve d'effort maximale (20s)

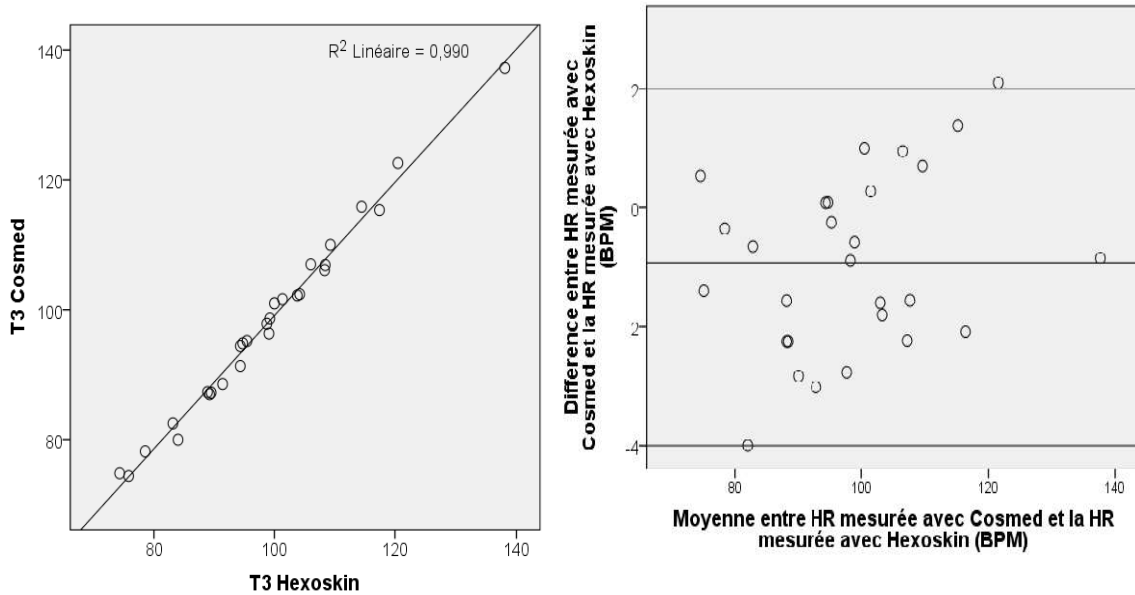
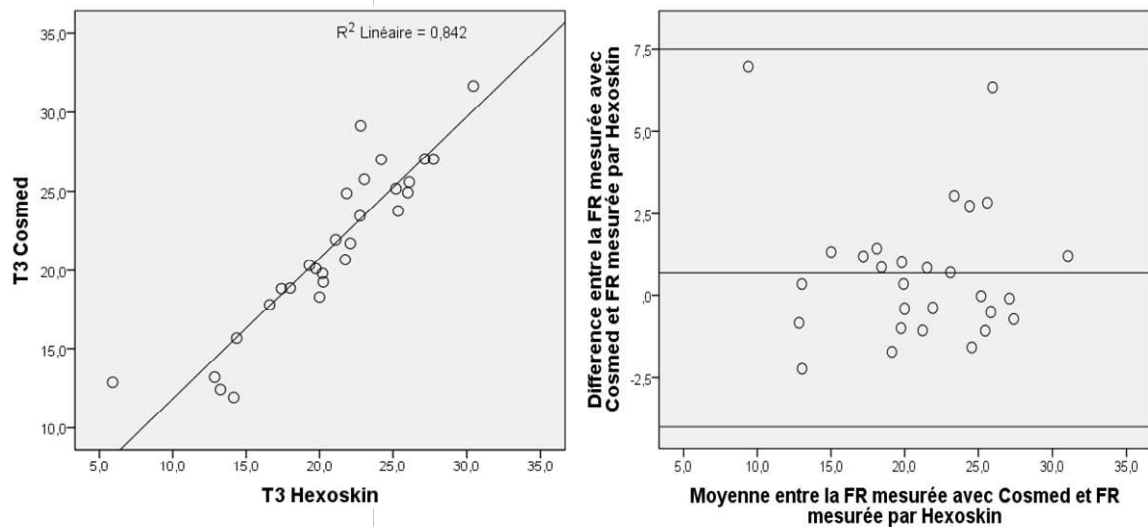


Figure 9 : Présentation des graphiques Bland-Altman pour les résultats de l'ensemble des participants pour la fréquence respiratoire lors d'épreuve d'effort maximale (20s)



5.3 Résultats des variables cardiorespiratoires mesurées lors des épreuves d'efforts sous-maximaux

Cette section présente les résultats des épreuves d'efforts sous maximaux pour les 3 paramètres cardiorespiratoires d'intérêt (fréquence cardiaque, fréquence respiratoire et ventilation). Des analyses de corrélation de Pearson et des erreurs RMS ont été effectuées à 4 intensités d'effort sous maximal soit à 2 Mets, 3 Mets, 4 Mets et 6 Mets. Les analyses ont été réalisées pour les 2 dernières minutes pour chacune de ces intensités. Ensuite, des analyses de concordance sous forme de graphiques de Bland-Altman clôtureront cette section.

À noter, que les mesures des trois paramètres cardiorespiratoires du participant 6 n'étaient pas complètes pour les données Hexoskin. Ce qui a nécessité la suppression de ses données.

a) Fréquence cardiaque

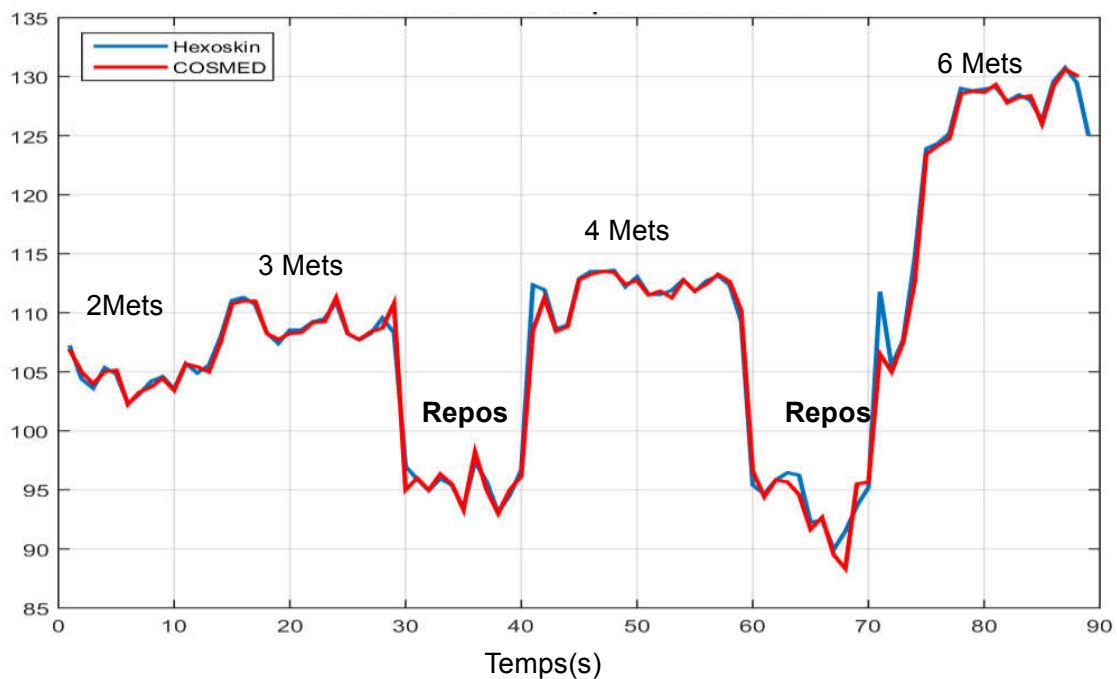
Le tableau 5 résume les résultats des analyses de corrélation de Pearson pour la fréquence cardiaque chez 26 participants. Il existe une forte corrélation entre les mesures de la fréquence cardiaque obtenue par l'Hexoskin et celle obtenue par Cosmed (r Pearson = 0,99) pour les 4 intensités d'effort physique.

Toujours dans le même tableau, l'erreur RMS est très faible allant de 0,02 à 0,04. Ce qui explique, entre autres, la distance entre la courbe Hexoskin et la courbe Cosmed qui est presque nulle et l'allure des deux courbes (Hexoskin - Cosmed) qui sont superposées. Notez bien que la figure 11 est un exemple des données enregistrées chez le participant 2. C'est un exemple typique des courbes obtenues chez les 26 autres participants.

Tableau 5: Résultats de la fréquence cardiaque lors d'épreuves d'effort sous maximaux (n=27). Les données des deux dernières minutes ont été considérées dans les analyses

	2Mets	3 Mets	4Mets	6 Mets
r (Pearson)	0,99	0,99	0,99	0,99
Interprétation	Forte	Forte	Forte	Forte
Erreur RMS	0,03 ± 0,003	0,04 ± 0,017	0,02 ± 0,015	0,03 ± 0,005

Figure 10: Présentation graphique des résultats du participant 02 pour la fréquence cardiaque lors d'épreuves d'effort sous-maximaux.



*Participant 02 : Homme âgé 24 ans, IMC= 24 (kg/m²), FC(Max)= 196 BPM, FC(repos)=75 BPM

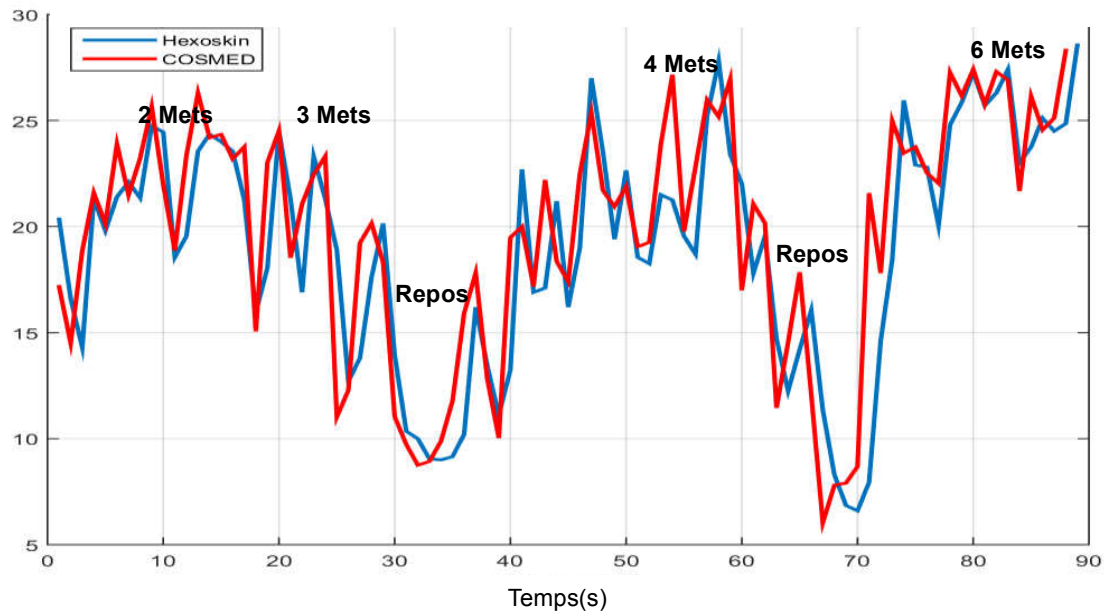
b) Fréquence respiratoire

À première vue, les signaux enregistrés par les deux instruments pour la fréquence respiratoire ne semblent pas aussi net que ceux obtenus pour la mesure de la fréquence cardiaque. En analysant en détail les différentes parties du signal des deux courbes provenant de Hexoskin et Cosmed, on constate tout de même les différentes parties de l'expérimentation soit : 2 Mets, 3Mets, 4Mets et 6Mets ainsi que les deux périodes de repos. Les deux courbes ont des allures semblable (sens, intensité). Les résultats présentés sur le tableau 6 confirment l'allure des deux courbes qui ont tendance à se superposer. En effet, le coefficient de corrélation qui varie entre 0,98 à 0,99 confirme une forte corrélation entre le signal obtenu par Hexoskin et celui obtenu par Cosmed. La distance entre les deux signaux est faible tel que confirmé par les valeurs RMS 0,03 et 0,09.

Tableau 6: Résultats de la fréquence respiratoire (FR) d'épreuves d'efforts sous maximaux (n=27). Les données des deux dernières minutes ont été considérées dans les analyses

	2Mets	3 Mets	4Mets	6 Mets
<i>r</i> (Pearson)	0,98	0,99	0,99	0,98
Interprétation	Forte	Forte	Forte	Forte
Erreur RMS	0,09 ± 0,003	0,06 ± 0,003	0,03 ± 0,008	0,04 ± 0,006

Figure 11:Présentation graphique des résultats du participant 02 pour la fréquence respiratoire lors d'épreuves d'effort sous-maximaux.



c) La ventilation

Le tableau 7 résume les résultats obtenus pour le 3^e paramètre cardiorespiratoire la ventilation. Nous remarquons une faible corrélation (allant de 0,43 à 0,55) et une grande erreur RMS entre le signal obtenu par l'Hexoskin et Cosmed pour les 4 intensités d'effort physique.

Tableau 7: Résultats de la ventilation lors d'épreuves d'efforts sous maximaux (n=27). Les données des deux dernières minutes ont été considérées dans les analyses

	2Mets	3 Mets	4Mets	6 Mets
r (Pearson)	0,55	0,48	0,45	0,43
Interprétation	Faible	Faible	Faible	Faible
Erreur RMS	0,38±0,02	0,43±0,04	0,52±0,03	0,62±0,03

5.4 Résultats des analyses de concordance – Graphique de Bland-Altman pour variables cardiorespiratoires mesurées lors de l'épreuves d'efforts sous-maximaux

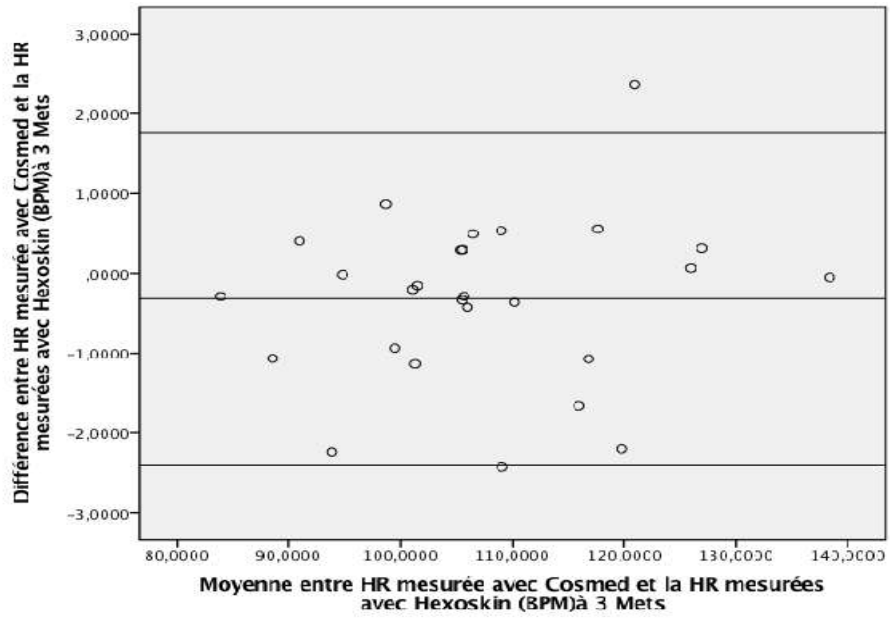
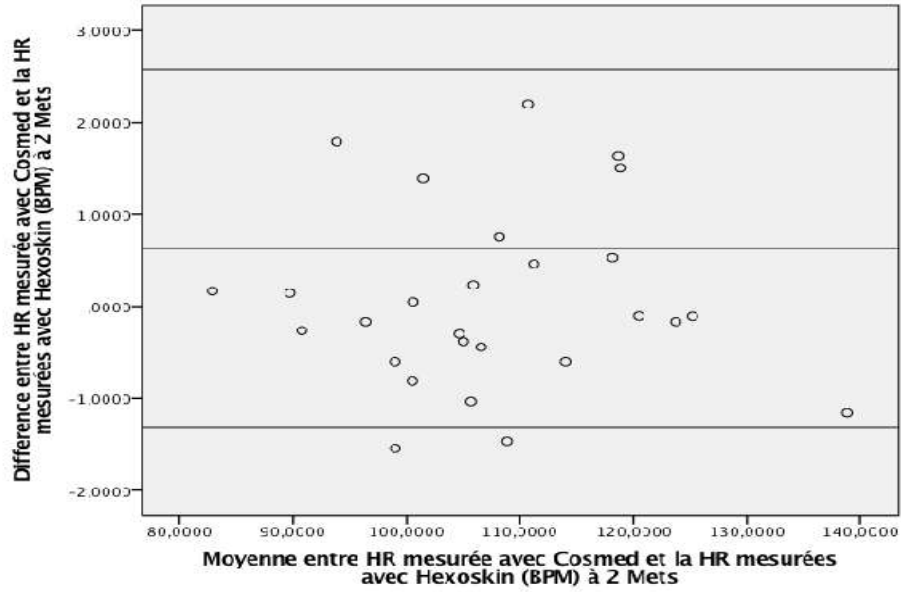
Dans les deux prochaines sections, nous présentons les résultats de la fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire. Pour la ventilation, nous n'avons pas réalisé une étude de concordance puisqu'elle n'est pas pertinente en présence d'une faible corrélation.

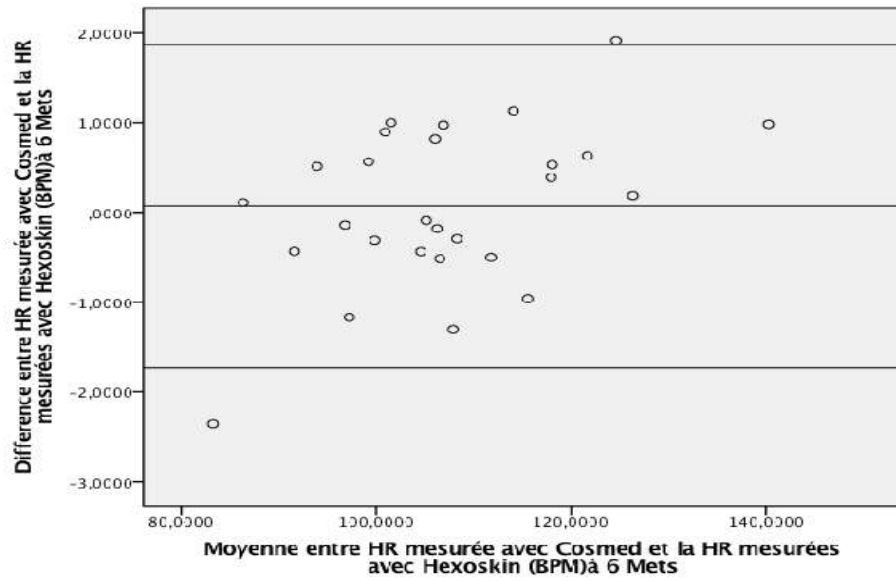
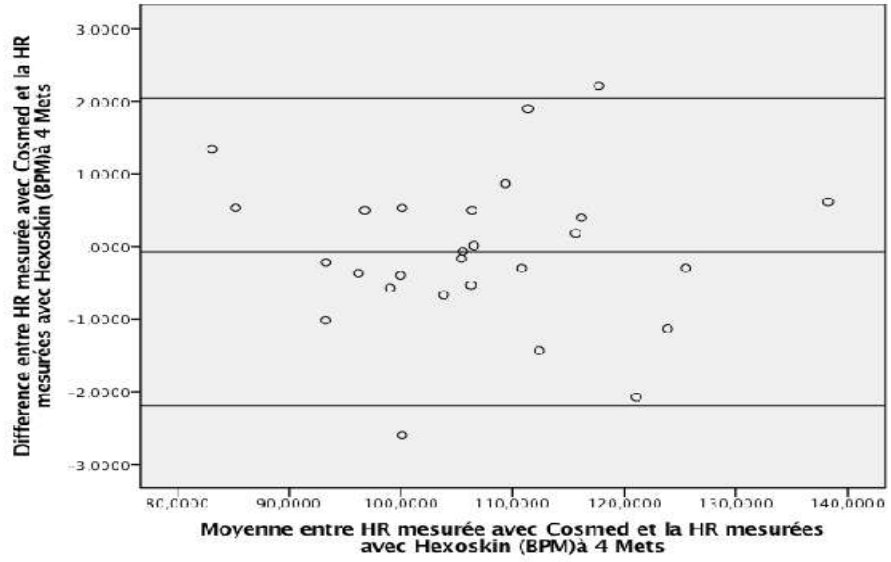
5.4.1 Résultats des analyses de concordance – Graphique Bland-Altman pour la fréquence cardiaque mesurée lors de d'épreuves d'effort sous-maximaux

L'analyse visuelle des graphiques de la Figure 13 démontre une parfaite concordance pour la fréquence cardiaque mesurées par l'Hexoskin et par Cosmed aux deux niveaux d'intensités les plus élevées soit 4 et 6 Mets. L'Hexoskin a tendance à surestimer la fréquence cardiaque à l'intensité 2 Mets et à sous-estimer la fréquence cardiaque à 3 Mets.

Figure 12: Présentation des graphiques de Bland-Altman pour les résultats de l'ensemble des participants pour la fréquence cardiaque à 2, 3, 4 et 6 Mets

n=27

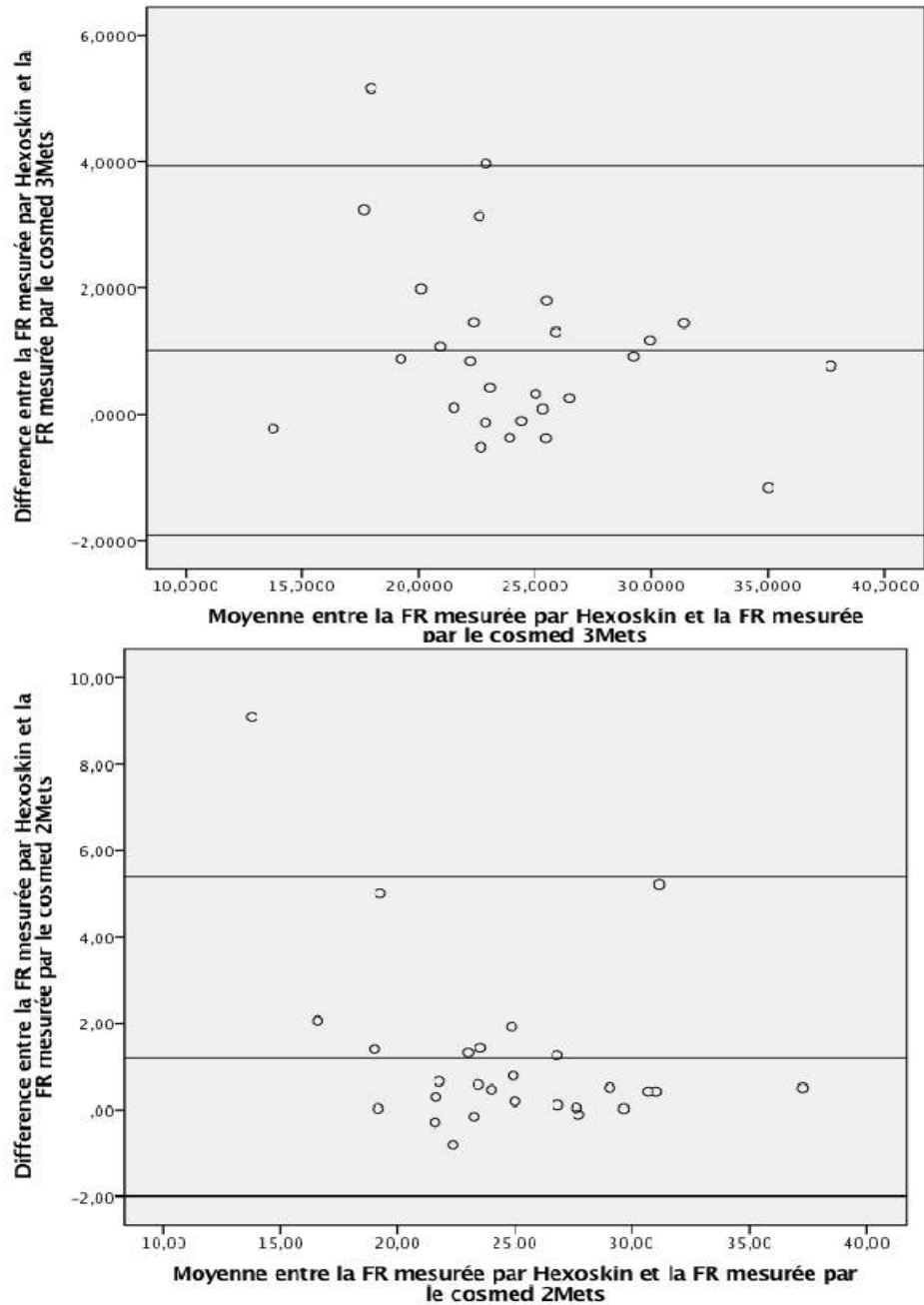


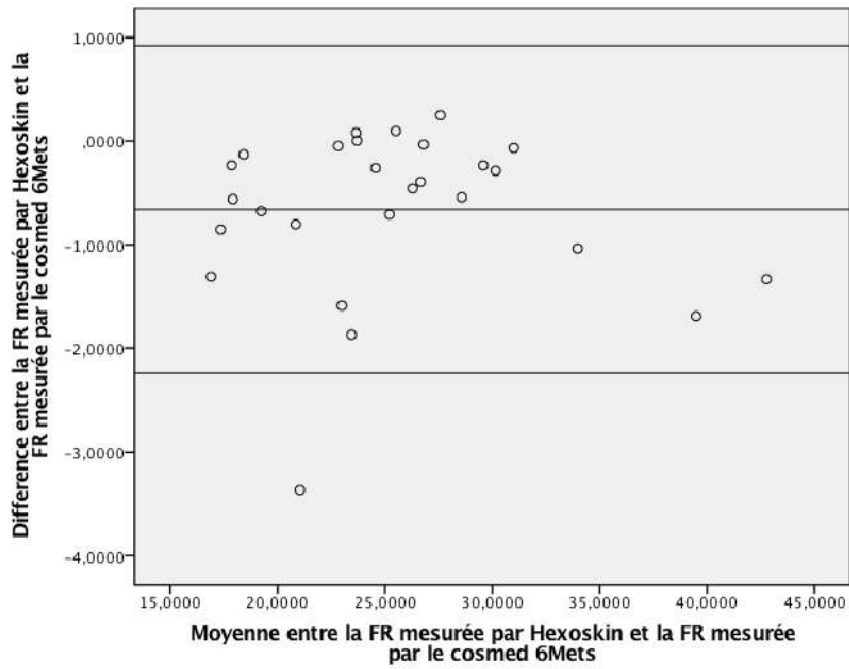
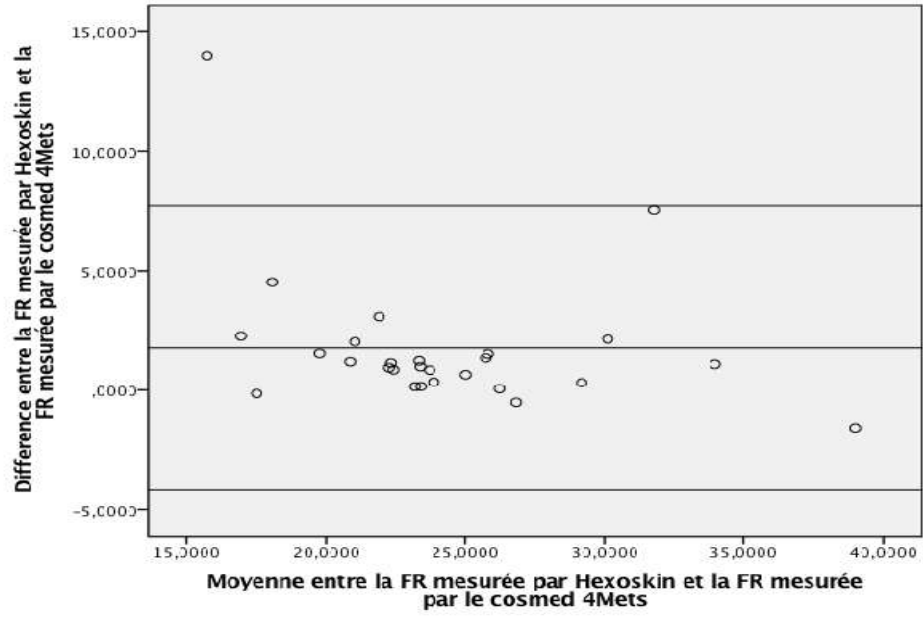


5.4.2 Résultats des analyses de concordance – Graphique de Bland-Altman pour la fréquence respiratoire mesurée lors des épreuves d'effort sous-maximaux

L'Hexoskin a tendance de surestimer la fréquence respiratoire par rapport à l'équipement de référence Cosmed. Ce résultat est valable pour les intensités 2, 3 et 4 Mets chez les 27 participants. À un effort d'intensité de 6 Mets, l'Hexoskin sous-estime la fréquence respiratoire pour l'ensemble des participants.

Figure 13: Présentation des graphiques Bland-Altman pour les résultats de l'ensemble des participants pour la fréquence respiratoire à 2, 3, 4 et 6 Mets





Chapitre 6 : Discussion

Ce chapitre reprend l'ensemble des résultats en les interprétant à la lumière de la recension des écrits et de l'hypothèse de recherche de l'étude. Cette dernière était que certains paramètres comme les fréquences cardiaque et respiratoire, qui proviennent de mesures directes, seront fortement corrélées ($r > 0.6$) et que la relation sera linéaire et positive. D'autres paramètres provenant d'estimations pourraient présenter une relation dont l'intensité, la forme et le sens restent à déterminer. Ainsi, les premières parties de ce chapitre discuteront des résultats en fonction de chacun des objectifs spécifiques de l'étude. Suivra ensuite une discussion plus générale portant sur l'ensemble des résultats. Puis, nous soulignerons les forces et les faiblesses de l'étude, pour terminer avec les retombées, les recommandations et les pistes de recherche à réaliser dans le futur.

6.1 Retour sur les résultats

Cette étude nous a permis de constater qu'il existe une forte corrélation (r allant 0,97 à 0,99) pour les mesures de la fréquence cardiaque et de la fréquence respiratoire pour le test épreuve d'effort maximal et les épreuves d'efforts sous maximaux. Ces résultats répondent aux objectifs spécifiques 1 et 3 de ce mémoire. Les résultats de cette étude sont en accord avec l'étude de Villar et al. (2015). Ils ont eu une forte corrélation entre les paramètres étudiés, bien qu'ils aient adopté une méthodologie qui est différente. De fait, ces auteurs ont mesuré les capacités cardiorespiratoires lors de différentes postures statiques représentant des efforts sous maximaux. Ces efforts sous maximaux ne sont pas représentatifs d'activités fonctionnelles dynamique comme la marche.

L'étude récente de Beltrame et al. (2017), vient aussi confirmer la présence d'une forte corrélation entre les paramètres cardiorespiratoires (fréquence cardiaque, fréquence respiratoire et la ventilation) obtenue par l'Hexoskin et celle obtenues par un équipement de référence Cosmed (même procédure et même équipement que celui utilisé pour notre étude, mais les objectifs sont différents). Ces auteurs ont toutefois établi une corrélation entre le $VO_2\max$ prédit par l'Hexoskine et le $VO_2\max$ mesuré par l'équipement de

référence. Notons que Beltrame et al. ont utilisé les paramètres cardiorespiratoires pour caractériser et prédire le VO₂max. Bien qu'on puisse présumer la présence de corrélation entre la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire dans leur étude, on ne peut toutefois en être certains.

Les résultats démontrent clairement une absence de corrélation pour les mesures de la ventilation et ce, pour les cinq intensités d'effort physique de cette étude, c'est-à-dire l'épreuve d'effort maximal et les épreuves d'efforts sous maximaux. Rappelons que l'acquisition des données de la ventilation ne se fait pas de façon directe par l'Hexoskin. Le fabricant d'Hexoskin (Carré technologie INC) a développé une équation et des algorithmes qui génèrent ou estiment les valeurs de la ventilation de façon indirecte. Lors de cette étude, nous n'avons pu obtenir l'équation exacte développée par le fabricant. Par contre, on nous a informé que le poids est la seule variable physiologique utilisée pour caractériser un utilisateur d'Hexoskin, sans prendre en considération d'autres variables qui sont importantes pour déterminer une ventilation. En effet, le poids n'est pas suffisant pour déterminer si la personne est obèse ou pas. Il y a aussi le paramètre taille et l'IMC entre autres. Lorsqu'on mesure la ventilation avec l'Hexoskin, l'équation tient compte uniquement du poids du participant sans prendre en considération les autres paramètres tel que IMC. Donc quelqu'un qui a un poids égale à 90 kg est considéré comme obèse (par l'Hexoskin). Toutefois, si sa taille est égale à 180 cm, l'IMC est égale à 27 kg/m² et on ne peut considérer cette personne comme étant obèse. Donc l'IMC est un meilleur indice que le poids seule. De plus, Marchand (2007) rajoute qu'un IMC supérieur à 30 est associé à une baisse de l'élasticité des poumons et de la paroi thoracique. Elle est liée aussi à une diminution importante de la ventilation pulmonaire (Marchand, E. 2007) (Taillé, C. 2008). Il serait donc pertinent d'avoir une mesure plus juste de l'obésité et d'intégrer cette mesure dans l'équation estimant la ventilation. Ainsi, notre hypothèse que la corrélation serait plus forte pour les mesures directes provenant de signaux enregistrés par les capteurs que pour celles dérivées d'estimations à partir d'équations est confirmée.

Les résultats de la concordance démontrent que l'Hexoskin surestime et parfois sous-estime les valeurs de de la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire. Cela peut être

expliqué par la conception des deux systèmes (équipement de référence/ Hexoskin) qui est différentes et du fait que ce sont deux technologies différentes. La différence entre le modèle des T-shirt Hexoskin pour femme et celui pour homme peut être une piste à exploré par des études scientifiques dans le futur.

L'objectif 2 de ce mémoire était de déterminer l'écart entre le signal obtenu par l'Hexoskin et le signal obtenu par l'équipement de référence, ce que nous avons vérifié. En effet, un faible RMS observé pour la fréquence cardiaque et pour la fréquence respiratoire est expliqué par un écart/distance entre les valeurs mesurées avec l'Hexoskin et l'équipement de référence. Pour notre étude cet écart est petit c'est pour cela que les deux signaux sont superposés. Quant à la ventilation, le grand écart RMS observé pour la ventilation est possiblement expliqué par les méthodes (équations) utilisées pour estimer ce paramètre et d'autres études sont nécessaires pour expliquer les résultats obtenus pour la ventilation.

6.2 Forces et limites

6.2.1 Forces de l'étude

Il s'agit de la première étude qui contraste les données de la fonction cardiorespiratoire obtenues avec l'Hexoskin avec celles que procure l'équipement de référence lors d'une épreuve d'effort maximale effectuée selon une procédure validée et rigoureuse. En effet, Beltrame et collabateurs recommandent l'utilisation de protocole préétablie pour des études de validation de l'Hexoskin et aussi, d'explorer la fiabilité des algorithmes utilisé pour ce textile intelligent à des efforts physiques intenses. Notre étude s'est également intéressée à la mesure de la fonction cardiorespiratoire lors d'épreuves d'effort sous maximaux reflétant les efforts déployés lors d'une des plus importantes activités fonctionnelles de l'humain, soit la marche. Ce mémoire contribue donc au développement de nouvelles connaissances.

Cette étude constitue un bel exemple de collaboration entre les membres d'une équipe de recherche multidisciplinaire. Ceci a donné lieu à des échanges et à une communication entre les ingénieurs et les cliniciens, ce qui n'était pas le cas de la majorité des études

réalisé avec l'Hexoskin. Cette collaboration favorisera une interprétation clinique des résultats statistiques afin d'établir un profil personnalisé en temps réel pour chaque patient ce qui permet donc l'utilisation du vêtement en clinique. On a pu répondre à certaines questions qui n'étaient pas documenté par le fabricant d'Hexoskin. Parmi ces questions si la conception et la différence entre Hexoskin pour femme donnera des mesures différentes à l'Hexoskin pour homme. Dans le cadre de cette étude, on n'a pas constaté une différence entre les mesures avec Hexoskin (femme) et Hexoskin (homme). D'autres études pourront explorer ce point.

6.2.2 Limitations

Les critères d'inclusion/exclusion de l'étude ont été établis pour obtenir un échantillon homogène composé de participants plutôt jeunes et sportifs. Bien que ceci appuie la validité interne, les résultats de cette étude ne sont pas extrapolables à une population plus générale comprenant des participants plus âgés, sédentaires ou de morphologies différentes. D'ailleurs, cette limite est présente dans toutes les études sur l'Hexoskin, qu'il s'agisse des études techniques ou de celles plus clinique de Villar et collaborateurs et de Beltrame et collaborateur. Les résultats ne peuvent également être extrapolés à une population présentant un pathologie cardiaque ou respiratoire. De plus, l'étude a été réalisée avec un protocole préétabli avec des règles strictes de laboratoire. On ne peut donc extrapoler ces résultats à un contexte de mesure sur le terrain. La validité écologique reste donc à être établie en prenant des mesures en continue chez des personnes sur leur lieu de travail par exemple.

6.3 Retombées et pistes de recherche

6.3.1 Retombées anticipées et pistes de recherche

Sur le plan clinique, ce projet constitue une première étape vers l'utilisation de l'Hexoskin en clinique. Une fois qu'il sera validé auprès de populations pathologiques, les résultats obtenus permettront de répondre à plusieurs questions des cliniciens qui ont l'intention d'intégrer l'Hexoskin dans le suivi de leurs patients. Jusqu'à présent, les utilisateurs d'Hexoskin sont principalement des sportifs de haut niveau. Cette étude permettra d'élargir les spectres d'utilisation de ce textile dans différents contextes. Par

exemple, l'Hexoskin pourrait être utilisé dans un environnement de travail pénible afin de documenter l'effet d'un tel environnement sur la santé cardiorespiratoire. Il existe peu de données objectives et aucune valeur de référence établie pour évaluer si, quand et comment un retour au travail est possible pour un patient atteint de cardiopathie ou de problème respiratoire.

Au moment de la réalisation de cette étude, des algorithmes ont été développés pour essayer de comprendre l'origine des écarts observés entre les mesures de la ventilation. Ces algorithmes vont contribuer à la diminution des écarts entre les mesures de la ventilation obtenue par l'Hexoskin.

Conclusion

Le suivi d'une personne qui est sous contrainte physique peut causer des pathologies cardiorespiratoires. La prise en charge de cette personne nécessite le dosage de l'effort physique puis un contrôle permanent, en temps réel de la fonction cardiorespiratoire par les cliniciens. En réalité, C'est un grand problème qu'il faut faire face tous les jours. Grâce aux nouvelles technologies portatives comme l'Hexoskin, le suivi cardiorespiratoire de ces personnes est faisable. Les résultats de la présente étude semblent indiquer que l'Hexoskin donne les mêmes mesures de la fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire qu'un équipement de référence chez les cliniciens. Cette étude a permis aussi, de dévoiler une limite d'Hexoskin, puisqu'on a trouvé qu'il existe des écarts importants entre les mesures de la ventilation obtenues par l'Hexoskin et celles obtenues par l'équipement de référence. Un traitement du signal est nécessaire, pour vérifier la nature de l'écart entre les mesures obtenues par l'équipement de référence et l'Hexoskin.

References

1. ACSM's Health/Fitness Facility Standards and Guidelines-4th Edition - American College of Sports Medicine. (2010, novembre 20). Consulté 3 mai 2017, à l'adresse <http://www.humankinetics.com/products/all-products/acsm-healthfitness-facility-standards-and-guidelines-4th-edition>
2. Akintola, A. A., van de Pol, V., Bimmel, D., Maan, A. C., & van Heemst, D. (2016). Comparative Analysis of the Equivital EQ02 Lifemonitor with Holter Ambulatory ECG Device for Continuous Measurement of ECG, Heart Rate, and Heart Rate Variability: A Validation Study for Precision and Accuracy. *Frontiers in Physiology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fphys.2016.00391>
3. Bachur, J. A., Garcia, S. B., Vannucchi, H., Jordao, A. A., Chiarello, P. G., & Zucoloto, S. (2007). Anti-oxidative systems in rat skeletal muscle after acute physical exercise. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(2), 190-196. <https://doi.org/10.1139/h06-078>
4. Beltrame, T., Amelard, R., Wong, A., & Hughson, R. L. (2017). Prediction of oxygen uptake dynamics by machine learning analysis of wearable sensors during activities of daily living. *Scientific Reports*, 7. <https://doi.org/10.1038/srep45738>
5. Booth, F. W., & Thomason, D. B. (1991). Molecular and cellular adaptation of muscle in response to exercise: perspectives of various models. *Physiological Reviews*, 71(2), 541-585.
6. Bosomworth, N. J. (2015). Fibrillation auriculaire et activité physique. *Canadian Family Physician*, 61(12), e542-e552.
7. Bot, S. D. M., & Hollander, A. P. (2002). Chapter 23: The relationship between heart rate and oxygen uptake during non-steady state exercise. Dans *Advances in Sport, Leisure & Ergonomics* (p. 275-289). Consulté à l'adresse <http://ezproxy.usherbrooke.ca/login?url=https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=s3h&AN=16735493&lang=fr&site=eds-live>
8. Brighenti-Zogg, S., Mundwiler, J., Schüpbach, U., Dieterle, T., Wolfer, D. P., Leuppi, J. D., & Miedinger, D. (2016). Physical Workload and Work Capacity across Occupational Groups. *PLOS ONE*, 11(5), e0154073.

- <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154073>
9. Bussi eres, N., & Hogg, W. (1989). The objective analysis of daily rainfall by distance weighting schemes on a Mesoscale grid. *Atmosphere-Ocean*, 27(3), 521-541. <https://doi.org/10.1080/07055900.1989.9649350>
 10. Carola, R., Harley, J. P., & Noback, C. R. (1990). Human anatomy and physiology. McGraw-Hill Companies.
 11. Fuhrman, C., & Chouaïd, C. (2004). Concordance de deux variables : les approches numériques. *Revue des Maladies Respiratoires*, 21(1), 123-125. [https://doi.org/10.1016/S0761-8425\(04\)71242-5](https://doi.org/10.1016/S0761-8425(04)71242-5)
 12. Gouvernement du Canada, A. de la santé publique du C. (2011, janvier 20). Activité physique - Modes de vie sains - Agence de la santé publique du Canada. Consulté 17 avril 2017, à l'adresse <http://www.phac-aspc.gc.ca/hp-ps/hl-mvs/pa-ap/index-fra.php>
 13. Grenier, B., Dubreuil, M., & Journois, D. (2000). Comparaison de deux méthodes de mesure d'une même grandeur : méthode de Bland et Altman. *Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation*, 19(2), 128-135. [https://doi.org/10.1016/S0750-7658\(00\)00109-X](https://doi.org/10.1016/S0750-7658(00)00109-X)
 14. inc (Hexoskin), C. T. (s. d.). Hexoskin Smart Shirts - Cardiac, Respiratory, Sleep & Activity Metrics. Consulté 12 juillet 2017, à l'adresse <https://www.hexoskin.com/>
 15. J, K., & T, V. (1988). Heart rate and exercise intensity during sports activities. Practical application. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 5(5), 303-311. <https://doi.org/10.2165/00007256-198805050-00002>
 16. Journois, D. (2008). Concordance de deux variables : l'approche graphique. */data/revues/07618425/00210001/127/*. Consulté à l'adresse <http://www.em-consulte.com/en/article/144170>
 17. Kaminsky, L. A., & Whaley, M. H. (1998). Evaluation of a new standardized ramp protocol: the BSU/Bruce Ramp protocol. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, 18(6), 438-444.
 18. Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2007). Human anatomy & physiology. Pearson Education.

19. Miller, R., & Brown, W. (2004). Steps and sitting in a working population. *International Journal of Behavioral Medicine*, 11(4), 219-224.
https://doi.org/10.1207/s15327558ijbm1104_5
20. MONOD, P. H. (1967). La Validité des Mesures de Frequence Cardiaque en Ergonomie. *Ergonomics*, 10(5), 485-537.
<https://doi.org/10.1080/00140136708930906>
21. Physical Activity and Public Health -- Recom. from CDC & ACSM. Consulté 4 septembre 2017, à l'adresse
<https://wonder.cdc.gov/wonder/prevguid/p0000391/P0000391.asp>
22. Powierza, C. S., Clark, M. D., Hughes, J. M., Carneiro, K. A., & Mihalik, J. P. (2017). Validation of a Self-Monitoring Tool for Use in Exercise Therapy. *PM&R*. <https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2017.03.012>
23. Rienzo, M. D., Rizzo, F., Parati, G., Brambilla, G., Ferratini, M., & Castiglioni, P. (2005). MagIC System: a New Textile-Based Wearable Device for Biological Signal Monitoring. Applicability in Daily Life and Clinical Setting. Dans 2005 *IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference* (p. 7167-7169). <https://doi.org/10.1109/IEMBS.2005.1616161>
24. Su, L., Borov, S., & Zrenner, B. (2013). 12-lead Holter electrocardiography. *Herzschrittmachertherapie + Elektrophysiologie*, 24(2), 92-96.
<https://doi.org/10.1007/s00399-013-0268-4>
25. Thorp, A. A., Healy, G. N., Winkler, E., Clark, B. K., Gardiner, P. A., Owen, N., & Dunstan, D. W. (2012). Prolonged sedentary time and physical activity in workplace and non-work contexts: a cross-sectional study of office, customer service and call centre employees. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 9, 128. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-9-128>
26. Tully, M. A., McBride, C., Heron, L., & Hunter, R. F. (2014). The validation of Fitbit Zip™ physical activity monitor as a measure of free-living physical activity. *BMC Research Notes*, 7, 952. <https://doi.org/10.1186/1756-0500-7-952>
27. Villar, R., Beltrame, T., & Hughson, R. L. (2015). Validation of the Hexoskin wearable vest during lying, sitting, standing, and walking activities. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(10), 1019-1024. <https://doi.org/10.11>

Annexes

Annexe A1 : Recommandations générales à suivre par les participants avant le test d'ÉEMCR, selon l'ACSM **Instructions aux participants**

Voici une liste de recommandations que vous devriez respecter avant le test sur tapis roulant :

1.	S'abstenir d'ingérer de la nourriture (au besoin, une quantité minimale), de l'alcool ou de la caféine ou d'utiliser des produits du tabac dans les 3 heures avant le test.
2.	Être reposé pour le test, c'est-à-dire, éviter des efforts physiques significatifs ou faire de l'exercice 48 heures avant le test.
3.	Porter des vêtements ne limitant pas les mouvements et des souliers de marche ou de course. Les femmes devraient porter une blouse ample à manches courtes, qui se boutonne à l'avant, et devraient éviter de porter des sous-vêtements restrictifs.
4.	Le test peut vous fatiguer. Vous aurez peut-être besoin de quelqu'un ou d'un moyen de transport alternatif (ex : taxi), pour vous reconduire à la maison.
5.	S'assurer d'être bien hydraté dans les 24 heures précédant le test pour s'assurer d'être bien hydraté pour le test.

Réf : Traduction libre et adaptée de l'American College of Sport Medicine. (2014). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 9th edition, Lippincott Williams & Wilkins, USA. P. 56-57

Annexe A2 : Critères généraux d'arrêt du test d'ÉEMCR

1.	Début d'angine ou des symptômes qui mimiquent une angine
2.	Une chute de pression artérielle systolique ≥ 10 mmHg avec une augmentation de la charge de travail (intensité), ou si la pression artérielle systolique diminue sous la valeur obtenue, dans la même position, avant de débiter le test.
3.	Une montée excessive de la pression artérielle : pression systolique > 250 mm Hg et/ou pression diastolique > 115 mm Hg
4.	Souffle court; respiration sifflante (<i>wheezing</i>); crampes dans les jambes; ou claudication
5.	Signes de pauvre perfusion : étourdissements ; confusion ; ataxie; pâleur; cyanose; nausée; or la peau froide et moite
6.	La fréquence cardiaque n'augmente pas avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice
7.	Des changements notables du rythme cardiaque par palpation ou auscultation
8.	Le participant demande d'arrêter
9.	Manifestations verbales ou physiques de fatigue sévère
10.	L'équipement pour faire le test d'ÉEMCR ne fonctionne pas adéquatement

Réf : Traduction libre de l'American College of Sport Medicine. (2014). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 9th edition, Lippincott Williams & Wilkins, USA. P. 87.

Annexe B1: Approbation finale par le comité d'éthique de la recherche chez la santé



Sherbrooke, le 29 juillet 2016

Pre Nathaly Gaudreault
CHUS
3001, 12e Avenue Nord
Sherbrooke, QC, J1H 5N4

**Objet : Approbation finale du projet de recherche par le
Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS**

Projet #2017-1492 - Cardio Hexoskin

Validité de critère du textile intelligent Hexoskin pour évaluer la fonction cardiorespiratoire chez une population en santé

Bonjour Pre Gaudreault,

Le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS a pris connaissance des documents réponses déposés dans Nagano à la suite de l'approbation conditionnelle du projet cité en rubrique.

Voici les documents réponses qui ont été reçus via le **formulaire 20 # 8708** le **28 juillet** et examinés en comité restreint le **29 juillet 2016** :

- **Publicité**
 - affiche Hexoskin v25 juillet 2016
- **Formulaire de consentement**
 - Formulaire de consentement Hexoskin v 26 juillet 2016

Il nous fait plaisir de vous informer que votre projet a été **approuvé de façon finale au CÉR du CHUS le 29 juillet 2016**, et ce, pour une période de 12 mois (**29 juillet 2017**).

Voici la liste des documents qui sont approuvés:

- **Protocole de recherche**
 - FINAL Protocole projet Hexoskin V 17 juin
- **Publicité**
 - affiche Hexoskin v25 juillet 2016
 - dépliant hexoskin2
- **Formulaire de consentement**
 - FC Final 26 juillet 2016

Vous devez attendre l'autorisation du directeur administratif de la recherche du Centre de recherche du CHUS avant de débiter la recherche. Certains aspects de la convenance organisationnelle doivent être évalués avant le début du recrutement des participants. Cette autorisation du Centre de recherche s'ajoute à l'approbation du Comité d'éthique.

En acceptant la présente lettre d'approbation finale du Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain

du CHUS, vous vous engagez à soumettre au Comité:

- toute demande de modification au projet de recherche ou à tout document approuvé par le comité pour la réalisation de votre projet.
- tout incidents thérapeutiques graves (SAE) / toutes réactions indésirables graves (SAR) qui sont envoyés au chercheur par le commanditaire sous différentes formes et appellations (IND Safety Letter, Safety Report, Alert Report, etc...) (réf.: CRC-RC5) dans les plus brefs délais.
- tout incidents thérapeutiques graves (SAE) / toutes réactions indésirables graves (SAR) survenant **au CHUS dans les 24 heures** suivant la prise de connaissance par l'équipe de recherche (réf.: CRC-RC6)
- Tout nouveau renseignement sur des éléments susceptibles d'affecter l'intégrité ou l'éthicité du projet de recherche ou d'accroître les risques et les inconvénients des sujets, de nuire au bon déroulement du projet ou d'avoir une incidence sur le désir d'un sujet de recherche de continuer sa participation au projet de recherche;
- Toute modification constatée au chapitre de l'équilibre clinique à la lumière des données recueillies;
- La cessation prématurée du projet de recherche, qu'elle soit temporaire ou permanente;
- Tout problème identifié par un tiers, lors d'une enquête, d'une surveillance ou d'une vérification interne ou externe;
- Toute suspension ou annulation de l'approbation octroyée par un organisme de subvention ou de réglementation;
- Toute procédure en cours de traitement d'une plainte ou d'une allégation de manquement à l'intégrité ou à l'éthique ainsi que des résultats de la procédure.

La présente décision peut être suspendue ou révoquée en cas de non-respect de ces exigences. En plus du suivi administratif d'usage, le CÉR pourra effectuer un suivi actif au besoin selon les modalités qu'il juge appropriées.

En terminant, nous vous rappelons que vous devez conserver pour une période d'au moins un an suivant la fin du projet, un répertoire distinct comprenant les noms, prénoms, coordonnées, date du début et de fin de la participation de chaque sujet de recherche.

Il est à noter qu'aucun membre du comité d'éthique participant à l'évaluation et à l'approbation de ce projet n'est impliqué dans celui-ci.

En ce qui concerne l'essai clinique visé, à titre de représentant du Comité d'éthique de la recherche, je certifie que:

1. La composition de ce Comité d'éthique satisfait aux exigences pertinentes prévues dans le titre 5 de la partie C du Règlement sur les aliments et drogues.
2. Le Comité d'éthique de la recherche exerce ses activités de manière conforme aux bonnes pratiques cliniques, et
3. Ce Comité d'éthique a examiné et approuvé le formulaire de consentement et le protocole d'essai clinique qui sera mené par le chercheur susmentionné, au lieu d'essai indiqué. L'approbation et les opinions du présent comité ont été consignées par écrit.
4. Ce Comité est conforme aux normes américaines. (FWA #00005894)

Je vous prie d'accepter, Pre Gaudreault, mes meilleures salutations.

Annexe B2 : Formulaire d'information et de consentement à la recherche



FORMULAIRE D'INFORMATION ET DE CONSENTEMENT A LA RECHERCHE

Titre du projet:	Validité de critère du textile intelligent Hexoskin pour évaluer la fonction cardiorespiratoire chez une population en santé
Numéro du projet :	2017-1492
Chercheuse principale:	Nathaly Gaudreault, Ph.D., pht, professeure agrégée, École de réadaptation, Université de Sherbrooke
Chercheurs associés:	Pierre Boulay, PhD, Professeur agrégé, Faculté des sciences de l'activité physique et des sports (UdeS) Iuliana Nastasia, PhD, ergonome, Institut de recherche Robert Sauvé en santé et en sécurité au travail (IRSST) Neila Mezghani, PhD, ingénieure, professeure adjointe, École de technologie supérieure Mme Imane Mouzoune, étudiante à la maîtrise de recherche en sciences de la santé

POUR INFORMATION

Du lundi au vendredi entre 8h et 16h, vous pouvez communiquer avec :

Pre Nathaly Gaudreault, Ph.D

Tél : (819) 820-6868 poste 12910

Nous sollicitons votre participation à un projet de recherche parce que nous souhaitons évaluer la validité des mesures des fonctions cardiorespiratoires recueillies par le vêtement Hexoskin chez des adultes en santé. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet, veuillez prendre le temps de lire, de comprendre et de considérer attentivement les renseignements qui suivent. Si vous acceptez de participer au projet de recherche, vous devrez signer le formulaire de consentement à la fin du présent document et nous vous en remettrons une copie pour vos dossiers.

Ce formulaire d'information et de consentement vous explique le but de ce projet de recherche, les procédures, les risques et inconvénients ainsi que les avantages, de même que les personnes avec qui communiquer au besoin. Il peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions nécessaires au chercheur responsable du projet ou aux autres personnes affectées au projet de recherche et à leur demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair.

NATURE ET OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

L'objectif principal de cette étude est de documenter la validité du vêtement Hexoskin. Plus spécifiquement, nous tenterons de déterminer si le vêtement Hexoskin procure des données sur les fonctions cardiorespiratoires similaires à celles mesurées avec l'équipement standard de référence que l'on retrouve en clinique. Les données seront collectées lors d'un test d'effort maximal et de tests d'efforts légers à modérés chez des hommes et des femmes adultes en santé. Trente participants seront recrutés.

DÉROULEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Si vous acceptez de participer à l'étude, vous devrez vous présenter au laboratoire du Pr Pierre Boulay, situé au Centre sportif du Campus principal –Pavillon Universtrie, local 321, à Sherbrooke. Votre participation requiert une seule visite qui durera environ 2 heures.

Voici une liste de recommandations que vous devrez respecter avant de vous présenter au laboratoire pour effectuer les tests d'efforts :

- S'abstenir d'ingérer de la nourriture (au besoin, une quantité minimale), de l'alcool ou de la caféine ou d'utiliser des produits du tabac dans les 3 heures avant le test.
- Être reposé pour le test, c'est-à-dire, éviter des efforts physiques significatifs ou faire de l'exercice 48 heures avant le test.
- Porter des vêtements ne limitant pas les mouvements et des souliers de marche ou de course. Les femmes devraient porter une blouse ample à manches courtes, qui se boutonne à l'avant, et devraient éviter de porter une camisole trop serrée.
- Le test peut vous fatiguer. Vous aurez peut-être besoin de quelqu'un ou d'un moyen de transport alternatif (ex : taxi), pour vous reconduire à la maison.
- S'assurer d'être bien hydraté dans les 24 heures précédant le test pour s'assurer d'être bien hydraté pour le test.

Une fois sur place, le formulaire de consentement vous sera présenté et expliqué par l'étudiante responsable du projet afin d'obtenir votre consentement libre et éclairé à participer. Vous devrez ensuite remplir un questionnaire qui servira à confirmer votre aptitude à faire un exercice vigoureux. Si vous êtes apte à poursuivre l'étude, l'étudiante responsable du projet mesurera votre taille et votre poids et vous remettra un questionnaire qui nous informera sur votre âge, votre sexe et votre condition générale de santé. Nous vous demanderons de vous vêtir d'un short et du vêtement Hexoskin et de porter vos souliers de sport afin que l'on puisse procéder à l'évaluation de vos capacités cardiorespiratoires. Celles-ci seront évaluées alors que vous marcherez sur un tapis roulant à différentes vitesses. Afin de mesurer l'activité de votre cœur, des électrodes seront posées sur votre torse. Vous devrez aussi porter un masque recouvrant votre nez et votre bouche pour analyser votre respiration.

RISQUES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Évaluation des capacités cardiorespiratoires : L'évaluation des capacités cardiorespiratoires présente certains risques potentiels :

- 1) Se blesser en perdant l'équilibre sur le tapis roulant ;
- 2) Ressentir de la fatigue, douleur musculaire et douleur articulaire, pendant et/ou après et/ou les jours suivants l'évaluation d'effort maximal cardiorespiratoire;
- 3) Un risque possible, mais plutôt rare, serait d'avoir des symptômes ou complications cardiaques durant ou juste après l'évaluation d'effort maximal cardiorespiratoire. Afin de minimiser les risques, l'aptitude à faire un exercice vigoureux sera évaluée préalablement aux tests sur tapis roulant et une équipe d'intervention d'urgence est présente en tout temps. De plus, Pierre Boulay (Ph.D.), co-chercheur et professeur à la Faculté des sciences de l'activité physique (FASAP) et spécialiste en évaluation d'effort maximal cardiorespiratoire, sera présent tout au long de l'évaluation.
- 4) Si lors de l'évaluation, l'électrocardiogramme semble révéler des anomalies cardiaques, le test devra alors être arrêté et nous vous demanderons d'aller consulter un médecin pour une évaluation cardiaque.

Il y a donc un risque très faible, qu'un événement cardiovasculaire survienne ou que des anomalies cardiorespiratoires soient décelées lors de l'évaluation des capacités cardiorespiratoires. Si cette situation se présentait, cela pourrait vous affecter sur le plan psychologique et physique.

Mesure de la pression artérielle : Le principal risque relié à la prise de la pression artérielle est une légère douleur. Toutefois, certaines personnes peuvent avoir une contre-indication à la prise de la pression artérielle sur le bras gauche ou le bras droit (par exemple, à la suite d'une mastectomie). L'équipe de recherche s'assurera, en vous demandant si vous avez des contre-indications connues à la prise de la pression artérielle sur l'un de vos bras.

INCONVÉNIENTS POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Le déplacement et le temps requis afin de participer à cette étude peuvent constituer des inconvénients. Il peut également être inconfortable et gênant d'avoir des électrodes d'installer sur soi et de porter un masque recouvrant votre nez et votre bouche, lors de l'évaluation d'effort maximal cardiorespiratoire. Finalement, il se peut que vous ressentiez plus de fatigue et/ou de douleurs musculaires et articulaires, pendant et/ou après et/ou les jours suivants l'évaluation d'effort maximal cardiorespiratoire.

AVANTAGES POUVANT DÉCOULER DE VOTRE PARTICIPATION AU PROJET DE RECHERCHE

Il se peut que vous retiriez un bénéfice personnel de votre participation à ce projet de recherche, mais nous ne pouvons pas le garantir. Toutefois, les résultats obtenus pourraient contribuer à l'avancement des connaissances sur la validité du vêtement Hexoskin pour mesurer les fonctions cardiorespiratoires.

PARTICIPATION VOLONTAIRE ET POSSIBILITÉ DE RETRAIT DU PROJET DE RECHERCHE

Toute nouvelle connaissance acquise durant le déroulement de l'étude qui pourrait affecter votre décision de continuer d'y participer vous sera communiquée sans délai.

Si vous vous retirez de l'étude ou si vous en êtes retiré, nous vous demanderons, pour votre propre sécurité, de subir les examens de fin d'étude décrits au calendrier des visites.

Si vous vous retirez de l'étude ou en êtes retiré, l'information médicale déjà obtenue dans le cadre de l'étude sera conservée aussi longtemps que nécessaire pour assurer la sécurité des patients et rencontrer les exigences réglementaires.

ARRÊT DU PROJET DE RECHERCHE

Le chercheur responsable de l'étude, l'organisme subventionnaire et le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS peuvent mettre fin à votre participation, sans votre consentement, pour les raisons suivantes :

- Si de nouveaux développements scientifiques survenaient indiquant qu'il est de votre intérêt de cesser votre participation;
- Si le chercheur responsable du projet pense que cela est dans votre meilleur intérêt;
- Si vous ne respectez pas les consignes du projet de recherche;
- S'il existe des raisons administratives d'abandonner l'étude.

CONFIDENTIALITÉ

Ces renseignements peuvent comprendre les informations contenues dans vos dossiers médicaux concernant votre état de santé passé et présent, vos habitudes de vie ainsi que les résultats de tous les tests, examens et procédures que vous aurez à subir durant ce projet. Votre dossier peut aussi comprendre d'autres renseignements tels que votre nom, date de naissance, sexe et origine ethnique.

Tous ces renseignements recueillis au cours du projet demeureront strictement confidentiels dans les limites prévues par la loi. Afin de préserver votre identité et la confidentialité de ces renseignements, vous ne serez identifié que par un numéro de code. La clé du code reliant votre nom à votre dossier de recherche sera conservée par le chercheur responsable du projet de manière sécuritaire.

Les données de recherche seront conservées pendant 5 ans par le chercheur responsable.

Les données pourront être publiées dans des revues spécialisées ou partagées avec d'autres personnes lors de discussions scientifiques. Aucune publication ou communication scientifique ne renfermera quoi que ce soit qui puisse permettre de vous identifier.

À des fins de surveillance et de contrôle, votre dossier de recherche ainsi que vos dossiers médicaux pourront être consultés par une personne mandatée par le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS, par l'établissement ou par une personne mandatée par des organismes publics autorisés. Toutes ces personnes et ces organismes adhèrent à une politique de confidentialité.

À des fins de protection, notamment afin de pouvoir communiquer avec vous

rapidement vos noms et prénoms, vos coordonnées et la date de début et de fin de votre participation au projet, seront conservés pendant un an après la fin du projet dans un répertoire sécurisé maintenu par le chercheur.

Vous avez le droit de consulter votre dossier de recherche pour vérifier les renseignements recueillis et les faire rectifier au besoin et ce, aussi longtemps que le chercheur responsable du projet ou l'établissement détiennent ces informations. Cependant, afin de préserver l'intégrité scientifique de l'étude, vous pourriez n'avoir accès à certaines de ces informations qu'une fois l'étude terminée.

COMPENSATION

Nous vous rembourserons les frais encourus pour le déplacement et le stationnement jusqu'à un maximum de 5,50\$.

DROITS DU PARTICIPANT ET INDEMNISATION EN CAS DE PRÉJUDICE

Si vous deviez subir quelque préjudice que ce soit dû à votre participation au projet de recherche, vous recevrez tous les soins et services requis par votre état de santé, sans frais de votre part.

En acceptant de participer à cette étude, vous ne renoncez à aucun de vos droits ni ne libérez les chercheurs, le commanditaire ou l'établissement où se déroule ce projet de recherche de leurs responsabilités civile et professionnelle.

FINANCEMENT DU PROJET DE RECHERCHE

Les fonds de recherche de la chercheuse responsable du projet serviront à financer ce projet.

PERSONNES-RESSOURCES

Si vous avez des questions concernant votre participation au projet de recherche SVP vous référer à l'encadré de la page 1.

Pour toute question concernant vos droits en tant que participant à ce projet de recherche ou si vous avez des plaintes ou des commentaires à formuler vous pouvez communiquer avec le Commissaire aux plaintes et à la qualité des services du CIUSSS de l'Estrie-CHUS au numéro suivant : 1-866-917-7903.

SURVEILLANCE DES ASPECTS ÉTHIQUES

Le Comité d'éthique de la recherche en santé chez l'humain du CHUS a approuvé ce projet de recherche et en assure le suivi. De plus, nous nous engageons à lui soumettre pour approbation toute révision et toute modification apportée au protocole de recherche ou au formulaire d'information et de consentement.

Si vous désirez rejoindre l'un des membres de ce comité vous pouvez communiquer avec le Service de soutien à l'éthique de la recherche du CHUS au numéro 819-346-1110, poste 12856.

CONSENTEMENT

Je déclare avoir lu le présent formulaire d'information et de consentement, particulièrement quant à la nature de ma participation au projet de recherche et l'étendue des risques qui en découlent. Je reconnais qu'on m'a expliqué le projet, qu'on a répondu à toutes mes questions et qu'on m'a laissé le temps voulu pour prendre une décision.

Je consens librement et volontairement à participer à ce projet.

J'accepte que l'on informe mon médecin de famille, de ma participation à cette étude.

OUI NON

Nom du participant <i>(lettres moulées)</i>	Signature du participant	Date
--	--------------------------	------

Nom de la personne qui obtient le consentement <i>(lettres moulées)</i>	Signature de la personne qui obtient le consentement	Date
--	--	------

ENGAGEMENT DU CHERCHEUR

Je certifie qu'on a expliqué au participant les termes du présent formulaire d'information et de consentement, que j'ai répondu aux questions que le participant avait à cet égard et que j'ai clairement indiqué qu'il demeure libre de mettre un terme à sa participation, et ce, sans préjudice.

Je m'engage à respecter ce qui a été convenu au formulaire d'information et de consentement et à en remettre copie signée au participant.

Nom du chercheur <i>(lettres moulées)</i>	Signature du chercheur	Date
--	------------------------	------

CALENDRIER DES VISITES ET INTERVENTIONS

Durée de la visite : 2 heures
Interventions
Consentement
Questionnaire Q-AAP+
Questionnaire sociodémographique
Épreuve d'effort maximal cardiorespiratoire
3 tests de marche sur tapis roulant (intensités faible, modérée et élevée)
Recommandation de consulter un médecin en cas de découverte fortuite à l'ECG

Annexe C: Protocole BSU/Bruce ramp

BSU/Bruce Ramp Time Protocol

<i>Increment</i>	<i>Time</i>	<i>Speed</i>	<i>Grade</i>	<i>Increment</i>	<i>Time</i>	<i>Speed</i>	<i>Grade</i>
1	0:00	1.7	0.0	33	10:40	4.0	15.2
2	0:20	1.7	1.3	34	11:00	4.1	15.4
3	0:40	1.7	2.5	35	11:20	4.2	15.6
4	1:00	1.7	3.7	36*	11:40	4.2	16.0
5	1:20	1.7	5.0	37	12:00	4.3	16.2
6	1:40	1.7	6.2	38	12:20	4.4	16.4
7	2:00	1.7	7.5	39	12:40	4.5	16.6
8	2:20	1.7	8.7	40	13:00	4.6	16.8
9*	2:40	1.7	10.0	41	13:20	4.7	17.0
10	3:00	1.8	10.2	42	13:40	4.8	17.2
11	3:20	1.9	10.2	43	14:00	4.9	17.4
12	3:40	2.0	10.5	44	14:20	5.0	17.6
13	4:00	2.1	10.7	45*	14:40	5.0	18.0
14	4:20	2.2	10.9	46	15:00	5.1	18.0
15	4:40	2.3	11.2	47	15:20	5.1	18.5
16	5:00	2.4	11.2	48	15:40	5.2	18.5
17	5:20	2.5	11.6	49	16:00	5.2	19.0
18*	5:40	2.5	12.0	50	16:20	5.3	19.0
19	6:00	2.6	12.2	51	16:40	5.3	19.5
20	6:20	2.7	12.4	52	17:00	5.4	19.5
21	6:40	2.8	12.7	53	17:20	5.4	20.0
22	7:00	2.9	12.9	54*	17:40	5.5	20.0
23	7:20	3.0	13.1	55	18:00	5.6	20.0
24	7:40	3.1	13.4	56	18:20	5.6	20.5
25	8:00	3.2	13.6	57	18:40	5.7	20.5
26	8:20	3.3	13.8	58	19:00	5.7	21.0
27*	8:40	3.4	14.0	59	19:20	5.8	21.0
28	9:00	3.5	14.2	60	19:40	5.8	21.5
29	9:20	3.6	14.4	61	20:00	5.9	21.5
30	9:40	3.7	14.6	62	20:20	5.9	22.0
31	10:00	3.8	14.8	63*	20:40	6.0	22.0
32	10:20	3.9	15.0				

*Increments are at same time, speed, and grade as the standard Bruce protocol.

Annexe D : Questionnaire Q-AAP+

**Document retiré pour respect du droit
d'auteur.**

Document retiré pour respect du droit d'auteur.

Document retiré pour respect du droit d'auteur.

Document retiré pour respect du droit d'auteur.

Document retiré pour respect du droit d'auteur.

Annexe E : Questionnaire (maison) histoire médicale et données – Test d'ÉEMCR

Code du participant : _____

Date : _____

Questionnaire caractéristiques générales et état de santé

Date de naissance : _____ Âge : _____

Poids (kg) : _____

Taille (cm) : _____

IMC : _____

Fcm_{max} prédite (220 – âge) : 220 - _____ = _____

Fcrepos en position assise : _____

Occupation : _____

Entraînement physique actuel – brève description : _____

Histoire médicale : _____

Avez-vous déjà été diagnostiqué avec une condition cardiaque? Oui _____

Non

Avez-vous déjà été opéré au cœur? Oui _____

Non

Portez-vous un pacemaker/défibrillateur? Oui _____

Non

Avez-vous une maladie pulmonaire (ex : asthme, emphysème...)? Oui _____

Non

Êtes-vous diabétique? Oui _____

Non

Êtes-vous ou pensez-vous être enceinte? Oui _____

Non

Médication :

Nom du médicament	Dose – Fréquence

Chirurgies :

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____
5. _____
6. _____

Contre-indication pour prendre la tension artérielle bras droit ou gauche

<input type="checkbox"/> Non	<input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Bras droit_Raison : _____ <input type="checkbox"/> Bras gauche_Raison : _____
------------------------------	---

Tension artérielle en position assise : ___/___ mm Hg

Tabagisme

Non

Oui : Nombre de cigarettes/jour _____

Autres : _____

Formulaire complété par : _____

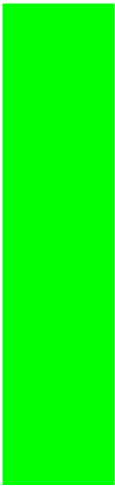

Signature : _____

Date : _____

Annexe F : Échelle de Borg

ECHELLE DE BORG

Perception de la fatigue

	6	
TRES TRES FACILE	7	
	8	
TRES FACILE	9	
	10	
ASSEZ FACILE	11	
	12	
UN PEU DIFFICILE	13	
	14	
DIFFICILE	15	
	16	
TRES DIFFICILE	17	
	18	
TRES TRES DIFFICILE	19	
	20	

Annexe G : Présentation du graphique Bland-Altman pour les résultats du participant 03 pour la ventilation lors d'un test d'effort maximal (30s)

