Troubles musculo-squelettiques

Études et recherches

RAPPORT **R-621**

Validation du step-test de Meyer et Flenghi (1995) à l'aide d'un test maximal sur tapis roulant

Daniel Imbeau
Philippe-Antoine Dubé
Olivier Waddell

Solidement implanté au Québec depuis l980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES *travaillent* pour vous !

Mission

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.
De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046
http://www.irsst.qc.ca/en/pat-abonnement.html

Dépôt légal
Bibliothèque et Archives nationales
2009
ISBN : 978-2-89631-395-2 (version imprimée)
ISBN : 978-2-89631-396-9 (PDF)
ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca
Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
août 2009

Troubles musculo-squelettiques

Études et recherches

RAPPORT **R-621**

Validation du step-test de Meyer et Flenghi (1995) à l'aide d'un test maximal sur tapis roulant

Daniel Imbeau, Philippe-Antoine Dubé et Olivier Waddell,
Chaire de Recherche du Canada en ergonomie,
École Polytechnique de Montréal

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

Sommaire

La relation entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$) est très utile tant pour le praticien que pour le chercheur en ergonomie parce qu'elle permet : 1) la détermination de la dépense énergétique ou métabolisme de travail correspondant à une fréquence cardiaque donnée mesurée durant le travail, et 2) la détermination de la capacité cardio-respiratoire ($\dot{V}O_{2\max}$) du travailleur. La détermination de la $\dot{V}O_2$ d'une activité de travail devient incontournable lors de l'utilisation des approches modernes d'analyse de la contrainte thermique chaude (ex. PHS, ISO7933 2004). Meyer et Flenghi (1995) ont conçu un test sur banc (step-test) sécuritaire pouvant être administré sur les lieux du travail à des travailleurs dont on ne connaît pas la santé cardio-respiratoire. Ce test apparaît comme le plus pratique et le moins coûteux des tests sous-maximaux non seulement pour estimer la $\dot{V}O_{2\max}$ du sujet, mais aussi pour déterminer la relation entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène (Fc = f($\dot{V}O_2$)) permettant l'estimation de la $\dot{V}O_2$ à partir de mesures de la fréquence cardiaque réalisées durant le travail.

Cette étude visait à comparer l'estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ produite par le step-test de Meyer et Flenghi (1995) à la mesure directe de la $\dot{V}O_{2\max}$ lors d'un test maximal sur tapis roulant. Elle visait également à déterminer si l'isolement de la tenue vestimentaire portée durant le test affecte le résultat du step-test.

Deux groupes de 14 hommes (21-31 ans et 39-46 ans) ont exécuté 3 tests: 1) Test maximal sur tapis roulant; 2) Step-test de Meyer et Flenghi, avec tenue vestimentaire légère (0,41 Clo); 3) Step-test de Meyer et Flenghi, avec tenue vestimentaire de travail (1 Clo). La consommation d'oxygène a été mesurée en continu durant chacun des trois tests à l'aide d'un analyseur de gaz expirés Moxus (MOXUS Metabolic System). La fréquence cardiaque a été mesurée en continu par l'appareil Moxus et d'un émetteur de cardiofréquencemètre de marque Polar Électro (T-61 coded).

Les résultats de cette étude montrent que le step-test de Meyer et Flenghi (1995) permet d'estimer de façon assez précise la capacité cardio-respiratoire pour un groupe de sujets portant une tenue vestimentaire légère lors du test. Par contre, il apparaît que le step-test sous-estime la $\dot{V}O_{2\max}$ d'environ 9% lorsque le sujet est plus âgé et porte une tenue vestimentaire de travail offrant une isolation d'environ 1 Clo. Dans ce cas, la précision de l'estimation peut être améliorée en majorant de 10% la $\dot{V}O_{2\max}$ estimée avec le step-test. L'isolement vestimentaire n'a eu aucun effet sur le résultat du step-test pour les sujets plus jeunes. Les résultats de cette étude ont aussi permis de développer une équation reliant la $\dot{V}O_2$ et la fréquence cardiaque lorsque les sujets portent une tenue normale. Cette équation est utile à l'estimation de la dépense énergétique d'une activité de travail réalisée par des hommes.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier tous les sujets qui ont participé à cette étude.

Cette étude a été rendue possible par un financement conjoint de l'IRSST.

Table des matières

1. Introduction 1
1.1 Littérature pertinente 3

2. Objectifs et hypothèses de recherche 7

3. Méthodologie 9
3.1 Sujets 9
3.2 Équipements 9
3.3 Tests réalisés par les sujets 9
3.4 Procédure au laboratoire 11
3.5 Analyses statistiques 11

4. Résultats 13
4.1 Fc et $\dot{V}O_2$ selon le palier 14
4.2 Classification de la $\dot{V}O_{2\max}$ et tenue vestimentaire 15
4.3 Relation $\dot{V}O_2$ =f(Fc) 16

5. Discussion 19

6. Conclusion 21

7. Références 23

Liste des tableaux

Tableau 1: Description des groupes de sujets et résultats de $\dot{V}O_{2\max}$ (valeur moyenne ± écart-type) 13

Tableau 2: Moyennes (±écart-types) des fréquences cardiaques, des $\dot{V}O_2$ mesurées (Moxus) et des $\dot{V}O_2$ estimées aux différents paliers du step-test avec la relation fournie par Meyer et Flenghi (1995) (tous les sujets et tenue vestimentaire légère). 15

Tableau 3: Catégorisation de la $\dot{V}O_{2\max}$ obtenue avec le step-test de Meyer et Flenghi selon la tenue portée durant le test (données de l'enquête Campbell 1988). 16

Tableau 4: Catégorisation de la $\dot{V}O_{2\max}$ obtenue avec le step-test de Meyer et Flenghi (1995) selon la tenue portée durant le test (données de Meyer et Flenghi 1995) 16

Liste des figures

Figure 1: $\dot{V}O_{2\max}$ estimée avec le step-test vs $\dot{V}O_{2\max}$ mesuré avec le Moxus (mlO_2/kg/min) 14

1. Introduction

La capacité cardio-respiratoire ($\dot{V}O_{2\max}$) d'une personne est un indicateur de la capacité de cette personne à réaliser un travail physique. Lors d'une intervention ergonomique portant sur la charge de travail physique, l'estimation de cette capacité est essentielle pour les sujets effectuant le travail si la conception d'un régime d'alternance travail-repos est étudiée (Chengalur et al. 2004). La $\dot{V}O_{2\max}$ d'un sujet est souvent comparée à des valeurs de référence publiées dans la littérature afin de situer sa condition physique par rapport à celle d'un groupe de population.

Dans la littérature en ergonomie et en physiologie du travail, les valeurs de référence de $\dot{V}O_{2\max}$ ont généralement été établies pour différents échantillons de travailleurs par le biais d'un test à l'effort dit "direct maximal" sur tapis roulant (ex. voir Chengalur 2004). Astrand et Rodahl (1986) ont montré que la masse musculaire mise en jeu lors d'un test à l'effort a un impact sur la $\dot{V}O_{2\max}$ mesurée par ce test. Le test sur tapis roulant est généralement utilisé comme référence de base parce qu'il met en jeu la plus grande masse musculaire. Un test mettant en jeu une masse musculaire moindre (ex., test sur vélo stationnaire, ou test sur banc ou step-test) peut donner une valeur de $\dot{V}O_{2\max}$ moindre que celle obtenue sur tapis roulant pour le même sujet (Astrand et Rodahl 1986). Bien qu'il existe une très grande variété de tests à l'effort destinés à évaluer la $\dot{V}O_{2\max}$ d'un sujet, aucune étude ne les met en relation dans le but d'en permettre une comparaison facile. Les tests sous maximaux mettant en jeu une masse musculaire différente (ex., moindre) de celle mise en jeu sur un tapis roulant sont plus couramment utilisés en ergonomie que le test maximal sur tapis roulant, de sorte qu'une erreur d'estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ dont on ne connaît pas la grandeur est susceptible de se produire. D'un point de vue pratique, une erreur de sous-estimation de la capacité cardio-respiratoire ($\dot{V}O_{2\max}$) d'un sujet, mènera à un régime d'alternance travail-repos prévoyant trop de repos, soit une baisse de productivité. Dans les environnements de travail où les marges de profit sont minces (ex., débroussaillage de dégagement), une telle situation apparaîtra inacceptable. Par contre, une surestimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ peut mener à la conception d'un régime d'alternance travail-repos ne permettant pas une récupération suffisante de sorte qu'une fatigue excessive peut s'accumuler au fil du quart de travail, mettant ainsi les travailleurs à risque (Chengalur et al. 2004). Nonobstant les difficultés pour la détermination du régime d'alternance travail-repos, une erreur d'estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ risque de mener à un classement erroné de la condition physique du sujet testé par rapport à une population de référence.

Meyer et Flenghi (1995) ont conçu un test sur banc (step-test) sécuritaire en ce sens qu'il peut être administré à des travailleurs dont on ne connaît pas la santé cardio-respiratoire. Ce test apparaît comme un choix logique en ergonomie entre autres parce que le banc est peu coûteux à construire et très compact, donc facile à transporter et à utiliser dans n'importe quel lieu de travail. Au-delà du banc, le test requiert des équipements simples et peu coûteux (cardiofréquencemère, métronome, montre). Le protocole du test est très simple à administrer au sujet et le rythme unique du test est facile à suivre pour celui-ci. Enfin, le fait d'utiliser 4 marches de hauteurs différentes décrivant les niveaux d'effort permet au sujet de s'adapter facilement et rapidement au test, la hauteur de la première marche étant faible. Ces deux derniers points sont

particulièrement importants tel que le notent Meyer et Flenghi (1995) : « *L'apprentissage du paramètre essentiel d'un step-test bien réalisé, à savoir le rythme de montée, est délicat à acquérir pour certains sujets. Le respect, durant chaque palier, de cette fréquence est un élément essentiel de la précision du test. Par conséquent, la facilité du test et sa précision imposaient de faire varier la hauteur des marches et non la fréquence de montée pour déterminer différents niveaux de travail* »(p. 249).

En comparaison, les autres types d'épreuves exigent généralement du matériel plus lourd, plus coûteux et plus complexe à opérer (tapis roulant ou ergocycle, système de son pour le Physitest) que l'on retrouve seulement dans les laboratoires et dans les salles de conditionnement physique (Weller et al. 1995). Du point de vue pratique, le step-test de Meyer et Flenghi apparaît supérieur pour les études en milieu de travail. Par contre, ce test n'a jamais été comparé à un test direct maximal sur tapis roulant de sorte qu'on ne connaît pas l'écart possible entre les valeurs obtenues par ces tests. En connaissant cet écart s'il existe, il serait possible de mieux classer la capacité cardio-respiratoire d'un sujet ayant passé un step-test lorsqu'on compare son résultat à des données de population tirées de la littérature (ex., Campbell 1988[1], Chengalur et al. 2004), lesquelles sont très souvent obtenues par un test sur tapis roulant. Il va sans dire que la connaissance de cet écart, au moins pour le step-test de Meyer et Flenghi, a une grande portée pratique en génie industriel, en ergonomie et en hygiène industrielle lorsqu'il est question de contrainte thermique chaude et d'organisation temporelle du travail. Par exemple, lors de deux études récentes subventionnées par l'IRSST (Imbeau et al. 2007a, b) nous avons administré le step-test de Meyer et Flenghi à plusieurs sujets. Le fait de ne pas connaître l'erreur (si elle existe) entre ce test et la référence habituelle (test sur tapis roulant) cause toujours une certaine incertitude quant à l'interprétation finale des résultats puisqu'on ne sait pas si ces données sont vraiment comparables tel quel.

Lors de ces études nous avons également été à même de constater que l'habillement porté par le sujet peut avoir un impact sur les résultats du step-test. On recommande généralement que le sujet porte des vêtements légers lors d'un tel test (ex. shorts et t-shirt mince). Or, sur les lieux du travail les sujets sont rarement dans cette tenue lorsqu'ils passent un step-test en début de journée de travail; ils ont leurs vêtements habituels de travail. Comme l'isolement vestimentaire a un impact direct sur la capacité du corps à se débarrasser de sa chaleur et donc sur la fréquence cardiaque (Mairiaux et Malchaire 1990), il y a une possibilité réelle que l'isolement vestimentaire ait un effet direct sur la valeur du $\dot{V}O_{2\max}$ estimée à partir de ce test. Nous avons réalisé une série de 9 step-tests avec un seul sujet et ce, en utilisant deux niveaux d'isolement vestimentaire (0,41 Clo et 1,29 Clo). Ces résultats exploratoires pour un seul sujet ont peu de valeur sur le plan de la généralisation, mais ils montrent néanmoins que l'isolement vestimentaire accru a résulté en une sous estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ allant jusqu'à 30%, ce qui paraît énorme. À notre connaissance, ce genre d'écart n'a jamais été discuté en rapport avec les tests à l'effort. Il s'agit donc d'une piste de recherche originale.

1 Institut Canadien de la recherche sur la condition physique et le mode de vie. (1988). Données de l'enquête Campbell sur la condition physique et l'anthropométrie (données fournies sous forme de tableaux). Canada, 6 p. http://www.cflri.ca/fra/donnees_provinciales/campbell1988/index.php - site accédé le 31 août 2007.

En plus de permettre une estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ d'un sujet, un test sous maximal progressif comme le test de Meyer et Flenghi offre l'avantage de permettre d'établir la relation Fc = f($\dot{V}O_2$) du sujet dans des conditions relativement standardisées. Cette relation entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène d'un sujet, permet à l'ergonome ou à l'hygiéniste industriel d'estimer le métabolisme de travail (ou la dépense énergétique associé à un travail) à partir d'une mesure de la fréquence cardiaque réalisée durant le travail. Il s'agit d'une méthode relativement simple qui offre une excellente précision par rapport à l'utilisation de tables ou de modèles (ex., Annexe V du RSST 2001, tables de Spitzer et Hettinger 1965, équations de la norme ISO8996 2004). Le métabolisme de travail est un paramètre important et nécessaire lors de l'utilisation de plusieurs indices permettant l'évaluation de la contrainte thermique chaude (ex., WBGT, PHS).

En résumé, le step-test de Meyer et Flenghi (1995) offre une approche simple et pratique pour estimer la $\dot{V}O_{2\max}$ d'un sujet en milieu de travail et pour établir la relation Fc = f($\dot{V}O_2$) de ce même sujet. Ces deux quantités sont nécessaires pour étudier la charge de travail physique et la contrainte thermique chaude. Toutefois, on ne connaît pas l'écart entre l'estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ par le test de Meyer et Flenghi (mesure en milieu de travail) et sa mesure par un test direct maximal sur tapis roulant (données de référence fournies dans la littérature). Aussi, on ne connaît pas l'effet de l'habillement sur le résultat du step-test de Meyer et Flenghi. Cette étude visait à apporter un éclairage sur ces deux difficultés.

1.1 Littérature pertinente

La littérature fait état de plusieurs types de tests à l'effort, destinés à évaluer la condition physique. On peut catégoriser les différents tests selon deux axes : 1) direct ou indirect et 2) sous maximal ou maximal.

<u>Test direct vs indirect</u>. Un test direct est caractérisé par une mesure de la consommation d'oxygène durant le test. Il s'agit de l'approche la plus précise, cependant l'appareillage nécessaire pour mesurer la consommation d'oxygène est très coûteux et fragile de sorte que ce type de mesurage est exclusivement réalisé en laboratoire. À l'opposé, un test indirect permet d'en arriver à une estimation de la consommation d'oxygène par le biais d'un modèle développé et validé en laboratoire. L'utilisation d'un tel modèle est empreinte d'erreur étant donné que le sujet que l'on teste est nécessairement différent de ceux qui ont participé au développement du modèle. Comme le test direct donne les résultats les plus précis, il s'agit de l'approche utilisée pour obtenir une mesure de référence servant à valider les tests indirects (Léger et Cazorla 1991). Les deux types de test direct (maximal) les plus répandus sont le test sur ergocycle et le test sur tapis-roulant. Dans ce dernier, la sollicitation des muscles ressemble beaucoup plus à celle mise en jeu lors d'un travail. Également, ce test met en jeu la plus grande masse musculaire (il entraînera la plus haute valeur de $\dot{V}O_{2\max}$). Conséquemment, le test sur tapis roulant est généralement considéré comme une référence en ergonomie ce qui explique pourquoi les données de $\dot{V}O_{2\max}$ décrivant la condition physique de groupes de populations fournies dans la littérature sont la plupart du temps basées sur ce test (ex., voir Rodgers 1986, Chengalur et al. 2004).

Certains tests indirects, tel que le Chester Step-test (Sykes and Roberts 2004) et le step-test de Meyer et Flenghi utilisent la relation linéaire entre la Fc et la $\dot{V}O_2$ (Fc = m x $\dot{V}O_2$ + b) pour estimer la $\dot{V}O_{2\max}$. La portion linéaire se trouve typiquement au-delà de 120 battements par minute (bpm) et en-deça de 20 bpm de la fréquence cardiaque maximale du sujet (ISO8996 2004). Ces tests comportent quelques paliers d'effort successifs et ascendants. Chaque palier amène le sujet à consommer une quantité "connue" d'oxygène pour laquelle toutefois, il y a une erreur à cause de la variabilité entre les sujets. Le fait d'attribuer la même consommation d'oxygène (ou métabolisme) à tous pour un palier d'effort donné surestime ou sous-estime systématiquement les résultats pour certains sujets ce qui constitue un facteur d'erreur (Léger et Cazorla 1991). Connaissant la fréquence cardiaque (Fc) correspondant à chaque palier d'effort, on obtient des couples (Fc-$\dot{V}O_2$) qui permettent par régression linéaire simple ou par méthode graphique de déterminer la fonction Fc = f($\dot{V}O_2$) du sujet. La $\dot{V}O_{2\max}$ est ensuite estimée par extrapolation pour une valeur estimée de la fréquence cardiaque maximale (Fc_{max} = 220-âge étant l'estimation la plus utilisée). L'extrapolation contribue à réduire la précision du test indirect. L'erreur d'estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ d'un test indirect peut atteindre 10% à 20% de la $\dot{V}O_{2\max}$ obtenue par un test direct maximal (McArdle, Katch et Katch 2001; Davies 1968; Rowell et al. 1964). Par contre, le test indirect est plus facilement accessible parce qu'il n'exige pas le recours à de coûteux appareillages de mesure; il nécessite un simple cardiofréquencemètre et un appareil permettant de faire travailler le sujet à des niveaux d'effort connus.

Meyer et Flenghi (1995) fournissent dans leur article les valeurs de $\dot{V}O_2$ correspondant à chacun des paliers de leur test. D'un point de vue pratique, il s'agit pour le praticien de mesurer la Fc du sujet correspondant à chacun de ces paliers d'effort. Une fois ces valeurs obtenues, les couples Fc-$\dot{V}O_2$ permettent d'établir la fonction Fc = f($\dot{V}O_2$) du sujet (régression multiple ou graphique).

<u>Test maximal vs test sous maximal.</u> Le test maximal suppose que le sujet est poussé au maximum de sa capacité, soit jusqu'à 100% de sa $\dot{V}O_2$ individuelle (ou à sa $\dot{V}O_{2\max}$). Le test maximal n'est pas approprié pour les gens sédentaires, peu en forme, avec un surplus de poids, fumeur, d'un âge avancé, etc. Ce type de test comporte trop de risques surtout d'un point de vue cardio-vasculaire. Il est donc réservé aux athlètes ou aux gens en relativement bonne condition physique. À l'opposé, le test sous maximal évalue l'individu à des niveaux d'effort nettement inférieurs à 100% et jusqu'à 85% de la fréquence cardiaque maximale (Fc_{max}) dans le pire des cas (seuil d'arrêt des tests). Par exemple, l'astreinte cardiaque au dernier palier répertorié chez les sujets de Meyer et Flenghi était comprise entre 30 et 60% des capacités cardio-respiratoires (Meyer et Flenghi 1995). Le test sous maximal exige donc des niveaux d'effort physique jugés plus sécuritaires pour les sujets dont on ne connaît pas la santé cardio-respiratoire. Cette caractéristique explique le fait que les tests sous maximaux, beaucoup moins risqués et moins coûteux à administrer, soient plus répandus dans les centres de conditionnement physique ouverts à un large publique.

Les deux types de test (maximal et sous maximal) peuvent être réalisés de façon directe (avec mesure des gaz expirés) ou de façon indirecte (selon des niveaux d'effort ou de puissance prédéterminés). Un test sous maximal est généralement empreint d'erreur parce qu'il estime par

extrapolation linéaire la capacité maximale du sujet (à partir de mesures faites à des niveaux sous maximaux). Or, la relation Fc = f($\dot{V}O_2$) n'est pas linéaire dans les plages d'effort proche de $\dot{V}O_{2\max}$. L'avantage du test maximal est qu'il donne un résultat généralement plus valide puisqu'il amène le sujet au maximum de sa capacité ce qui élimine le recours à l'extrapolation.

De ce qui précède, le test indirect sous maximal sera généralement le moins précis parce qu'il cumule deux erreurs, soit celle liée à l'extrapolation et celle liée à la modélisation (plutôt que la mesure) de la relation Fc = f($\dot{V}O_2$). À l'inverse, la mesure directe de la $\dot{V}O_{2\max}$ produit les résultats les plus précis (Astrand et al. 2003). La mesure précise de la $\dot{V}O_{2\max}$ s'effectue typiquement en laboratoire au moyen d'un test direct maximal, soit en mesurant au moyen d'un appareillage précis, au cours d'un exercice dont l'intensité augmente continuellement et progressivement jusqu'à épuisement, la différence entre l'oxygène inhalé et l'oxygène exhalé par le sujet (la consommation d'oxygène). Lorsque le sujet arrive à l'effort maximum (juste avant l'épuisement), on mesure alors directement la $\dot{V}O_{2\max}$.

<u>Différents types de tests</u>. Il existe de nombreux tests maximaux et sous maximaux permettant d'évaluer la $\dot{V}O_{2\max}$ (ACSM 2001). Pour une population en bonne forme et habituée à l'exercice sur vélo et à la course à pied, il existerait une différence minime dans la $\dot{V}O_{2\max}$ obtenue sur vélo et à la course à pied (Pannier et al. 1980). Toutefois, la $\dot{V}O_{2\max}$ des cyclistes de compétition aurait tendance à être sous-estimée sur le tapis roulant (Hollman et al. 1971; Hagberg et al. 1978). En 1952, Astrand rapportait des $\dot{V}O_{2\max}$ similaires sur tapis et sur bicyclette stationnaire, mais après les travaux de Davies (1968) et Faulkner et al. (1971), il paraît évident que pour une population normale, les $\dot{V}O_{2\max}$ obtenues sur vélo sont plus basses que celles obtenues sur tapis roulant (Monbiedro 1991). Selon McArdle et Magel (1970), ces différences de $\dot{V}O_{2\max}$ pourraient s'expliquer par des quotients respiratoires plus élevés sur vélo et à un pourcentage relativement élevé de la $\dot{V}O_{2\max}$ atteint à des fréquences cardiaques sous-maximales sur vélo comparativement à celui atteint à des fréquences cardiaques similaires sur tapis roulant (Monbiedro 1991). Également, le test sur tapis roulant permet une activité physique plus conforme à la réalité d'une majorité de personnes (plusieurs ne font jamais de vélo) ce qui constitue un avantage. Costill et al. (1971) et Miyamura et Honda (1972) suggèrent que les tests sur vélo stationnaire impliquent une moindre masse musculaire, ce qui pourrait expliquer les valeurs plus basses de consommation maximale d'oxygène obtenues (Monbiedro 1991).

Une proportion importante des tests n'ont pas été validés (i.e., comparés à une référence sûre) ou l'ont été avec un test indirect, lequel comporte au départ une marge d'erreur parfois non négligeable. Par exemple, plusieurs tests sous maximaux ont été comparés à un test maximal indirect. C'est le cas du test de Meyer et Flenghi (1995) qui a été validé à l'aide d'un test de course navette de 20 mètres avec palier d'une minute de Léger (Leger et Lambert 1982; Gadoury et Leger 1986) lequel comporte déjà un certain niveau d'erreur par rapport à un test direct maximal sur tapis roulant. Même si les tests indirects maximaux donnent généralement des résultats intéressants, il apparaît difficile de s'y fier puisqu'ils comportent une marge d'erreur qui

n'est pas toujours bien documentée. À notre connaissance, seul le Physitest canadien modifié, s'effectuant sur banc escalier et largement utilisé au Canada, à été comparé à un test maximal sur tapis roulant (Weller et al. 1995). La corrélation entre les deux tests est élevée et aucune différence statistique n'a été relevée entre groupes d'âges et de sexes. Mais, d'un point de vue pratique ce test présente des inconvénients que le step-test de Meyer et Flenghi n'a pas. D'abord, le Physitest canadien modifié ne permet pas d'estimer la relation $\dot{V}O_2$ =f(Fc) uniquement à partir des valeurs de fréquence cardiaque mesurées aux différents paliers d'effort; les valeurs de consommation d'oxygène correspondant à chaque palier d'effort ne semblent pas facilement disponibles dans la littérature scientifique. Il requiert un banc beaucoup plus volumineux, donc moins portable et plus difficile à installer dans certaines conditions (ex., sur un terrain inégal comme en milieu forestier). Aussi, le Physitest requiert l'usage d'un système de son pour donner le rythme au sujet, lequel rythme varie de palier en palier, ce qui pour certains sujets peu présenter une difficulté suffisamment importante pour compromettre la validité du résultat (Meyer et Flenghi 1995).

2.0 Objectifs des travaux

Cette étude vise deux objectifs. Le premier consiste à valider le step-test de Meyer et Flenghi (1995) à l'aide d'un test à l'effort direct maximal sur tapis roulant. Ce dernier est considéré comme une référence (« gold standard ») de l'évaluation de la capacité cardio-respiratoire (Astrand et Rodahl 1986). La validation implique de quantifier l'écart (moyenne et variabilité) entre la valeur prédite par le step-test de Meyer et Flenghi (1995) et la valeur mesurée sur tapis roulant. On utilisera deux groupes d'âges en vue de voir si l'écart varie selon l'âge et ce, tout en fournissant des valeurs de capacité cardio-respiratoire pour des travailleurs québécois (des données difficiles à trouver à l'heure actuelle; il s'agit d'un objectif secondaire). Le second objectif consiste à évaluer l'impact de deux niveaux d'isolement vestimentaire sur la valeur de $\dot{V}O_{2\max}$ prédite par le step-test de Meyer et Flenghi.

3.0 Méthodologie

3.1 Sujets

Trente hommes dont 15 dans le groupe d'âge de 21-31 ans et 15 dans le groupe d'âge 39-46 ans ont participé à l'étude. Les données pour un sujet dans chacun des groupes d'âges ont dû être éliminées à cause de problèmes avec les équipements de mesure ayant rendu ces données inutilisables. Les sujets ont été recrutés dans différents milieux de travail et étaient rémunérés pour leur participation. Tous étaient non-fumeur, rapportaient être en bonne santé et faire une activité physique régulière. Ces conditions d'admissibilité ont été dictées par le comité d'éthique de la recherche avec des sujets humains de l'École Polytechnique sur la base des recommandations de l'ACSM (2001) en ce qui a trait à administration d'un test à l'effort maximal sans la présence d'un médecin.

Tous les sujets ont été avisés de ne boire ni alcool ni café le jour des tests et de s'abstenir de toute activité physique 24 heures avant de se présenter au labo afin d'éviter tout biais en raison d'une fatigue accumulée.

Afin de maintenir les coûts de l'étude au minimum, nous avons choisi de n'utiliser que des sujets masculins. Le recours à des femmes aurait eu pour effet de doubler le coût de l'étude. Évidemment, il serait fort intéressant de mener l'étude aussi avec des femmes ne serait-ce que pour avoir une estimation de la capacité cardio-respiratoire de femmes québécoises appartenant aux deux groupes d'âges correspondants. Par ailleurs, si le test est valide pour des hommes, il le sera vraisemblablement pour des femmes.

3.2 Équipements

Les équipements principaux utilisés sont un tapis roulant, un analyseur de gaz expirés Moxus (MOXUS Metabolic System) disponibles au Département de kinésiologie de l'Université de Montréal, un banc de step-test pour le test de Meyer et Flenghi (1995) et un transmetteur de cardiofréquencemètre de marque Polar Électro, modèle T-61 coded. Un récepteur, également de marque Polar (Polar Receiver Plug-in) branché à l'appareil Moxus recevait les fréquences cardiaques et les synchronisait aux mesures des gaz expirés. La fréquence cardiaque et les échanges gazeux ont été obtenus à intervalles de 30 secondes durant toute la durée de chaque test à l'effort.

3.3 Tests réalisés par les sujets

Chaque sujet a exécuté dans un ordre aléatoire 3 tests à l'effort:

1. Test maximal sur tapis roulant;
2. Test sous maximal sur banc (step-test) de Meyer et Flenghi, avec tenue légeère (0,41 Clo);
3. Test sous maximal sur banc de Meyer et Flenghi, avec tenue de travail (1 Clo).

Dans le premier et le second test, les sujets étaient vêtus de souliers de course, d'un short et d'un chandail à manche courte. Cet habillement offrait un isolement vestimentaire de 0,41 Clo selon la

norme ISO9220 (1995). Dans le troisième test, le sujet portait un vêtement offrant un isolement vestimentaire d'environ 1 Clo constitué des vêtements précédents en ajoutant un pantalon de travail épais et une chemise de coton à manches longues. Cet habillement était fourni par le laboratoire de la Chaire de recherche du Canada en ergonomie.

Dans le cas du test maximal, il s'agit d'une épreuve progressive sur tapis roulant où la vitesse est augmentée de 1 km/h à toutes les 2 minutes jusqu'à l'atteinte de la vitesse maximale par le sujet. La pente y est constamment maintenue à 0%. Par la suite le sujet doit se reposer durant 5 minutes. Ce test est standardisé et largement utilisé dans les cliniques et les centres de conditionnement physique où le tapis roulant est utilisé. Ce test direct maximal permet une évaluation précise de la $\dot{V}O_{2\max}$ d'une personne (Astrand et Rodahl 1986). La $\dot{V}O_{2\max}$ était considérée comme atteinte lorsque: 1) la $\dot{V}O_2$ plafonnait et/ou 2) le quotient respiratoire (QR) était d'au moins 1.10 (Lampert 1998). Comme les sujets sont habituellement familiers avec la marche et la course, il est plus facile de faire un test impliquant ce type d'activité. La vitesse de départ se situait entre 8 et 10 km/h et la durée entre 8 et 18 minutes. Les sujets devaient courir jusqu'à fatigue maximale. Dans tous les cas, le test a été arrêté par le sujet lui-même, rendu à épuisement, et au moins un des critères susmentionnés était atteint.

Pour le deuxième test, la procédure proposée par Meyer et Flenghi (1995) était suivie. Ainsi, le test était réalisé à l'aide d'un banc en aluminium d'une hauteur maximale de 42 cm muni d'une marche en bois d'une surface de 50 cm par 50 cm. La marche coulisse dans des glissières situées à 10, 20, 30 et 40 cm de hauteur. Durant l'épreuve, la marche est placée successivement dans chacune des glissières, déterminant ainsi 4 paliers d'effort (chacun était situé précisément à une hauteur de 11,5, 21,5, 31,5 et 41,5 cm respectivement) tel que définis dans le protocole de Meyer et Flenghi (1995). Un métronome rythme la fréquence de montée à 15 fois par minute, soit un pas par seconde. L'épreuve débute avec un repos assis de 5 minutes (que les auteurs nomment le Palier 1) suivi d'un repos debout de 2 minutes. Par la suite, le sujet doit effectuer successivement chacun des 4 paliers d'effort d'une durée de 3 minutes chacun (Palier 2 à 5). Entre chaque paire de paliers d'effort, un repos de 30 secondes permet à l'expérimentateur d'augmenter la hauteur de la marche en prévision du palier suivant. Le sujet est libre d'alterner la montée avec une jambe ou l'autre, mais il doit poser les deux pieds au sol et sur la marche, se tenir debout droit sur cette dernière et suivre le rythme fixé à 15 montées par minutes au moyen d'un métronome. La moyenne des fréquences cardiaques enregistrées à l'aide du cardiofréquencemètre durant la dernière minute de chaque palier est retenue. Cette valeur est jumelée à une $\dot{V}O_2$ estimée selon l'équation fournie par Meyer et Flenghi (1995). Les 5 couples de valeurs (Fc, $\dot{V}O_2$) (un couple par palier) sont ensuite utilisés pour produire une droite de régression linéaire (ex., dans Excel) décrivant la relation Fc = f($\dot{V}O_2$) du sujet. La $\dot{V}O_{2\max}$ est enfin obtenue en extrapolant cette relation jusqu'à une fréquence maximale estimée par 220 moins l'âge du sujet.

Le troisième test est identique au second à l'exception du fait que le sujet portait une tenue vestimentaire fournissant une isolation plus importante et comparable à un isolement vestimentaire type d'un travailleur.

3.4 Procédure au laboratoire

À son arrivée au labo, on administrerait le Questionnaire d'aptitude à l'activité physique (Q-AAP) (Santé Canada 2002; ACSM 2001) au sujet. S'il était autorisé à continuer (aucune réponse positive au Q-AAP), on lui expliquait le déroulement de l'étude, les risques possibles, les règles de sécurité puis on lui faisait signer un formulaire de consentement pour sa participation. Ensuite, on lui demandait de se vêtir pour le test, puis on lui installait les équipements (cardio-fréquencemètre et masque de collection des gaz expirés). Suivait alors le test lui-même. À la fin du test, après avoir retiré le masque de collecte des gaz expirés, le sujet était invité à se reposer en s'assoyant sur le lit adjacent jusqu'à sa récupération complète, soit au retour de sa fréquence cardiaque à sa valeur de repos. Il lui était également permis de marcher et de boire de l'eau avant ou pendant la récupération s'il en sentait le besoin. Ensuite, on organisait avec lui la rencontre suivante.

3.5 Analyses statistiques

L'écart entre la valeur de $\dot{V}O_{2\max}$ obtenue par le step-test en tenue légère et celle obtenue par le test sur tapis roulant a été calculé pour chacun des sujets. Un test de Student pour valeurs appariées a été utilisé pour déterminer si l'écart moyen dans chaque groupe d'âge est significativement ($p<0.05$) différent de zéro (logiciel JMP 7 de SAS Institute). La même procédure a été répétée pour comparer les résultats du troisième test au test sur tapis roulant afin de déterminer l'effet de l'augmentation de l'isolement vestimentaire. Ces résultats permettent d'une part de situer le step-test par rapport à un test de référence (test maximal sur tapis roulant)(Objectif #1) et d'autre part, de décrire l'effet de la tenue vestimentaire sur la valeur prédite par le step-test (Objectif #2).

Comme les échanges gazeux ont été mesurés en continu lors des trois tests, les valeurs réelles de consommation d'oxygène pour chacun des paliers du step-test de Meyer et Flenghi ont pu être déterminées pour notre étude. Notons que la mesure des échanges gazeux n'est pas requise pour ce step-test.

4.0 Résultats

Le tableau 1 fournit des informations descriptives concernant les groupes de sujets et présente les résultats de $\dot{V}O_{2max}$ mesurées (test sur tapis roulant) et estimées en suivant la procédure normale du step-test de Meyer et Flenghi (1995).

Tableau 1: Description des groupes de sujets et résultats de $\dot{V}O_{2max}$ (valeur moyenne ± écart-type).

Groupe d'âge	Âge	Poids (kg)	Taille (m)	IMC	$\dot{V}O_{2max}$ Moxus (mlO_2/kg/min)	$\dot{V}O_{2max}$ Meyer Tenue légère (mlO_2/kg/min)	$\dot{V}O_{2max}$ Meyer Tenue de travail (mlO_2/kg/min)
21-31 (N=14)	27.0 ±2.7	81.4 ±11.6	1.77 ±0.08	26 ±2.5	45.1 ±5.1	45.9 ±8.6	43.9 ±7.3
39-46 (N=14)	42.9 ±2.2	76.3 ±10.4	1.75 ±0.06	25 ±4.1	43.0 ±7.1	42.2 ±10.1	39.2 ±8.5*
Tous (N=28)	34.9 ±8.4	78.8 ±11.2	1.76 ±0.07	25.5 ±3.4	44 ±6.2	44 ±9.4	41.5 ±8.1

* différence statistiquement significative avec la $\dot{V}O_{2max}$ Moxus

Selon les données de l'enquête Campbell (1988), la $\dot{V}O_{2max}$ mesurée avec le test maximal (Moxus) se situait chez les 21-31 ans, sous la valeur 15e centile du groupe d'âge pour 7 sujets, autour de la moyenne pour 4 sujets et au-delà du 85e centile pour les trois autres sujets. Chez les sujets plus âgés, 2 étaient sous la valeur 15e centile de leur groupe d'âge, 1 entre le 15e et le 25e centile, 5 autour de la moyenne, 1 entre le 75e et le 85e centile et 5 au-delà du 85e centile. Les valeurs de référence fournies par Meyer et Flenghi (1995) sont moins sévères. Selon ces auteurs, dans le groupe des 21-31 ans, 1 sujet avait une capacité cardio-respiratoire médiocre, 4 avaient une capacité moyenne, 6 une bonne capacité et 3 une très bonne capacité. Dans le groupe des 39-46 ans, 2 sujets étaient dans la catégorie moyenne, 6 avaient une bonne capacité et 6 une très bonne capacité. En bref, le groupe des plus âgés comptait un plus grand nombre de sujets ayant une capacité se situant dans les valeurs centiles supérieures de leur groupe d'âge. En ce qui a trait à l'indice de masse corporelle, 6 sujets du groupe des 21-31 ans avaient un poids normal alors que les autres avaient un excès de poids. Pour les 39-46 ans, 6 avaient un poids normal, 5 un excès de poids et 2 une obésité de classe 1 selon Santé Canada (2002).

Lorsque la tenue vestimentaire est légère, la différence entre la $\dot{V}O_{2max}$ moyenne du groupe estimée avec le step-test de Meyer et Flenghi (1995) et celle mesurée avec le test maximal sur tapis roulant (Moxus) est petite pour les deux groupes d'âge. La différence n'est pas statistiquement significative à $p<0.05$. Avec la tenue vestimentaire normale, la différence n'est pas significative pour les plus jeunes, mais elle l'est pour le groupe plus âgé ($t_{13} = 2.45$, $p<0.0147$). Ce résultat indique que si des sujets plus âgés portent une tenue vestimentaire normale lorsqu'on leur administre le step-test de Meyer et Flenghi (1995), alors on peut s'attendre à sous estimer la $\dot{V}O_{2max}$ réelle moyenne du groupe d'environ 9%. La figure 1 montre la relation entre la $\dot{V}O_{2max}$ mesurée sur tapis roulant prédite à partir de celle estimée par le step-test pour chaque tenue vestimentaire; chaque droite décrivant la relation pour une tenue vestimentaire

utilise les 28 sujets. De façon générale, le step-test sous estime la capacité réelle des sujets dans un peu plus de la moitié des cas (points au-dessus de la ligne bleue) et particulièrement pour les sujets plus âgés qui ont une capacité réelle inférieure à 35-36 mlO_2/kg/min. Le step-test a tendance à sous estimer la capacité réelle lorsque celle-ci est inférieure à 40 mlO_2/kg/min et à la surestimer lorsqu'elle est supérieure à 50 mlO_2/kg/min.

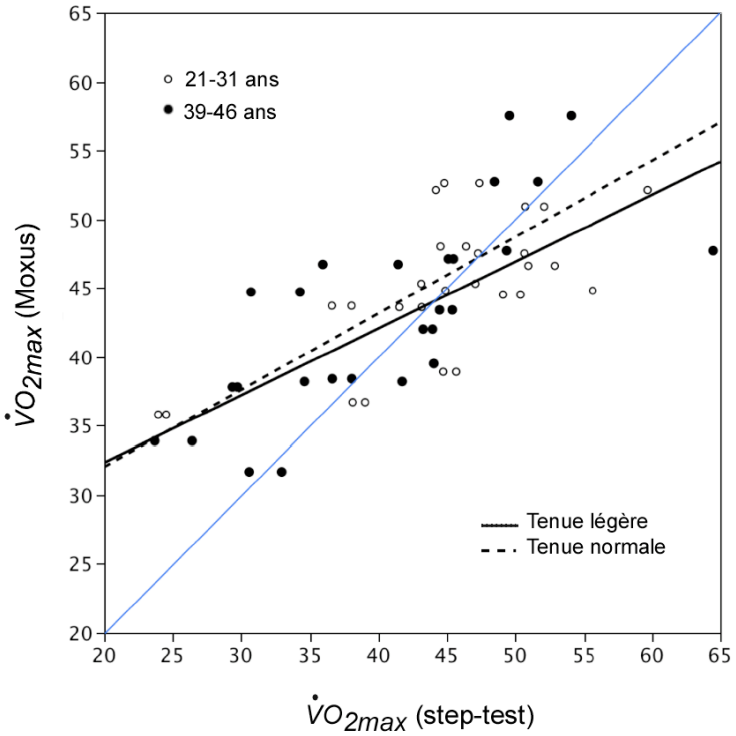

Figure 1: $\dot{V}O_{2\max}$ mesuré avec le Moxus vs $\dot{V}O_{2\max}$ estimée avec le step-test (mlO_2/kg/min).

L'erreur standard de l'estimation (RMSE ou SEE) de la droite de régression décrivant la $\dot{V}O_{2\max}$ mesurée avec l'appareil Moxus en fonction de la $\dot{V}O_{2\max}$ déterminée par le step-test (i.e., estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ réelle à partir du step-test) est 9% pour les 21-31 ans (3.9 mlO_2/kg/min) et 11% pour les 39-46 ans (4.9 mlO_2/kg/min), avec la tenue légère. L'erreur correspondante pour la tenue normale est très semblable: 9% pour les 21-31 ans (4.0 mlO_2/kg/min) et 11% pour les 39-46 ans (4.9 mlO_2/kg/min).

4.1 Fc et $\dot{V}O_2$ selon le palier

Le tableau 2 montre les valeurs moyennes (±écart-types) des fréquences cardiaques mesurées aux différents paliers du step-test, les valeurs correspondantes de $\dot{V}O_2$ mesurées par l'appareil Moxus et les valeurs de $\dot{V}O_2$ estimées par la relation fournie par Meyer et Flenghi (1995), et ce pour la tenue vestimentaire légère. Les valeurs de $\dot{V}O_2$ estimées avec la relation de Meyer et Flenghi sont toutes inférieures à celles réellement mesurées par l'appareil Moxus et, pour chacun des paliers

un test de Student pour données appariées indique que la différence est statistiquement significative à p<0.001 sauf pour le palier 4.

Tableau 2 : Moyennes (±écart-types) des fréquences cardiaques, des $\dot{V}O_2$ mesurées (Moxus) et des $\dot{V}O_2$ estimées aux différents paliers du step-test avec la relation fournie par Meyer et Flenghi (1995) (tous les sujets et tenue vestimentaire légère).

Palier	N	Fc (bpm)	$\dot{V}O_2$ mesuré Moxus ($mlO_2/kg/min$)	$\dot{V}O_2$ estimé Meyer et Flenghi ($mlO_2/kg/min$)
1 (repos)	28	75.8 ±12.7	4.3 ±0.74	3.7 ±0.16*
2	28	91.8 ±13.8	10.7 ±1.01	9.6 ±0.08*
3	28	101.3 ±14.5	14.3 ±1.38	13.7 ±0.05*
4	28	111.9 ±15.6	18.0 ±1.50	17.5 ±0.04
5	28	125.9 ±16.9	22.8 ±1.44	21.2 ±0.03*

* Différence significative à p<0.001 entre la valeur mesurée et estimée.

4.2 Classification de la $\dot{V}O_{2max}$ et tenue vestimentaire

D'un point de vue pratique, il est utile de déterminer comment la capacité cardio-respiratoire de chaque sujet suite au step-test de Meyer et Flenghi est catégorisée selon les données de référence (ex., enquête Campbell 1988; Meyer et Flenghi 1995) et de voir comment cette catégorisation est affectée par la tenue vestimentaire portée lors du step-test. Le tableau 3 fournit cette information lorsque les données de référence de l'enquête Campbell (1988) sont utilisées, alors que le tableau 4 utilise les données présentées par Meyer et Flenghi (1995). Avec les données de référence de l'enquête Campbell, la catégorisation est juste dans 50% à 57% des cas. Les cas pour lesquels la catégorisation est en erreur de 2 classes ou plus représentent 36% (5 cas sur 14) sauf pour la tenue normale avec les sujets plus âgés où ils comptent pour 21% (3 cas). Le fait de majorer de 10% la $\dot{V}O_{2max}$ de ces sujets lorsqu'ils portent une tenue normale durant le step-test n'améliore pas la catégorisation. Lorsqu'on utilise la catégorisation de Meyer et Flenghi (1995), les résultats sont similaires pour les jeunes sujets pour les deux tenues vestimentaires ainsi que pour les sujets plus âgés en tenue légère (i.e., 43% à 57% de catégorisations justes). Par contre, lorsqu'on majore de 10% la $\dot{V}O_{2max}$ de ces sujets lorsqu'ils portent une tenue normale durant le step-test, la catégorisation est légèrement améliorée (i.e., le nombre d'erreurs de catégorisation plus extrêmes est moindre).

Tableau 3: Catégorisation de la $\dot{V}O_{2\max}$ obtenue avec le step-test de Meyer et Flenghi selon la tenue portée durant le test (données de l'enquête Campbell 1988).

Groupe d'âge	Tenue légère	Tenue normale
21-31 ans:		
Surestimation de 2 catégories et +	4	2
Surestimation de 1 catégorie		2
Évaluation juste	8	7
Sous-estimation de 1 catégorie	1	
Sous-estimation de 2 catégories et +	1	3
39-46 ans:		
Surestimation de 2 catégories et +	2	(3)*
Surestimation de 1 catégorie	1	2 (1)
Évaluation juste	7	8 (6)
Sous-estimation de 1 catégorie	1	1 (2)
Sous-estimation de 2 catégories et +	3	3 (2)

*les valeurs entre parenthèses donnent la catégorisation lorsque la $\dot{V}O_{2\max}$ est majorée de 10%

Tableau 4: Catégorisation de la $\dot{V}O_{2\max}$ obtenue avec le step-test de Meyer et Flenghi (1995) selon la tenue portée durant le test (données de Meyer et Flenghi 1995).

Groupe d'âge	Tenue légère	Tenue normale
21-31 ans:		
Surestimation de 1 catégorie	5	3
Évaluation juste	6	7
Sous-estimation de 1 catégorie	3	4
39-46 ans:		
Surestimation de 1 catégorie	2	2 (3)*
Évaluation juste	8	6 (7)
Sous-estimation de 1 catégorie	3	3 (3)
Sous-estimation de 2 catégories et +	1	3 (1)

*les valeurs entre parenthèses donnent la catégorisation lorsque la $\dot{V}O_{2\max}$ est majorée de 10%

4.3 Relation $\dot{V}O_2$ =f(Fc)

L'équation suivante donne la relation entre la $\dot{V}O_2$ mesurée avec l'appareil Moxus durant le step-test avec tenue vestimentaire normale et la fréquence cardiaque (Fc) mesurée à chaque palier:

Tous les sujets confondus: $\dot{V}O_2$ ($mlO_2/kg/min$) = 0.2132 x Fc – 6.3616

R^2 = 0.66, RMSE = 2.86 (ou 17% de la valeur moyenne), $F_{1,106}$=205.81, $p<0.0001$

Cette équation peut par exemple servir à estimer la dépense énergétique d'un homme portant une tenue de travail correspondant à environ 1 Clo d'isolement à partir de sa fréquence cardiaque mesurée durant le travail au moyen d'un cardiofréquencemètre. Il faut connaître le poids du sujet. La valeur estimée de la $\dot{V}O_2$ est ensuite multipliée par le poids du sujet et divisée par 1000 pour obtenir une dépense énergétique en litre d'oxygène par minute. Connaissant la RMSE, il est aisé de calculer une valeur centile ou un intervalle de confiance sur une valeur estimée. Il est important de noter que la marge d'erreur aux valeurs basses de Fc est relativement importante avec cette équation et donc, il faut l'utiliser avec prudence.

5.0 Discussion

Les résultats de cette étude montrent que le step-test de Meyer et Flenghi (1995) estime bien la capacité cardio-respiratoire établie à l'aide d'un test maximal à l'effort sur tapis roulant pour un groupe de sujets portant une tenue légère au moment du test. La différence entre les moyennes de groupe (estimation par le step-test vs test maximal) est de moins de 0.8 mlO_2/kg/min, soit 1.8% de la valeur moyenne (44 mlO_2/kg/min). Le test tel que conçu apparaît donc relativement précis pour estimer la $\dot{V}O_{2\max}$ moyenne d'un groupe de sujets. Par ailleurs, l'erreur standard d'estimation (RMSE ou SEE) selon le groupe d'âge et la tenue vestimentaire portée oscille entre 9% (3.9 ml O_2/kg/min) et 11% (4.9 ml O_2/kg/min) ce qui est comparable aux 4.3 ml O_2/kg/min de Sykes et Roberts (2004) et moindre que le 6.1 ml O_2/kg/min du Physitest canadien modifié (Weller et al. 1995 p.6). Cette erreur est également très similaire à celle rapportée par Devries et Klafs (1965) et légèrement supérieure à celle trouvée par Louhevaara et al. (1980). Les résultats de cette étude montrent que la précision de l'estimation de la capacité cardio-respiratoire à l'aide du step-test de Meyer et Flenghi (1995) pour un groupe de sujets est comparable à celle d'autres tests du même type.

Les résultats montrent par ailleurs que pour le groupe de sujets plus âgés, le fait de porter une tenue vestimentaire de travail (normale) lors du step-test de Meyer et Flenghi mène à une sous estimation moyenne de 9% de la capacité cardio-respiratoire réelle. Brouha (1963) avait montré que les sujets plus âgés ont plus de difficulté à évacuer la chaleur corporelle. Cet auteur a montré que pour un travail physique donné, lorsque les conditions d'ambiance deviennent plus chaudes, la fréquence cardiaque du sujet s'accroît. Or, l'isolement vestimentaire est l'un des facteurs de l'ambiance thermique chaude. Il apparaît donc que le résultat du step-test soit directement influencé par ce phénomène. Le fait de sous-estimer la capacité cardio-respiratoire suite au test risque de mener à une organisation du travail plus conservatrice, soit d'un régime d'alternance travail-repos comportant une allocation de repos plus importante que nécessaire. Si on veut éviter cette situation il faut, pour le groupe d'âge des 39 à 46 ans, majorer de 10% la valeur obtenue lors du step-test si la tenue vestimentaire portée était normale (i.e., autour de 1 Clo). Par contre, si le travail est réalisé dans un environnement où il y a risque de contrainte thermique chaude, il peut être plus sécuritaire de ne pas appliquer la majoration afin mieux de protéger le travailleur. Une telle correction n'apparaît pas nécessaire pour les sujets plus jeunes.

Lors d'une étude sur les lieux du travail, les sujets ne sont pas toujours disposés à changer de vêtement pour les besoins d'un step-test. Celui-ci est généralement administré en début de journée alors que le sujet arrive au travail et qu'il a hâte de débuter son quart de travail, ce qui est le cas en particulier lorsqu'il est payé au rendement. Il est donc plus commode d'administrer le step-test avec les vêtements habituels de travail ce qui peu mener à une sous-estimation de la $\dot{V}O_{2\max}$ réelle pour les sujets plus âgés tel que le montrent nos résultats. Il apparaît donc opportun de majorer de 10% la $\dot{V}O_{2\max}$ estimée avec le step-test dans ces conditions (tenue vestimentaire normale et âge de 39 ans ou plus). La moyenne des valeurs majorées pour un groupe de sujets sera plus proche de la moyenne des valeurs réelles.

Les résultats montrent que la catégorisation des capacités cardio-respiratoires individuelles évaluées par un step-test est juste dans environ 50% des cas lorsqu'on utilise les catégories

proposées par Campbell (1988) et par Meyer et Flenghi (1995). Ce résultat est comparable à d'autres tests sous-maximaux (Astrand et al. 2003). Meyer et Flenghi proposent des catégories plus large ce qui permet de réduire les erreurs de catégorisation extrêmes (2 catégories ou plus). Le fait de majorer de 10% la $\dot{V}O_{2\max}$ des sujets plus âgés lorsqu'ils portent une tenue normale durant le step-test améliore légèrement la catégorisation utilisant les valeurs de référence de Meyer et Flenghi (1995). Ce n'est pas le cas pour les données de Campbell (1988). Il faut donc retenir que, tel que le montrent la figure 1 et les tableaux 3 et 4, lorsqu'on cherche à estimer la capacité cardio-respiratoire réelle d'une personne en lui faisant passer un step-test, on se trompe environ une fois sur deux.

Le grand plus grand intérêt du step-test de Meyer et Flenghi (1995) est d'abord et avant tout le fait qu'il permet d'établir facilement, rapidement sur les lieux du travail et à faible coût la relation Fc-$\dot{V}O_2$ pour un sujet. Cette relation est nécessaire pour l'estimation de la dépense énergétique de différentes activités réalisées au cours d'une journée de travail à partir de la mesure de la Fc au cours de la journée. La mesure de la Fc est simple et peu intrusive contrairement à la mesure de la $\dot{V}O_2$ durant le travail ce qui explique que la Fc soit une mesure de choix pour ce type d'étude. Là où il ne serait pas possible d'administrer en début de journée un step-test aux sujets à l'étude, l'équation reliant la $\dot{V}O_2$ et la fréquence cardiaque données ci-dessus offre une alternative pour autant qu'on puisse mesurer la fréquence cardiaque le travail et qu'on connaisse le poids du travailleur dont la Fc est mesurée. Cette équation ne peut cependant pas être utilisée pour des femmes.

La présente étude apporte une information fort utile quant à la condition physique d'un échantillon de québécois représentant mieux les travailleurs que ce qui est typiquement rapporté dans des études comparables. Par exemple, le step-test de Meyer et Flenghi a été développé avec un groupe de sujets masculins relativement jeunes (âge moyen de 29.5 ans), puis validé avec un groupe d'étudiants en éducation physique (âge moyen de 20.6 ans). Il serait fort intéressant de poursuivre ces travaux avec une population de femmes ainsi qu'avec des groupes de travailleurs plus âgés afin de permettre une estimation de la condition physique basée sur le step-test de Meyer et Flenghi (1995) qui soit plus précise pour ces groupes de travailleurs. La présente étude est limitée aux travailleurs masculins dans les groupes d'âge étudiés. L'utilisation des résultats de cette étude pour des femmes et des sujets d'âges différents commande la prudence.

6.0 Conclusion

Cette étude montre que le step-test de Meyer et Flenghi (1995) permet d'estimer de façon assez précise la capacité cardio-respiratoire moyenne d'un groupe de sujets portant une tenue vestimentaire légère lors du test (objectif 1). La précision obtenue avec ce test se compare à celle d'autres tests du même type. Par contre, il apparaît que le step-test sous-estime la $\dot{V}O_{2\max}$ réelle d'environ 9% lorsque les sujets sont plus âgés et portent une tenue vestimentaire normale, soit une tenue offrant une isolation d'environ 1 Clo (objectif 2). Dans ce cas, la précision de l'estimation peut être améliorée en majorant de 10% la $\dot{V}O_{2\max}$ estimée avec le step-test. Les résultats de cette étude ont aussi permis de développer une équation reliant la $\dot{V}O_2$ et la fréquence cardiaque. Cette relation est utile à l'estimation de la dépense énergétique d'une activité de travail réalisée par des hommes portant une tenue normale.

7.0 Références

American College of Sport Medicine, (2001), ACSM's Guidelines for prescription. 6e éd., Lippincott, Williams et Wilkins, USA, 368 p.

Astrand, P.O. et Rodahl, K. (1986). Textbook of Work Physiology – Physiological bases of exercise. McGraw Hill, New York, 756p.

Astrand, P.O., Rodahl, K., Dahl, H.A., Stromme, S.B. (2003). Textbook of Work Physiology – Physiological bases of exercise. 4th ed., Human Kinetics, Windsor, Ontario, 650p.

Brouha, L. (1963) Physiologie et industrie. Gauthier-Villards ed. Paris.

Buchfuhrer et al. (1982). Optimizing the work rate protocol for clinical exercise tests, Am. Rev. Resp. Dis., No 125: 259

Chengalur, Rodgers, Bernard, (2004). Kodak's Ergonomic Design for People at Work, 2e éd., John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 704p.

Costill, D.L., Branam, G., Eddy, D., Sparks, K. (1971). Determinants of marathon running success. European Journal of Applied Physiology, 29, 3, 249-254

Davies, C. (1968). Limitations to prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements, Journal of Applied Physiology**,** 24, 700-706.

Devries, H.A. and Klafs, C.E. (1965). Prediction of maximal oxygen intake from submaximal tests. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 5, 4, 207-214.

Faulkner, J.A., Roberts, D.E., Elk, R.L., Conway, J. (1971). Cardio-vascular responses to submaximum effort cycling and running, Journal of Applied Physiology, 30, 457-461.

Gadoury, C., Léger, L (1986). Validité de l'épreuve de course navette de 20 m avec paliers de 1 minute et du Physitest canadien à 2 marches pour prédire le $\dot{V}O_{2\max}$ des adultes. Revue des sciences et techniques des activités physiques et sportives (STAPS), 7(13), 57-68.

Hagberg, J.M., Giese, M.D., Schneider, R.B. (1978). Comparison of the three procedures for measuring $\dot{V}O_{2\max}$ in competitive cyclists, European Journal of Applied Physiology, 39, 47-52.

Imbeau, D., Dubeau, D., Farbos, B. (2007a). Étude ergonomique d'un nouveau traitement sylvicole. Rapport de recherche accepté pour publication pour l'IRSST (Juin 2007), IRSST, Montréal, Qc, 29 pages.

Imbeau, D., René, F., Farbos, B. (2007b). Travail de nettoyage au jet d'eau HP: astreinte cardiaque et organisation du travail. Rapport de recherche accepté pour publication pour l'IRSST (Août 2007), IRSST, Montréal, Qc, 29 pages.

Léger, L., Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict $\dot{V}O_{2\max}$. European Journal of Applied Physiology, 49, 1-12.

Louhevaara, V., Ilmarinen, J., Oja, P. (1980). Comparison of the Astrand nomogram and the WHO extrapolation methods for estimating maximal oxygen uptake. Scandinavian Journal of Sports Medicine, 2, 21-25.

Mairiaux, P. et Malchaire, J. (1990). Le travail en ambiance chaude – Principes, méthodes, mise en oeuvre. Paris: Masson.

McArdle, W.D., Katch, F. et Katch, V. (2001). Physiologie de l'activité physique: énergie, nutrition et performance. Maloine/Edisem. 4e éd. Paris. 711 p.

McArdle, W.D. et Magel, J.R. (1970). Physical work capacity and maximum oxygen uptake in treadmill and bicycle exercise, Medicine and Science in Sports and Exercise, 3, 118-123.

Meyer, J.-P. et Flenghi, (1995). Détermination de la dépense énergétique de travail et des capacités cardio-respiratoires maximales à l'aide d'un exercice sous-maximal sur step-test, Documents pour le Médecin du travail, No 64, 4e trimestre. France: INRS.

Monbiedro, C. (1991). Validation du test de course navette de 20m pour prédire le $\dot{V}O_{2max}$ d'athlètes d'endurance, Mémoire de maîtrise présenté à la faculté des études supérieures du Département d'éducation physique de l'Université de Montréal, 164 pages.

Miyamura, M. et Honda, Y. (1972). Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and bicycle exercise, Journal of Applied Physiology, 32, 185-188.

Organisation internationale de normalisation (ISO)(1995). Ergonomie des ambiances thermiques – Détermination de l'isolement thermique et de la résistance à l'évaporation d'une tenue vestimentaire. - ISO 9920. Genève.

Organisation internationale de normalisation (ISO)(2004). Ergonomie de l'environnement thermique – Détermination du métabolisme énergétique. - ISO 8996. Genève.

Organisation internationale de normalisation (ISO)(2004). Ergonomie des ambiances thermiques – Détermination analytique et interprétation de la contrainte thermique fondées sur le calcul de l'astreinte thermique prévisible (PHS). - ISO 7933. Genève.

Pannier, J.L., Vrijens, J., Cauter, C. (1980). Cardio-respiratory response to treadmill and bicycle exercise in runners, European Journal of Applied Physiology, 43, 243-251.

Rodgers, S.H. (1986). Ergonomics Design for People at Work – Volume 2. New-York: Van Nostrand Reinhold.

Rowell, L.B., Taylor, H.L., Wang, Y. (1964). Limitations to prediction of maximal oxygen intake, Journal of Applied Physiology, 19, 919-927.

RSST. Règlement sur la santé et la sécurité du travail. Annexe V. accédé sur le web le 11 octobre 2007 à: http://www2.publicationsduquebec.gouv.qc.ca/dynamicSearch/telecharge.php?type=3&file=/S_2_1/S2_1R19_01.htm

Santé Canada (2002). Questionnaire sur l'aptitude à l'activité physique – Q-AAP. Document accédé sur le web le 11 octobre 2007 à: http://www.csep.ca/communities/c576/files/hidden/pdfs/q-aap.pdf

Spitzer, H. et Hettinger, T. (1965). Tables donnant la dépense énergétique en calories pour le travail physique, collection Cahiers du BTE, #302-04.

Sykes, K. and Roberts, A. (2004). The Chester step-test – a simple yet effective tool for the prediction of aerobic capacity. Physiotherapy, 90, 183-188.

Weller, I. M. R., Scott G. T., Gledhill, N., Paterson, D., Quinney, A. (1995). A study to validate the modified Canadian aerobic fitness test. Canadian Journal of Applied Physiology, 20, 2, 211-221.