

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

COMPARAISON DE DEUX OUTILS DE MESURE POUR ÉVALUER
L'APTITUDE AÉROBIE CHEZ DES PERSONNES ÂGÉES NE
PRÉSENTANT AUCUNE PATHOLOGIE CHRONIQUE.

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
SÉBASTIEN DUVERGÉ

NOVEMBRE 2007

0000000000

0000000000

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

AVANT-PROPOS.

Il existe aujourd'hui un consensus sur la nécessité de maintenir nos aînés en santé afin d'alléger le fardeau fiscal inhérent à la prise en charge du vieillissement de la population occidentale.

Néanmoins, les budgets de recherche et les politiques convergent plus vers le traitement des différentes pathologies que sur la prévention et la conservation de la condition physique de nos aînés. Ce phénomène induit un relâchement certain au niveau de l'attention offerte à l'évaluation de la condition aérobie des aînés.

Les personnes âgées en santé ne bénéficient que très peu des progrès réalisés en sciences de l'entraînement. De ce fait, cette population se contente d'outils d'évaluation provenant des recherches sur des populations pathologiques.

Ces outils ne favorisent pas des évaluations optimales et tendent à sous estimer les capacités des sujets. Ainsi, les données récoltées faussent la prescription d'exercices qui en découle.

Ce phénomène provoque un manque terrible au niveau du potentiel d'amélioration des personnes âgées et, de ce fait, de l'amélioration de leur état de santé.

Un nouvel outil plus précis permettrait une amélioration de l'évaluation et ainsi l'optimisation des prescriptions en découlant.

REMERCIEMENTS.

En premier lieu, je tiens à remercier ma femme Marie-France pour sa patience et ses encouragements permanents concernant la poursuite de mes études. C'est grâce à elle que je réussis à compléter ce mémoire. Il n'y aura jamais de mots assez éloquents pour lui exprimer ma reconnaissance pour tous ces moments où elle a fait abstraction de ses propres peurs ou de ses propres problèmes. Merci pour son soutien inconditionnel!

Merci au Dr Michel Portmann qui, malgré un emploi du temps plus que surchargé, a pris le temps d'être le membre interne de mon comité d'évaluation. En plus d'avoir été une référence comme professeur lors de mon baccalauréat, il m'a soutenu dans mon projet de recherche.

Merci au Dr Jean P Boucher pour avoir réussi à démystifier l'analyse statistique. Son aide lors de son cours pratique sur le logiciel SPSS restera un tournant de ma maîtrise tant au niveau de

l'avancée du projet qu'au niveau de la compréhension de l'analyse elle-même. Sa vulgarisation des statistiques a été d'un grand secours lors de mes réflexions.

Un grand merci au Dr Alain S. Comtois qui a accepté de m'encadrer comme étudiant au second cycle. Il a été plus qu'un directeur de maîtrise, il a su me proposer de multiples projets afin que je puisse développer mes compétences dans un domaine où je me sente bien. Il a toujours répondu à mes questions concernant la faisabilité de certains projets (physiologie de l'altitude). Il a fait preuve d'une flexibilité remarquable concernant l'avancé de mon projet tout en m'offrant une multitude d'applications futures pour celui-ci. Mais, au-delà de l'aspect académique, il a fait preuve d'une rare humanité concernant tous mes questionnements. Je me sens très privilégié d'avoir profité de son encadrement et de son ouverture d'esprit.

Merci de m'avoir fait confiance!

Enfin, un grand merci à l'institution de l'université du Québec à Montréal pour son humanité et son absence de condescendance. Un grand choc culturel pour un français de pouvoir jouir de telles relations avec des professeurs d'université. C'est grâce à vous tous que j'ai réussi mon intégration dans votre société. Merci pour tout!

TABLE DES MATIÈRES

AVANT-PROPOS	ii
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES ACRONYMES	x
RÉSUMÉ	xi
CHAPITRE I	
INTRODUCTION	1
1.1 Organisation du mémoire	3
CHAPITRE II	
REVUE DE LITTÉRATURE	4
2.1 L'importance de la condition physique lors du vieillissement	4
2.1.1 Les conséquences directes du vieillissement	4
2.1.2 L'importance de la capacité aérobie au troisième âge	7
2.2 Tests de marche 6 minutes vs. Test de marche navette dans l'évaluation du VO ₂ max	8
2.2.1 Tests de marche 6 minutes	8
2.2.2 Tests de marche navette	9
2.3 Le Test de marche navette à paliers multiples	10
2.3.1 La construction du test	11
2.3.2 Méthode de validation	12
2.4 Considération des facteurs liés au genre et aux différences interindividuelles	13
2.4.1 Genre, VO ₂ et VO ₂ max	14
2.4.2 Différences interindividuelles et économie de mouvement	15
2.4.3 Objet de la recherche	16

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE 17

3.1 Sujets et procédures communes aux tests. 18

3.1.1 Sujets. 18

3.1.2 Procédures communes aux tests. 19

3.2 Le test de six minutes. 20

3.2.1 Conditions du test de marche de six minutes. 20

3.2.2 Mesures (variables indépendantes). 20

3.2.3 Procédure. 21

3.3 Le test marche navette. 22

3.3.1 Conditions du test marche navette. 22

3.3.2 Mesures (variables dépendantes) 22

3.3.3 Procédure. 23

3.3.4 Quantification et analyses 24

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ATTENDUS 25

4.1 Ajustements suite à l'étude pilote 25

4.1.1 Résumé des résultats escomptés et progression du VO_2 26

CHAPITRE V

LE PREMIER EXTRAIT 33

5.1 Résumé propose pour le congrès international de gérontologie
de Rio de Janeiro en 2005. 335.2 Affiche publiée au congrès international de gérontologie
de Rio de Janeiro en 2005. 35

CHAPITRE VI

LE DEUXIÈME EXTRAIT 36

6.1 Résumé proposé pour le congrès de la SCPE à Halifax en 2006. 36

6.2 Affiche publiée au congrès de la société canadienne de physiologie

de l'exercice d'Halifax	39
6.3 Courriel d'acceptation de la présentation.....	40
CHAPITRE VII	
LE PREMIER MANUSCRIT.	41
7.1 Paper submitted for publication to Age and Ageing Journal.	41
7.2 Le manuscrit.....	42
CHAPITRE VIII	
LES AUTRES ARTICLES À ÊTRE PUBLIÉS.	64
CHAPITRE IX	
CONCLUSION GÉNÉRALE	65
RÉFÉRENCES	66

LISTE DES FIGURES.

Figures.

1	La station portable métabolique K4b2	13
2	Évolution de la $\dot{V}O_2$ et de la Fc selon le temps jusqu'à un plateau de consommation maximale d' O_2 (sujet 1).	27
3	Évolution de la $\dot{V}O_2$ et de la Fc selon le temps jusqu'à un plateau de consommation maximale d' O_2 (sujet 2).	28
4	Évolution de la $\dot{V}O_2$ et de la Fc selon le temps jusqu'à un plateau de consommation maximale d' O_2 (sujet 3).	29
5	Évolution de la $\dot{V}O_2$ et de la Fc selon le temps jusqu'à un plateau de consommation maximale d' O_2 (sujet 4).	30
6	Évolution de la $\dot{V}O_2$ selon la vitesse de marche chez quatre sujets lors de l'étude pilote.	31
7	Affiche présentée au congrès international de gérontologie de Rio de Janeiro en 2005.	35
8	Affiche présentée au congrès de la société canadienne de physiologie de l'exercice d'Halifax 2006.	39
7.1	Comparison of peak oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) measured during the Multistage Intermittent Shuttle Walk Test (MISWT) and the 6 minute walk test (6-MWT). A) The relationship between both MISWT and 6-MWT. Each symbol represents an individual subject data point. The solid line represents the regression line ($r^2 = 0.54$; $p < 0.001$) through all data points and the dashed line represents the line of identity; B) Average peak $\dot{V}O_2$ obtained during both the MISWT and 6-MWT. * $p < 0.05$; and C) a Bland and Altman plot illustrating the limits of agreement of the MISWT and 6-MWT $\dot{V}O_{2peak}$ measurements.	61

- 7.2 Progressive VO_2 during both the MISWT (A) and the 6-MWT (B and C). The solid black lines in panels A, B and C represent the linear regression through all data points. The dashed line in panel A represents the quadratic relationship through all data points. 62
- 7.3 Peak VO_2 and walking mechanical efficiency according to walking speed.
A) Peak VO_2 during the MISWT; B) Peak VO_2 during the 6-MWT;
C) Mechanical walking efficiency during the MISWT; and
D) Mechanical walking efficiency during the 6-MWT. 63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
7.1 Anthropometrics measurements of the subjects	58
7.2 Descriptive statistics for heart rate maximal predicted percentage	59

LISTE DES ACRONYMES.

VO₂: Volume d'oxygène consommé.

VO₂ peak: Volume maximal d'oxygène consommé.

Fc: Fréquence cardiaque.

HR: Heart Rate (équivalent de Fc en anglais).

QR: Quotient respiratoire, quotient du CO₂ produit sur l'O₂ utilisé lors d'un effort.

6MWT: Six Minute Walking Test, test de marche continu sans rythme imposé.

MSIWT: Multistage Shuttle Incremental Walking Test, test de marche navette à rythme imposé.

RÉSUMÉ.

Objectif:

Le but de cette recherche est de comparer deux outils de mesure pour évaluer l'aptitude aérobie chez des personnes âgées ne présentant aucune pathologie chronique.

Méthodologie:

Un total de 22 adultes (16 femmes et 6 hommes) avec une moyenne d'âge de 70.0 ± 5.8 ans (distribution de 58 à 79ans) a complété le test de marche de 6 minutes (6MWT) et le test navette de marche (MSWT) sur une période de deux semaines. La fréquence cardiaque (HR) et le pic de consommation maximale d'oxygène (VO_2 peak) ont été mesurés à chaque test. La vitesse de marche et la distance parcourue pour les deux tests ont été comparées au pic de consommation maximale d'oxygène (VO_2 peak). Les critères d'inclusion pour les sujets incluaient: aucune maladie pulmonaire obstructive chronique, pas de diabète, pas de maladie cardiaque diagnostiquée, aucun problème orthopédique ou neurologique, pas de médicaments (bronchodilatateurs, B-bloquant) et pas de fumeur.

Le déroulement des tests était supporté par un médecin en cas d'urgence.

Résultats :

Un total de 110 enregistrements pour ces tests fut enregistré. De fortes corrélations entre la vitesse de marche et le pic de consommation maximale d'oxygène ont été enregistrées ($r=0.91$ and $r=0.89$, respectivement, pour le 6 MWT et le MSWT). La moyenne des valeurs de pic de consommation maximale d'oxygène enregistrées était significativement plus élevée ($p<0.05$) lors du MSIWT (21.6 ± 5.3 ml*kg⁻¹* min⁻¹) que celle du 6MWT (18.9 ± 4.5 ml*kg⁻¹* min⁻¹). Il n'y a pas de différence significative entre les sexes.

Conclusion :

Le test marche navette (MSIWT) est un test qui permet d'évaluer plus précisément la consommation maximale d'oxygène des personnes âgées que le test 6MWT.

Mots-clés : Aptitude aérobie, consommation d'oxygène, épreuves d'évaluation, personnes âgées.

I CHAPITRE I

INTRODUCTION

Le vieillissement de la population représente un ensemble de problématiques pour les sociétés occidentales. Hormis l'élargissement du sommet de nos pyramides démographiques, l'accroissement d'une population âgée dans une société induit des réajustements dans tous les domaines d'interactions avec celle-ci. Ainsi, le maintien, voire l'amélioration de la condition physique de nos aînés, devraient constituer le centre de nos préoccupations tant sanitaires qu'économiques. Pour preuve, les gouvernements occidentaux s'attellent à développer des campagnes de sensibilisation et de promotion de l'activité physique afin de désengorger les systèmes de santé dépassés par les multiples pathologies inhérentes à la sédentarité (obésité, diabète, maladies coronariennes).

La fonction aérobie a toujours représenté une référence dans toutes les recherches portant sur les effets physiologiques de l'exercice (Léger, Boucher, 1980; Cazorla, et al, 1998; Cooper, 1962; Astrand, 1961.). En effet, l'aptitude physique d'une personne, quelque soit son âge, dépend étroitement de sa consommation d'oxygène. La performance motrice de moyenne et de longue durée d'une personne est directement reliée à sa capacité à consommer de l'oxygène. Ainsi, beaucoup de chercheurs en physiologie de l'exercice ont tenté de développer des outils de mesure valides et fiables afin de mesurer ou de définir par extrapolation (Léger, Boucher. 1980; Astrand, 1961; Cooper, 1962) la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}) des individus. Le VO_{2max} est considéré comme le critère de

référence pour évaluer la capacité aérobie d'un sujet (Sutton, 1992). Ces outils constituent la clé de voûte de toutes prescriptions individualisées d'exercice et ce quelque soit l'objectif de celle-ci (entraînement, réadaptation, rééducation motrice). Pour les personnes âgées asymptomatiques, l'outil de référence pour cette mesure est un test de marche de six minutes provenant d'une adaptation du test de course de douze minutes de Cooper (non rythmée, non progressif, arrêt autorisé) qui fût mis en place pour des clientèles symptomatiques (pathologies coronariennes et pulmonaires). Cet outil n'a jamais fait l'objet d'une étude rigoureuse afin de valider ce test auprès d'une clientèle âgée (55 ans et plus) asymptomatique. Ce manque pourrait bien fausser toutes les prescriptions individualisées d'exercice pour cette clientèle. Nous pourrions même douter de la pertinence de celles-ci quant aux améliorations attendues de la condition physique de ces sujets. En effet, une surévaluation ainsi qu'une sous-évaluation du $VO_2\text{max}$ peut nuire à l'objectivité de tous programmes d'exercices découlant de cette mesure.

C'est pour cela que nous nous intéresserons à la mesure directe de la consommation maximale d'oxygène, ou $VO_2\text{max}$, dans cette étude. Pour ce faire, nous comparerons les consommations d'oxygène d'une population mixte âgée de 55 ans et plus lors d'un test de marche de six minutes mais aussi lors d'un test de marche navette progressif à paliers.

Au travers de cette comparaison, nous tenterons de valider ce test de marche navette progressif comme outil d'estimation fiable du $VO_2\text{max}$ pour des personnes âgées asymptomatiques. Le rythme de ce test est issu d'une adaptation de Singh et Morgan (1992) du test de course que Léger et Lambert (1982) ont développé. Néanmoins, l'étude de Singh (1992) ne portait que sur l'évolution des fréquences cardiaques des sujets. Aucune mesure gazeuse n'a été réalisée à ce jour. Le test de course progressif est très simple à administrer et représente depuis sa validation l'outil universel de mesure de la $VO_2\text{max}$. L'avantage du test progressif réside dans l'augmentation de la demande physiologique pouvant mener le sujet à son état maximal de consommation d'oxygène.

Dans cette étude, nous utiliserons l'analyseur de gaz portatif Cosmed K4b2 (Rome, Italie) pour mesurer la quantité d'O₂ et de CO₂ expirée par les sujets pendant les tests (six minutes marche et le test navette de marche). La création assez récente du Cosmed K4b2 permet de produire des tests de terrain plus fidèle qu'avec les méthodes traditionnelles (Doyon et al, 2001). Plusieurs études (Doyon et al, 2001; Hausswirth et al, 1997; McLaughlin et al, 2001) ont démontré la fidélité et la validité de cet appareil pour mesurer la consommation d'oxygène dans diverses conditions.

1.1 Organisation du mémoire

Le chapitre 1 est constitué de l'introduction et de l'organisation du mémoire. Le chapitre 2 présente la revue de littérature sur l'importance de la condition physique lors du vieillissement, sur les tests d'évaluation de la capacité aérobie utilisés pour les personnes âgées ainsi que sur les facteurs liés au genre et aux différences interindividuelles. Le chapitre 3 concerne la méthodologie détaillée telle qu'elle fut approuvée par le comité de déontologie de l'UQAM. Le chapitre 4 présente les résultats de l'étude pilote réalisée. Le chapitre 5 présente la première affiche présentée au congrès de gérontologie de Rio de Janeiro en juin 2005 par le Dr Émilia Kalinova. Le chapitre 6 concerne une seconde affiche présentée au congrès de la société canadienne de physiologie de l'exercice d'Halifax en novembre 2006 par le Dr Alain-Steve Comtois. Le chapitre 7 présente le manuscrit intitulé : «COMPARISON OF BIOENERGETICS OF WALKING DURING A MULTISTAGE INCREMENTAL SHUTTLE WALK TEST AND A SELF-PACE TEST IN ACTIVE OLDER ADULTS».

Ce manuscrit fut complété avec le soutien de Dr Alain-Steve Comtois et Dr Mario Leone. Il fut soumis pour publication au périodique « Age and ageing ». La lettre d'expédition du document ainsi que l'avis de réception par l'éditeur sont incluses. Le chapitre 8 concerne les applications potentielles de cette recherche ainsi que les autres publications potentielles relatives à celle-ci tout en présentant la poursuite de mes études de troisième cycle. Le chapitre 9 se compose de la conclusion générale et de la bibliographie complète.

2 CHAPITRE II

REVUE DE LITTÉRATURE

La présente étude a pour but de comparer le test de marche de six minutes au test de marche navette à paliers multiples pour une population ne souffrant d'aucune pathologie diagnostiquée mixte âgée de 55 ans et plus. Le test devrait éventuellement remplacer le test de marche de 6 minutes pour estimer la capacité aérobie des personnes âgées. Parallèlement, la marche provoque un travail contre la gravité induisant la coordination des membres inférieurs et supérieurs ce qui induit une dépense énergétique plus grande que le seul pédalage. De plus, la «performance» recherchée pour cette population demeure la fonctionnalité et, dans ce cadre, nous ne pouvons omettre l'importance de l'équilibre dynamique (Selleron,B et al, 2000;Ladetto et al, 2000).

2.1 L'importance de la condition physique lors du vieillissement.

2.1.1 Les conséquences directes du vieillissement.

Le vieillissement naturel est associé à une baisse des fonctions physiques (force, souplesse, endurance musculaire et cardiorespiratoire), des fonctions neurologiques (coordination,

mémoire, équilibre) ainsi qu'une modification de la composition corporelle (gain de masse grasse, perte de masse maigre). Cette dernière transformation provoque une baisse du métabolisme basal (Dionne et al, 2000). En effet, la sarcopénie (atrophie musculaire) touche les muscles et les organes avec l'âge à cause de la réduction de la synthèse protéique (Velduis, 1995). De nombreuses études (Velduis, 1995; Hurel, 1999) tendent à démontrer l'importance du déséquilibre hormonal (en particulier l'hormone de croissance et la testostérone) dans l'altération de la composition corporelle tout en insistant sur les raisons environnementales de celle-ci telles, l'hygiène alimentaire et le niveau d'activité physique (Kenny et al, 2003).

La perte de force musculaire est associée au vieillissement tant pour les membres supérieurs que les membres inférieurs. En effet, cette perte de force (dans tous ses paramètres, masse et vitesse) est attribuable à plusieurs phénomènes d'ordre métaboliques, anatomiques et physiologiques.

La perte de masse maigre à l'instar de la masse grasse et l'altération de la qualité du muscle sont des facteurs très importants. La quantité de masse grasse (tant sous cutanée qu'inter et intramusculaire) est considérée comme un indicateur important dans le risque d'incapacité fonctionnelle et de sarcopénie (Evans et Campbell, 1993). De plus, la relation force et quantité de masse maigre est clairement démontrée en physiologie musculaire (Lauretani et al, 2003). Ce premier phénomène est reconnu comme le principal facteur de perte de fonctionnalité chez les personnes âgées (Lauretani et al, 2003). De plus, les dommages oxydatifs intramusculaires semblent jouer un rôle important dans le déclin de l'activité fonctionnelle du muscle squelettique avec l'âge (Pansarasa et al, 2000) et des études vétérinaires ont démontré un lien entre le vieillissement et des diminutions significatives de nombreuses fonctions oxydatives et enzymatiques relatives à l'activité musculaire (Oztürk et Gumuslu, 2004). C'est ainsi que les fibres musculaires de type 2a, mettant en jeu le catabolisme de la créatine phosphate et du glycogène musculaire, responsables de la

production de force (fibre de type 1 plus endurantes et oxydatives) ont tendance à s'atrophier (McArdle et al, 2001) réduisant la force potentielle du muscle. Au niveau anatomique, la réduction de la souplesse chez la personne âgée réduit l'amplitude du mouvement et, de ce fait, la longueur optimale du muscle en activité où la force maximale de ce muscle est développée grâce au recrutement maximal des complexes actine/myosine.

Parallèlement, des changements d'ordre physiologique sont attribués lors du vieillissement au travers de la théorie de la mort cellulaire (apoptose). En effet, la perte d'unités dans certaines unités motrices va augmenter la taille de celle-ci tout en diminuant leur capacité fonctionnelle par la nécessité de réorganisation de l'innervation (Bugnariu et Fung, 2007). Ce phénomène va donc affaiblir le recrutement des unités motrices et donc l'intensité de contraction dans la musculature volontaire. La diminution de la force maximale est aussi attribuable à la perte de gaine de myéline des axones moteurs qui ont tendance à s'altérer avec l'âge conduisant à une modification de l'intensité de contraction par réduction de recrutement des unités motrices. De ce fait, le temps de réaction étant affecté, il y a une perte de puissance obligatoire considérant la puissance comme le résultat du produit de la force et de la vitesse.

Toutefois, la sarcopénie n'est pas une pathologie irréversible que ce soit au niveau de la prise de masse musculaire, de la conduction nerveuse (Lauretani et al, 2003). La prise en charge des sujets à l'aide de l'entraînement de la force contre résistance semble représenter la meilleure option pour contrer cette altération de la fonctionnalité chez les personnes âgées (WHO).

Ainsi, tous les programmes d'exercices pour les personnes âgées peuvent contribuer à lutter contre cette décrépitude naturelle mais limitable quantitativement parlant car l'activité physique, essentiellement les activités d'endurance, est reconnue pour son action sur le

système hormonale (libération d'endorphines, de sérotonine, meilleure régulation de la glycémie).

2.1.2 L'importance de la capacité aérobie au troisième âge.

L'intensité de travail d'un exercice d'endurance est le plus souvent indexée à la valeur de la puissance maximale aérobie (VO_2max). Pour ce faire, cette mesure doit être évaluée ou estimée le plus correctement possible afin de ne pas corrompre la prescription d'exercice ainsi que son efficacité escomptée. De nombreux articles (Pate et al, 1996) définissent de façon explicite la pratique d'activités aérobies, même de faible intensité, comme le meilleur traitement non-pharmacologique des pathologies suivantes (Fox et al, 1971): Hypertension légère et modérée, ostéoporose, diabète de type 2, stress et maladies cardiovasculaires.

Bien que ces traitements ne demeurent souvent que des compléments de traitements ou des moyens de prévention, de réhabilitation ou des réducteurs des phénomènes physiologiques inhérents à ces pathologies, il est très raisonnable d'affirmer que la capacité aérobie pour les personnes âgées (comme pour le reste de la population) représente le déterminant essentiel de leur performance : Rester en santé!

Bien que la population cible de l'étude ne présente pas des déterminants de performance sportive, l'énergie nécessaire pour mener une vie active et en santé repose sur des bases physiologiques très simples. Toute production d'énergie (motricité, équilibre, mastication, digestion) nécessite de l'ATP qui provient d'un triple système de filières énergétiques. Les activités quotidiennes sont le plus souvent régies par la filière oxydative (McArdle et al, 2001) où la glycolyse et la lipolyse (acides gras libres) sont les deux filières productrices

d'énergie. La combustion de nutriment par oxygène est assurée par l'activité des mitochondries (dans la cellule) et ces organites ont tendance à développer leur efficacité lorsqu'un individu travaille sa puissance et son endurance aérobie. Ainsi, une personne dotée d'un bon système oxydatif pourra supporter une plus grosse charge de travail, stimuler sa récupération, baisser son taux d'acides gras libres, réguler sa composition corporelle (par utilisation des «graisses»). En bref, un système oxydatif efficace permet de contrer ou de prévenir toutes les pathologies précédemment citées

2.2 Tests de marche 6 minutes vs. Test de marche navette dans l'évaluation du VO_2max

Afin de faciliter la compréhension du lecteur, nous utiliserons les termes :

Puissance maximale aérobie, et $\text{VO}_2\text{ max}$ pour définir la consommation maximale d'oxygène à l'effort. La vitesse maximale aérobie correspond à la charge de travail maximale atteinte à la course ou à la marche. Capacité aérobie ou endurance aérobie pour déterminer la capacité d'un individu à soutenir un travail (de charge sous-maximale) en état stable.

2.2.1 Tests de marche 6 minutes.

Le test de marche de 6 minutes est issu d'une modification du test de 12 minutes de Cooper afin d'évaluer des personnes atteintes de différentes pathologies (Singh et Morgan, 1992). Malgré son utilisation normalisée par différents instituts cliniques, il reste que son efficacité

à déterminer (par extrapolation) la puissance aérobie maximale d'un sujet n'est pas très précise. En effet, la possibilité, en absence de rythme imposé, d'alterner les phases d'accélération de la marche, les phases d'arrêt induit une influence non négligeable de la capacité anaérobie dans les résultats de ce test (Carzola, 1990). La distance parcourue lors de ce test n'indique donc qu'un indice de l'aptitude aérobie d'un sujet. Néanmoins, la corrélation entre la distance parcourue et la consommation maximale d'oxygène est forte lors de l'étude de Cooper ($r = 0.90$, pour 115 jeunes cadets de l'air). Malgré un coefficient de validité très fort ($r = 0.90$, erreur type estimée = 9.3%), ce test n'est pas forcément valide pour des populations plus âgées. De plus, la fidélité du test s'améliore pour des sujets habitués au test par apprentissage et connaissance de ses propres capacités (Kervio et al, 2003).

Parallèlement, il faut souligner que le rendement mécanique, la connaissance de ses possibilités et la confiance en eux des sujets représentent des facteurs ayant une forte influence sur le résultat. Il est d'ailleurs démontré qu'il existe une amélioration significative, due à l'apprentissage, de 10% dans la distance parcourue entre le premier et le second test (Butland et al, 1982). Ainsi, malgré son utilisation très fréquente, ce test ne présente qu'une proportion subjective de la puissance aérobie maximale des sujets évalués. Nous pouvons ainsi qualifier ce type d'épreuve comme une évaluation de l'endurance d'un sujet et se servir uniquement de ce résultat comme indice de progression linéaire au travers d'un quelconque entraînement.

2.2.2 Tests de marche navette.

Les travaux de Léger et Gadoury (1989) et Léger et al (1985) sur un test de course navette à paliers d'une minute ont permis de produire des tests valides ($r = 0.9$ pour des sujets de 20 à 50 ans, SEE $4.7 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) et fidèles (0.95; Léger et al 1988). Il en était de même pour les

travaux de Léger en 1981 qui présentaient une corrélation excellente ($r = 0.84$) ainsi qu'un indice de fidélité élevé ($r = 0.875$) ce qui induit un caractère de reproductibilité acceptable. Ceci mettant en évidence la possibilité de réduire les épreuves d'effort trop longues (2minutes) du test Léger-Boucher (1980) tout en réussissant à atteindre des valeurs maximales concernant la consommation d'oxygène et en conservant un outil de mesure valide et fidèle. Le VAMEVAL de Cazorla (1990) représente très bien cette affirmation car le test de Léger et Lambert (1982) a été adapté afin de réduire les paliers à une minute tout en fractionnant celles-ci en quatre sous-paliers. Le VAMEVAL représente un test très utilisé et fiable (profitant des mêmes corrélations que le Léger navette) permettant de réduire le temps de l'épreuve.

Concernant l'épreuve de marche navette et étant conscient de l'aspect sous maximal de la marche, la présente étude a pour but de valider ce test progressif à paliers d'une minute pour déterminer la vitesse de marche maximale aérobie pour des personnes âgées asymptomatiques. Dès lors, ce ne sera pas un $VO_2\text{max}$ que nous obtiendrons mais un VO_2 de crête pour un effort maximal de marche (McArdle et al, 2001). Cependant, et considérant la population ciblée par la présente étude, nous espérons que le $VO_2\text{max}$ sera atteint par de nombreux sujets à la marche rapide. Relativisant la dépense énergétique très coûteuse de la marche (Gras et al, 1996) et l'économie mécanique de la course ainsi que son inadéquation avec le quatrième âge, la présente étude ne prendra en compte que les vitesses de marche jusqu'à des vitesses inférieures ou égales à 2.20 m/s, vitesse atteinte au dernier palier du test.

2.3 Le Test de marche navette à paliers multiples.

Le test marche-navette s'inspire des travaux de Carzola quant à l'élaboration des paliers.

2.3.1 La construction du test

Le test proposé dans la présente recherche est une élaboration de l'étude de Singh et Morgan (1992) du test navette 20m de Léger et Lambert (1982) réduite à un test de 10 m pour une population atteinte de maladie pulmonaire obstructive chronique. La vitesse initiale a été fixée à 0.5 m/s et chaque palier est accompagné d'une augmentation de 0.17 m/s jusqu'à une vitesse maximale de 2.03 m/s. La comparaison des deux tests de deux marches a déjà été effectuée par Vagaggini en 2003 pour une population présentant des problèmes pulmonaires.

Néanmoins, peu d'études ont effectué d'analyse gazeuse directe; la fréquence cardiaque a toujours représenté la variable de référence dans ces études. De ce fait, sans la collecte des mesures des échanges gazeux, il est impossible ou très aléatoire de se prononcer sur le caractère maximal de la tâche accomplie par les sujets. En effet, la courbe fréquence cardiaque/ VO_2 est propre à chaque sujet entraînant donc une marge d'erreur inacceptable, $\pm 20\%$ pour des efforts sous maximaux (Carzola, 1990), pour évaluer la capacité aérobie maximale.

De ce fait, nous proposons de nous servir du protocole de Singh (pour les vitesses de marche et les paliers) dans une étude où nous mesurerons directement (à l'aide du K4b2) les échanges gazeux. Cette station métabolique portable, effectuant toute les mesures gazeuses, nous indiquera le caractère maximale ou sous maximal de l'épreuve par la détermination du quotient respiratoire, QR, (effort considéré comme maximal lorsque $\text{QR} \geq 1$, Mc Ardle et al, 2001). Cette dernière donnée nous indique que la dépense énergétique provient de la filière de la glycolyse aérobie jusqu'à la surproduction de CO_2 (versus la consommation d' O_2) preuve d'anaérobiose lorsque le QR dépasse 1. L'atteinte d'un plateau de consommation maximale d'oxygène nous permettra de déterminer un $\text{VO}_{2\text{max}}$ pour la marche (VO_2 de crête plutôt). Cependant, nous élaborons l'hypothèse que ce type de marche rapide (8km/h) devrait

correspondre à un travail maximal aérobie pour cette population. De ce fait, nous élaborerons le concept de vitesse de marche maximale aérobie (en comparaison à la vitesse maximale aérobie à la course).

2.3.2 Méthode de validation.

Le test navette à la course de Léger et Lambert (1982) a été validé en utilisant la méthode de rétro extrapolation de la courbe de récupération de l'O₂ (Léger et al, 1988; Léger et Lambert, 1982). Cette méthode consiste à récolter les échanges gazeux lors de l'arrêt de l'exercice du sujet (Léger et al, 1988; Léger et Gadoury, 1989; Léger et Lambert, 1982; Léger et al, 1980).

Bien que la méthode de rétro extrapolation (récolte des gaz expirés post-effort) fut utilisée et validée pour de nombreuses études (Léger et al, 1980; Léger et Gadoury, 1989), il n'en reste pas moins que cette technique ne correspond pas à une mesure directe des échanges gazeux ce qui induit des possibilités d'erreurs ou d'approximation protocolaire. C'est pourquoi, nous proposons dans cette future étude de mesurer le plus fidèlement possible les volumes d'oxygène consommé lors des tests en récoltant ces consommations pour les sujets à l'aide d'un analyseur métabolique portable (K4b2). Ainsi, la comparaison des VO₂ obtenus lors du test de marche de six minutes et de la marche navette représente l'objet principal de notre étude. Le Cosmed K4b2 (s.r.l. Rome, Italy) élabore des tests de terrain plus fidèles qu'avec les méthodes traditionnelles (sacs de Douglas) (Doyon et al, 2001).

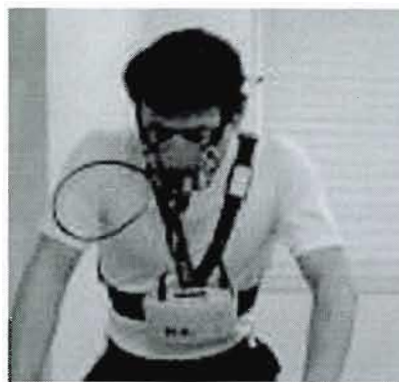


Figure1 : La station portable métabolique K4b2.

Cet appareil mesure en temps réel les différents paramètres physiologiques de la respiration des sujets : Fr , VO_2 , VCO_2 , VE , FEO_2 , FECO_2 ainsi que les évolutions de leur fréquence cardiaque. L'appareil mesure 170 x 55 x 100 millimètres et pèse environ 550 grammes alors que la batterie a une dimension de 170 x 48 x 90 millimètres pour un poids de 550 grammes (McLaughlin et al, 2001). La compactibilité de cet appareil réduit la gêne engendrée par du matériel lourd et encombrant ce qui permet de ne pas nuire à la performance des sujets lors d'une marche (harnais très près du corps, aucun balancement lorsque bien ajusté). La précision de cette station métabolique portable a été étudiée par McLaughlin et al. (2001) en comparant le K4b2 avec la technique des sacs de Douglas lors d'exercices sur ergocycle. Les résultats de cette étude ont démontré que cet analyseur permettait de mesurer très précisément les échanges gazeux des sujets à l'effort malgré une différence de résultats (valeurs K4b2 > valeurs sacs de Douglas, $P < 0,05$) qui, malgré leur réalité statistique, représente des variations négligeables physiologiquement parlant.

2.4 Considération des facteurs liés au genre et aux différences interindividuelles

Tous les tests existants ont été (Léger et Lambert, 1982 ; Carzola, 1990; Singh et Morgan, 1992) respectivement validés pour des populations jeunes, saines et asymptomatiques. La

détermination de la puissance maximale aérobie doit être assujettie à une normalisation de la population concernée par les études. De plus, la détermination du VO_2 max est fortement influencée par le sexe, l'âge, la morphologie ainsi que l'économie de mouvement. Ainsi, notre étude tiendra compte des différences entre ces derniers facteurs inhérentes à la population évaluée.

2.4.1 Genre, VO_2 et VO_2 max

La validité des tests de Boucher, de Carzola est effective pour des populations mixtes de 20 à 50 ans. L'étude de Singh concernait des populations symptomatiques atteintes de MPOC (maladies pulmonaires obstructives chronique). Il est donc important, dans une perspective d'individualisation de la prescription d'exercices, de comparer le test de marche navette au test de marche de six minutes pour des personnes en santé âgées de 55 ans et plus afin de déterminer si cela est pertinent (meilleur résultat).

Nous savons que la perte de masse musculaire et le gain de masse grasse induit par le vieillissement et la sédentarité peuvent altérer les valeurs de VO_2 max relatives au poids corporel. Ainsi, des personnes en surcharge pondérale peuvent présenter des valeurs de VO_2 sous estimant leur résultat et inversement pour des sujets plus légers. L'expression de la VO_2 max en $\text{mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ permet de comparer plus objectivement les personnes mais il faut considérer que les femmes présentent des résultats inférieurs en moyenne de 15 à 30 %, à ceux des hommes en raison de leur plus importante proportion de masse grasse (McArdle et al, 2001). Parallèlement, les femmes présentent, à masse corporelle égale, des différences aux niveaux de tous les paramètres circulatoires induit par un cœur plus petit en volume (Thill et al, 1997; McArdle et al, 2001).

Les performances masculines seraient principalement dues à des raisons hormonales, la testostérone influencerait la concentration d'hémoglobine, responsable du transport de l'oxygène, qui s'avère plus élevée chez les hommes (McArdle et al, 2001). Cependant, la composante sociologique n'est pas négligeable chez des personnes âgées de 60 ans et plus puisque l'accès des femmes aux loisirs et au sport est historiquement plus récente que celle des hommes.

2.4.2 Différences interindividuelles et économie de mouvement

L'économie de mouvement se définit par une différence de coût énergétique entre deux individus pour une même tâche réalisée dans les mêmes conditions (Ladetto et al, 200; McArdle et al, 2001). Cette différence s'exprime en mesure de consommation d'oxygène à l'effort et elle s'observe tant dans un groupe de personnes du même âge qu'entre des personnes de morphologie très différentes.

Selon Carzola, la mesure indirecte du VO_2max est assujettie à une erreur de $\pm 6\%$ entre les individus. Bien que celle-ci n'altère pas l'élaboration de moyenne, elle pourra servir de base de réflexion pour expliquer des différences de VO_2 entre des individus pour un même résultat au test navette (même palier). Il faut aussi considérer que l'heure, la journée des tests représente une erreur systématique de 5% (Carzola, 1990).

Néanmoins, l'économie de mouvement lors d'un test de marche navette sera fortement influencée par les différences de mesures de leviers osseux. En effet, la variabilité des longueurs des pas des sujets est assujettie à la cadence (Ladetto et al, 2000) ce qui peut produire des variations de consommations d'oxygène pour des personnes qui doivent

effectuer plus de pas que les autres (différence de vitesse). De plus, les variations des résultats pourront être imputables aux différences de technique de marche si l'on considère les multiples accélérations et décélérations du poids du corps induites par le test navette. La dépense énergétique causée par le travail mécanique contre la gravité et l'inertie représente 21% de la dépense énergétique totale à la marche (Ladetto et al, 2000) mais peut être réduite à l'aide de différentes stratégies (techniques, amorti) ainsi l'économie de mouvement sera fortement influencée par la technique de marche des sujets.

2.4.3 Objet de la recherche.

De nombreux tests de terrain simplifient l'évaluation de la VO_2 pour tous les types d'intervenants. Néanmoins, l'évaluation des personnes âgées se limite à l'utilisation d'un test validé pour des populations symptomatiques. C'est pourquoi nous proposons de comparer les valeurs de VO_2 enregistrées lors du 6 minutes marche (6mwt) et du test navette de 10 mètres (ISWT) afin de déterminer lequel de ces deux tests est le plus adéquat pour évaluer la capacité aérobie des personnes âgées en santé. Considérant le travail d'inférence statistique nécessaire à la réfutation ou à l'approbation d'une hypothèse, nous avons émis les hypothèses suivantes :

Hypothèse nulle : $VO_2 \text{ 6mwt} = VO_2 \text{ ISWT}$.

Hypothèse alternative : $VO_2 \text{ 6mwt} \leq VO_2 \text{ ISWT}$.

Si le test navette s'avère un test plus efficace, plus précis et fournissant des valeurs de VO_2 supérieures au test de 6 minutes, alors cela pourrait modifier les protocoles d'évaluation de la capacité aérobie des personnes âgées. Des résultats supérieurs permettrait d'optimiser la prescription d'exercices et par le biais même les résultats escomptés de ceux-ci.

3 CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

La présente étude a permis de comparer les résultats de VO_2 obtenus lors des deux tests de marche pour une population mixte en santé de 55ans et plus. Comme tous les tests de terrain, le test de marche navette s'avère facile d'utilisation (un couloir de 15 m) et peu coûteux (une bande son). Les sujets ont été évalués trois fois pour le six minutes marche et deux fois pour le marche navette à 48/72 heures d'intervalle afin de récupérer et de façon aléatoire pour réduire l'amélioration potentielle due à l'entraînement.

La bande son a été conçue en studio d'enregistrement professionnel à ville La Salle à l'aide du logiciel Sound Forge (version 6.0) avec une précision de 1/100 de seconde.

3.1 Sujets et procédures communes aux tests.

3.1.1 Sujets.

Le recrutement des sujets a été réalisé auprès de la clientèle qui fréquente le centre de conditionnement physique du YMCA au centre ville de Montréal. Ces sujets participaient déjà à une étude sur les effets de l'entraînement pour la personne âgée ainsi leur évaluation anthropométrique a été fournie gracieusement par l'équipe de recherche déjà en place. La participation des sujets s'est faite sur une base volontaire après avoir été informé du protocole des tests ainsi que sur les risques et les bénéfices associés à leur participation.

Le consentement des participants à l'étude a été récolté par la signature d'un formulaire conforme et approuvé par le comité d'éthique sur la recherche avec sujets humains de l'Université du Québec à Montréal.

Avant chaque journée de test, les participants ont été invités à respecter les consignes suivantes :

- Éviter de fumer et de consommer de la caféine douze heures avant chacun des tests.

- Éviter l'exercice de haute intensité et la consommation d'alcool vingt quatre heures avant ainsi que de boire et de manger deux heures avant l'épreuve.

3.1.2 Procédures communes aux tests.

L'analyse des échanges gazeux représente la pierre angulaire de notre recherche, de ce fait l'utilisation du K4b2, afin de mesurer la consommation maximale d'oxygène, devait être normalisée pour les différentes mesures. Ainsi, nous avons procédé toujours de la même façon afin de réduire les erreurs dues aux variations de protocole. Dès lors, avant chaque test, le K4b² a été calibré à l'air ambiant (20,93% d'O₂ et à 0,03% de CO₂) ainsi qu'avec une concentration de 17,00% d'O₂ et de 5,03 % de CO₂.

La turbine de l'appareil, servant à mesurer le volume expiratoire, la fréquence respiratoire, a été calibrée avec une seringue de trois litres. La mise en place de l'appareil a toujours été assurée par le chercheur de la façon suivante :

- La ceinture électrode (humidifiée avec un gel conducteur) du cardiofréquencemètre Polar était positionnée par le sujet de façon à ce que celle-ci soit posée de part et d'autre de l'appendice xiphoïde (sur le sternum pour le client) et elle était contrôlée par le chercheur. Les mesures de la Fc ont été intégrées par le K4b2, le chercheur ne vérifiait, à l'aide de sa montre polar, que l'exactitude de celle-ci par l'analyseur avant de débiter le test.
- Les données anthropométriques ainsi que l'âge, fournies par l'étude connexe, ont été rentrées dans le K4b2 par le chercheur.
- Le chercheur installait le harnais au sujet en disposant la batterie (550 grs) sur la poitrine et l'analyseur (550 grs) dans le dos.
- Le choix de la taille du masque était déterminé par l'étanchéité de celui-ci. Cette étanchéité était évaluée par le chercheur qui appliquait le masque sur la face du sujet tout en bouchant la cavité, qui reçoit la turbine, en demandant au sujet de faire deux à trois expirations forcées.

- Une dernière calibration de l'air était effectuée par le chercheur qui s'efforçait de protéger la sonde de l'analyseur de toutes expirations de sa part ou du sujet (pouvant fausser la fraction de CO_2 ambiant).
- La sonde était branchée sur la turbine fixée au masque et le sujet invité à prendre place au départ du test.
- Au départ du test, le chercheur effectuait une marque sur l'analyseur afin de déterminer le début du test lors de l'impression des mesures de l'analyseur (matérialisation du stress pré-effort et du début de l'effort physique).

Le déroulement des tests était supporté par un médecin en cas d'urgence.

Après chaque journée de test, les données collectées étaient classées et numérotées par individu et téléchargées sur un ordinateur portable.

3.2 Le test de six minutes.

3.2.1 Conditions du test de marche de six minutes.

Le test de marche de six minutes se déroulait dans le couloir du sixième étage du YMCA du centre ville. Les sujets étaient invités à porter des vêtements et des chaussures de sport afin d'être le plus confortable possible. La température ambiante devait osciller entre 18 et 22 degrés Celsius.

3.2.2 Mesures (variables indépendantes).

La consommation d'oxygène était mesurée à l'aide de la station métabolique portable K4b2 (s.r.l. Rome, Italy). L'appareil était calibré à l'air ambiant (20.93% O_2 , 0.03% CO_2) pour une humidité relative de 50%.

La fréquence cardiaque était aussi mesurée à l'aide du K4b2 dans lequel est intégré un cardiofréquencemètre.

3.2.3 Procédure.

La procédure suivante s'adressait à chaque sujet puisque les évaluations étaient individuelles. Le K4b2 était toujours calibré à la fin de l'installation du harnais sur le sujet (cf procédures communes, 3.1.2).

Le sujet était informé du protocole très simple du test de six minutes par l'affirmation suivante : « marchez le plus vite possible durant six minutes, vous pouvez vous arrêter quand vous voulez et repartir ». Le parcours était délimité par deux plots espacés de 9.5m, le sujet était invité à effectuer le tour de ceux-ci, le sens de rotation n'importe peu mais il devait demeurer constant durant le test. Néanmoins, le sujet était invité à effectuer des huit afin d'éviter toute fatigue musculaire locale par répétitions des demi-tours sur la même jambe. Il pouvait se pratiquer pour mieux considérer le mouvement approprié. Le sujet était informé du déroulement du test à chaque trente secondes (temps écoulé et temps restant). Les encouragements étaient standardisés et limités aux encouragements suivants :

- «Ne lâchez pas»; « accélérez si vous le pouvez»; «Conservez votre rythme, c'est excellent!»; «Plus que X minutes à faire».

Le chercheur effectuait aux trente secondes une évaluation verbale des sensations du participant par les questions : « Est-ce que vous vous sentez bien?»; «Pouvez-vous

continuer?». Le test s'arrêtait au bout de six minutes pile, les demi-paliers étaient retenus afin de déterminer la distance effectuée par le sujet. Le chercheur cumulait les tours effectués par le sujet, retirait le masque à la fin du test après avoir validé sur le K4b2 l'enregistrement du test et recommandait au sujet de continuer de marcher 2 à 3 minutes après avoir vérifié son état de confort.

3.3 Le test marche navette

3.3.1 Conditions du test marche navette.

Le test de marche de six minutes s'est déroulé dans le couloir du sixième étage du YMCA du centre ville. Les sujets étaient invités à porter des vêtements et des chaussures de sport afin d'être le plus confortable possible. La température ambiante devait osciller entre 18 et 22 degrés Celsius.

3.3.2 Mesures (variables dépendantes)

La consommation d'oxygène était mesurée à l'aide de la station métabolique portable K4b2 (s.r.l. Rome, Italy). L'appareil était calibré à l'air ambiant (20.93% O₂, 0.03% CO₂) pour une humidité relative de 50%.

La fréquence cardiaque était aussi mesurée à l'aide du K4b2 dans lequel est intégré un cardiofréquencemètre.

3.3.3 Procédure

La procédure suivante s'adressait à chaque sujet puisque les évaluations étaient individuelles. Le K4b2 était toujours calibré à la fin de l'installation du harnais sur le sujet (cf procédures communes, 3.1.2).

Le sujet était invité après avoir revêtu le harnais à écouter les explications de la bande son ainsi que les explications du chercheur. Le sujet était invité à découvrir le parcours du test dans le couloir. La zone du demi-tour était matérialisée par quatre plots espacés de 10m. Le sujet devait effectuer son demi-tour dans celle-ci. Il pouvait se pratiquer pour évaluer le mouvement désiré. Au milieu du parcours (à 5m), un plot était disposé pour représenter les bips intermédiaires des cinq premiers paliers afin de faciliter la synchronisation du sujet avec la cadence (canaux visuel et auditif). Le sujet écoutait une simulation d'une minute de la bande son pour se familiariser avec l'exercice.

Pour éviter tous les problèmes relatifs à la compréhension, le chercheur effectuait le test avec chaque sujet afin de dicter la cadence.

Le test s'arrêtait lorsque le sujet avait plus d'un mètre de retard et qu'il ne pouvait le rattraper. Les encouragements étaient standardisés aux affirmations suivantes : « Nous avons du retard, on accélère », « Ne lâchez pas ». À chaque minute, après avoir complété un palier, le chercheur évaluait les sensations du participant par les questions : « Est-ce que vous vous sentez bien ? » ; « Pouvez-vous continuer ? ». Le chercheur retirait le masque à la fin du test après avoir validé sur le K4b2 l'enregistrement du test et recommandait au sujet de continuer de marcher 2 à 3 minutes après avoir vérifié son état de confort.

3.3.4 Quantification et analyses

Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel SPSS (Statistical Package for Social Sciences, Version 6,0). Des statistiques descriptives (moyenne et écart type) ont été effectuées pour l'ensemble des variables. Les valeurs de VO_2 des 15 dernières secondes de chaque palier du test de marche navette ont été utilisées pour réaliser l'équation de régression. L'équation de régression a été calculée en utilisant une régression linéaire multiple et une corrélation de Pearson. Le test-t de Student a été utilisé ($n \leq 30$) pour établir les comparaisons entre les données obtenues au test de six minutes et au test navette. Le seuil de signification était fixé à $P < 0,05$. L'analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée pour des mesures répétées entre les deux tests.

4 CHAPITRE IV

RÉSULTATS ATTENDUS

La présente étude nous a permis de comparer les VO_2 obtenus lors de tests d'évaluation de la capacité aérobie chez des personnes saines et en santé de 55 ans.

Une étude pilote a été réalisée auprès de quatre sujets afin de permettre des rétroactions sur la méthodologie initiale. Les informations découlant de cette étude pilote ont permis d'améliorer la méthodologie de l'étude initiale tout en modifiant l'attente principale (le VO_{2max}).

4.1 Ajustements suite à l'étude pilote

Lors des tests de marche navette de l'étude pilote, nous avons observé les sujets (étudiants universitaires de 21 à 31 ans et un professeur de 49 ans) ainsi que leur adaptation aux différentes vitesses. Nous avons déterminé la vitesse moyenne à laquelle les sujets se mettaient à courir (8 km/h). Ainsi, nous avons pu déterminer la vitesse maximale de notre test de marche navette.

Concernant le protocole de départ qui voulait utiliser le demi-tour comme lors du test de marche de six minutes, la composante élastique des décélérations et des accélérations lors du demi-tour représentaient un effort quasi-pliométrique très exigeant dès que la vitesse augmentait. De plus, ce demi-tour à grande vitesse induisait une augmentation de la distance parcourue avec l'augmentation de l'arc comparativement à la vitesse. Pour finir, cette habileté motrice de maîtrise de l'inertie du corps et de ses appuis représentait une exigence élevée pour des personnes âgées. De ce fait, nous avons modifié le protocole pour déterminer une zone de demi-tour où le sujet effectuait celui-ci comme bon lui semblait et avec la possibilité de varier sa jambe d'appui (comme présenté dans la méthodologie).

Concernant l'aptitude des participants à synchroniser leur effort avec la cadence, nous avons observé une certaine difficulté de la part des sujets à réaliser la transition marche/course sans prendre de l'avance ou du retard. Pour palier à ces variations de rythme, il a été décidé qu'un chercheur (familier du test) effectuerait le test en parallèle avec chaque sujet pour multiplier les canaux d'informations (visuel et auditif) afin d'optimiser leur synchronisation. (Cette modification est présente dans la méthodologie).

4.1.1 Résumé des résultats escomptés et progression du VO_2 .

Les sujets ont atteint leur VO_2 max pour lors du test navette en continuant à la course mais cela ne représentait pas l'objet principal de notre étude. En effet, nous avons pu observer la progression de la consommation d'oxygène selon les paliers et les réponses physiologiques des paliers de marche nous permettent d'espérer que les sujets de la future étude atteindront des valeurs représentatives d'un effort maximal. En effet, les courbes de VO_2 présentées ci-dessous nous démontrent les adaptations de la VO_2 , de la Fc selon le temps. Si nous omettons certains artefacts, les courbes représentent bien le phénomène de plateau du à l'adaptation physiologique suit à l'augmentation de la charge.

Figure 2: Évolution de la VO_2 et de la F.c selon le temps jusqu'à un plateau de consommation maximale d' O_2 (sujet 1).

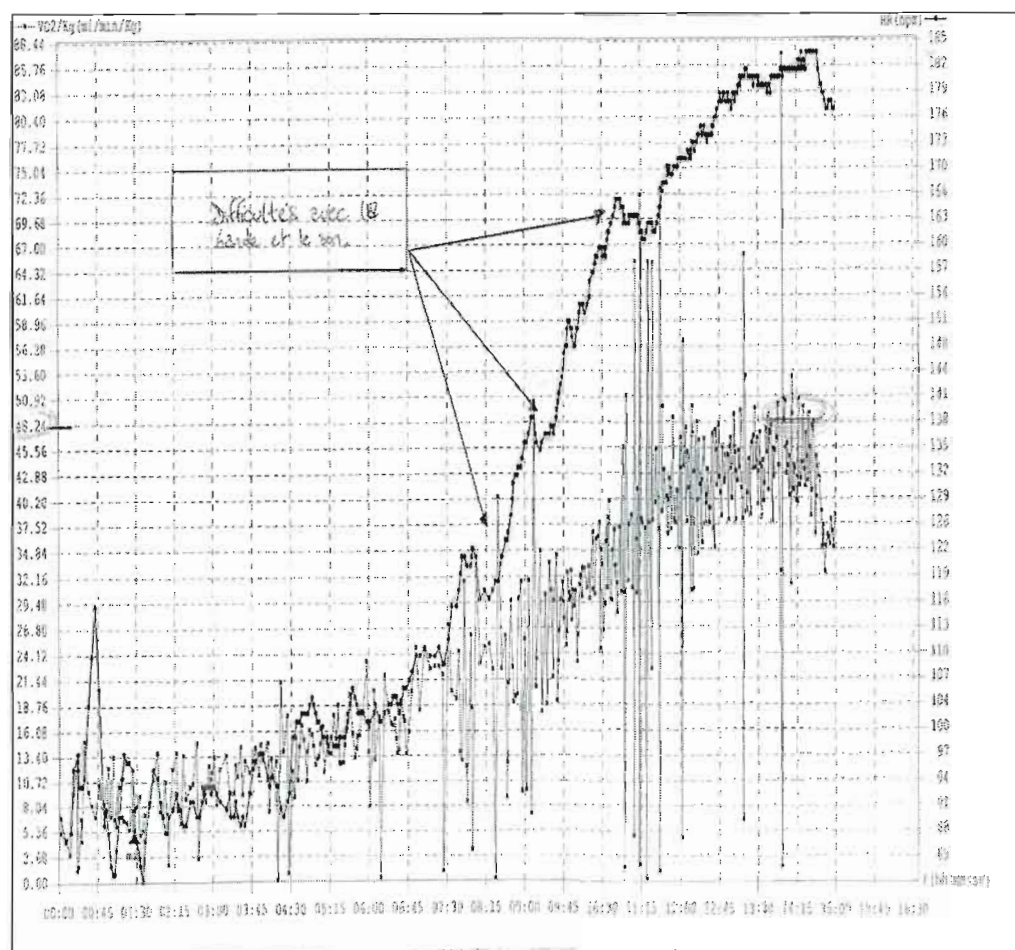


Figure 3: Évolution de la VO_2 et de la F.c selon le temps jusqu'à un plateau de consommation maximale d' O_2 (sujet 2).

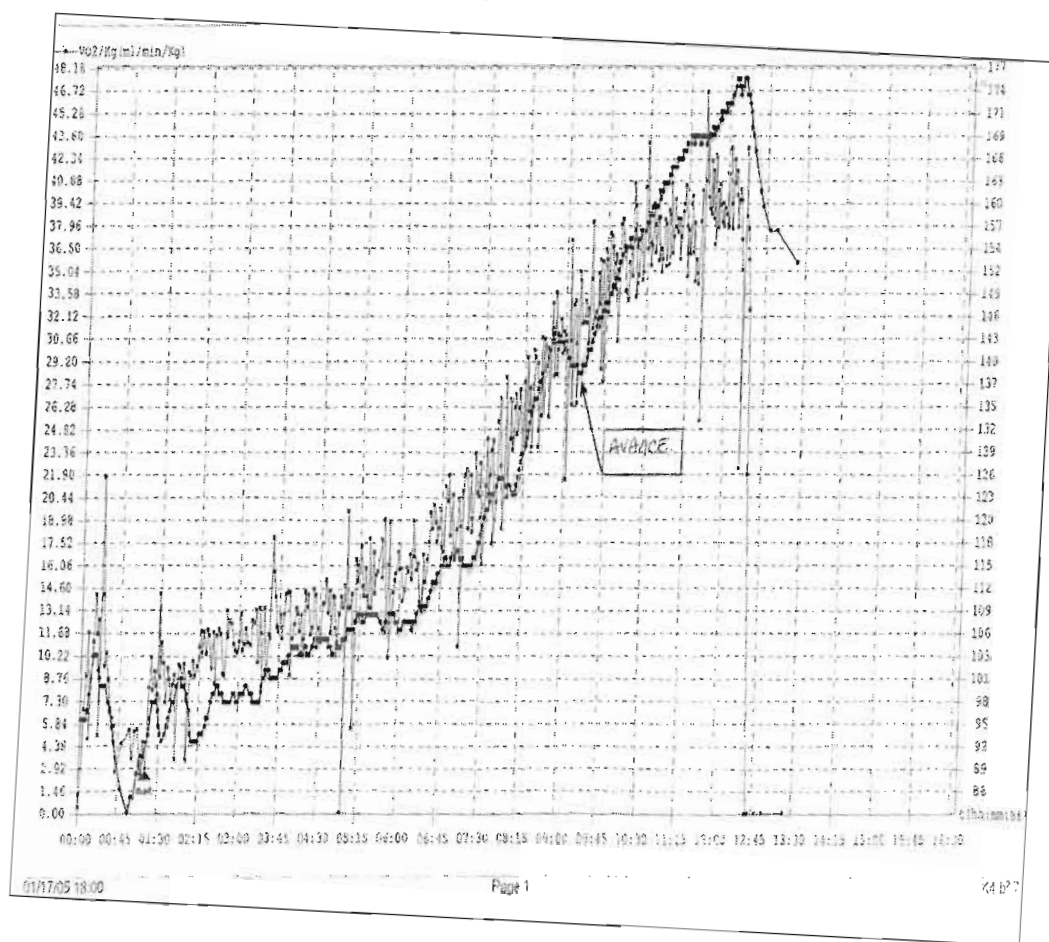


Figure 4 : Évolution de la VO_2 et de la F.c selon le temps jusqu'à un plateau de consommation maximale d' O_2 (sujet 3).

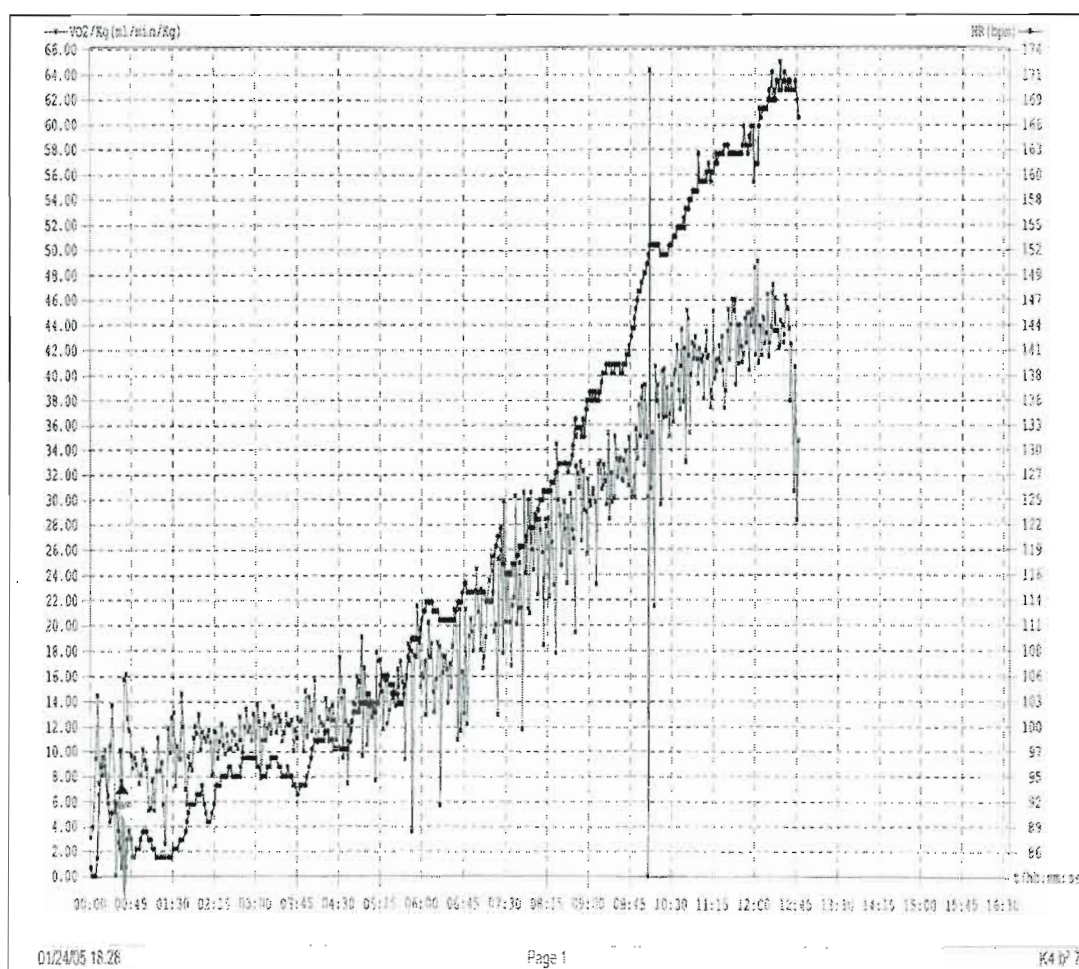


Figure 5 : Évolution de la VO_2 et de la F.c selon le temps jusqu'à un plateau de consommation maximale d' VO_2 (sujet 4).

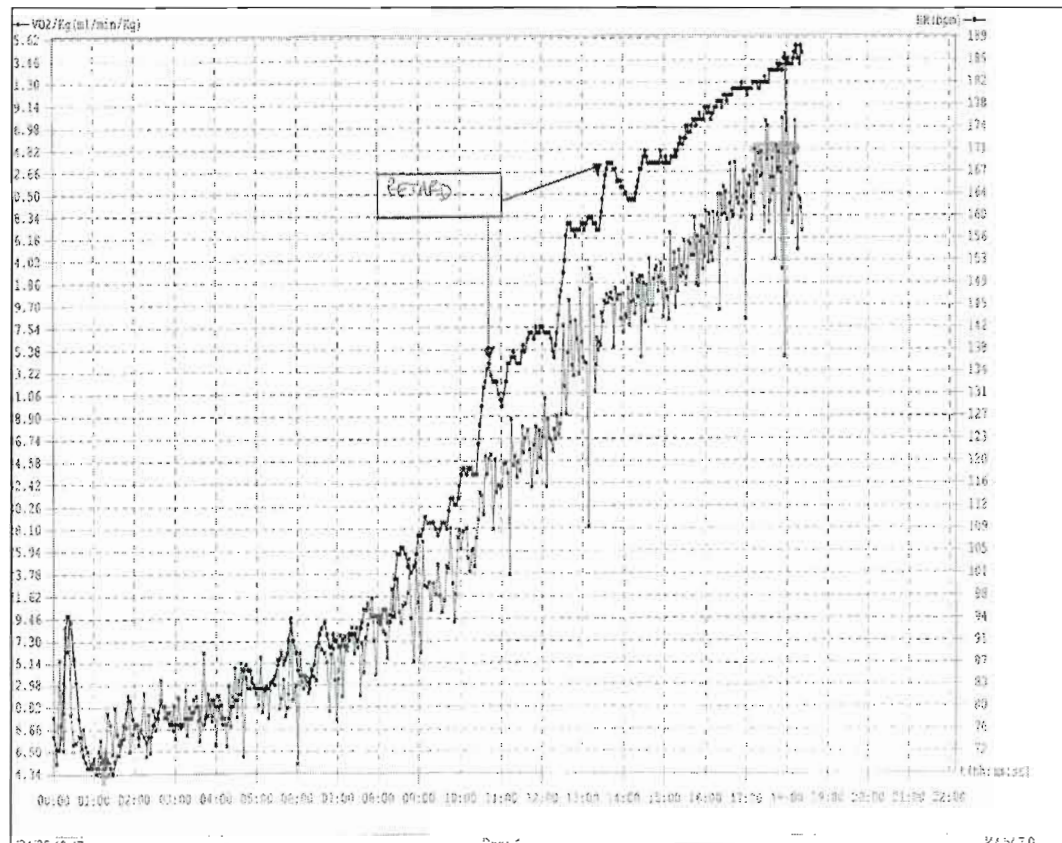
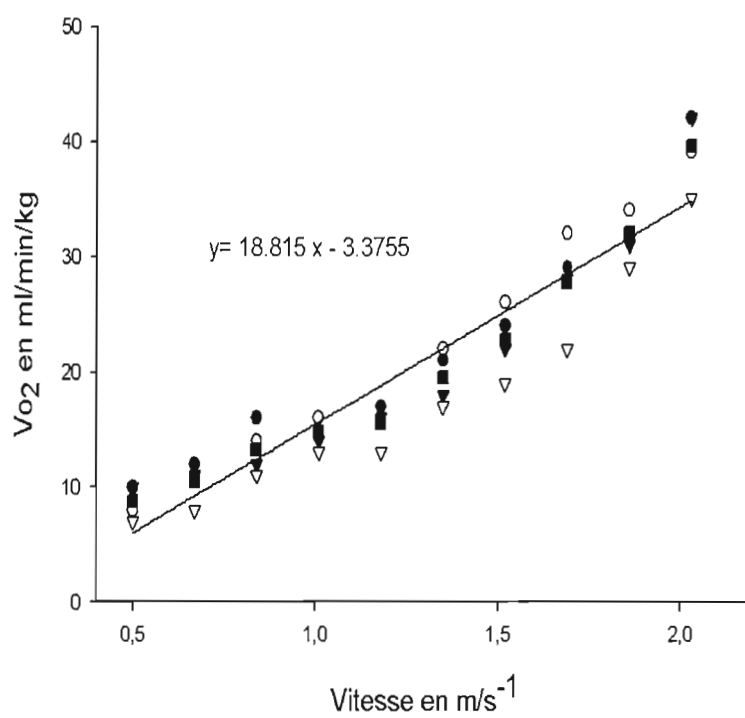


Figure 6: Évolution de la VO_2 selon la vitesse de marche chez quatre sujets lors de l'étude pilote.

Évolution de la Vo_2 selon la vitesse de marche
pour quatre sujets lors de l'étude pilote.



La très forte corrélation obtenue avec nos quatre sujets peut être encourageante mais il faut pondérer ces résultats obtenus avec des sujets très coopératifs et très peu nombreux. Néanmoins, ces résultats ont été obtenus dans des conditions similaires au protocole proposé par la présente étude. De plus, la valeur moyenne des VO_2 obtenues est similaire aux prédictions du test Léger Boucher pour les mêmes vitesses. L'étude pilote a été réalisée avec des sujets universitaires uniquement pour évaluer la faisabilité physique d'un tel test. De plus, les trois premiers paliers représentaient des vitesses de 1 à 2 km/h et l'équipe de recherche ne voulait pas contrarier, lors d'une étude pilote des sujets potentiels, (risque de démotivation face à la tâche, effet Pygmalion).

LE PREMIER EXTRAIT

5.1 Résumé propose pour le congrès international de gérontologie de Rio de Janeiro en 2005.

VO₂ requirements during the 6-min walk test in older trained adult populations.

Duvergé, S.¹, Boudreault, I.¹, Nadeau, S.², Kalinova, E.¹, Leone, M.¹, and Comtois, A.¹.

¹Département de Kinanthropologie, Université du Québec à Montréal and ²Université de Montréal, CRIR, Montréal, Canada.

The 6-min walk test (6-MWT) has been extensively used to predict maximal functional aerobic capacity (VO₂Fmax) in healthy and symptomatic populations (Steele. AACVPR, 1994). There is little data, however, on the performance of healthy trained older individuals. Thus, the first goal of the present research was to study the distance and cardiorespiratory parameters during the 6-MWT in a trained older population.

Methods: A total of 25 older adults (19 females and 6 males; Table 1) with a group mean age of 68±6.3 years (range 57 to 79) performed the 6-MWT over a 10 m corridor free from all obstacles. The subjects were asked to walk back and forth, covering as great a distance as possible during the allotted time (six min). The cardiorespiratory parameters were recorded with a portable metabolic measurement system (Cosmed, K4b², Rome Italy). The level of association between the oxygen consumption (VO₂ in ml/kg/min) parameter and the distance covered during the 6-MWT, measured in meter, was assessed using Pearson correlation coefficients (r).

Results:Table 1: Characteristics (mean $\pm$ SD) of studied subjects (n=25)

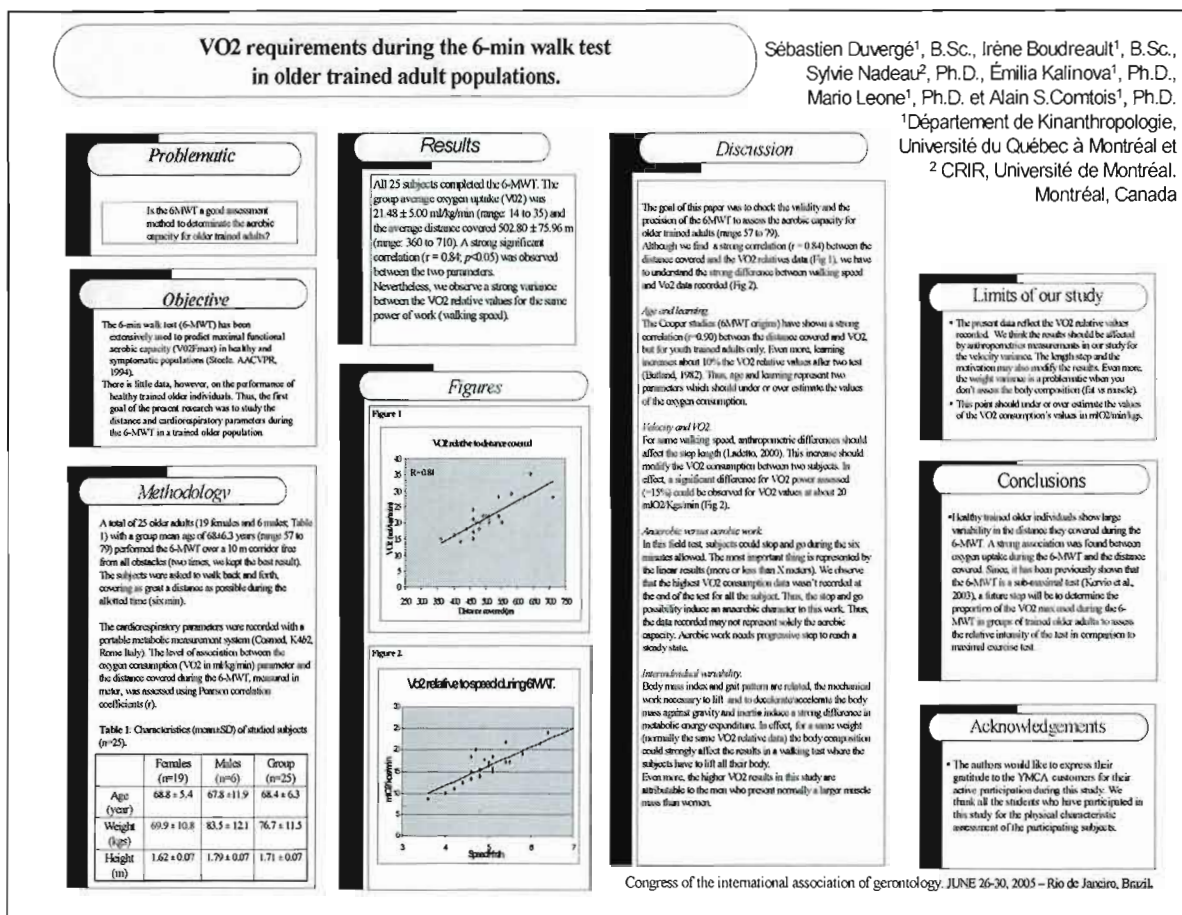
	Females (n=19)	Males (n=6)	Group (n=25)
Age (years)	68.8 $\pm$ 5.4	67.8 $\pm$ 11.9	68.4 $\pm$ 6.3
Weight (kg)	69.9 $\pm$ 10.8	83.5 $\pm$ 12.1	76.7 $\pm$ 11.5
Height (m)	1.62 $\pm$ 0.07	1.79 $\pm$ 0.07	1.71 $\pm$ 0.07

All 25 subjects completed the 6-MWT. The group average oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) was 21.48 ± 5.00 ml/kg/min (range: 14 to 35) and the average distance covered 502.80 ± 75.96 m (range: 360 to 710). A strong significant correlation ($r = 0.84$; $p < 0.05$) was observed between the two parameters (Fig).

Conclusion: Healthy trained older individuals show large variability in the distance they covered during the 6-MWT. A strong association was found between oxygen uptake during the 6-MWT and the distance covered. Since, it has been previously shown that the 6-MWT is a sub-maximal test (Kervio et al., 2003), a future step will be to determine the proportion of the $\dot{V}O_{2\text{ max}}$ used during the 6-MWT in groups of trained older adults to assess the relative intensity of the test in comparison to maximal exercise test.

5.2 Affiche publiée au congrès international de gérontologie de Rio de Janeiro en 2005.

Figure 7 : Affiche présentée au congrès international de gérontologie de Rio de Janeiro en 2005.



6 CHAPITRE VI

LE DEUXIÈME EXTRAIT

6.1 Résumé proposé pour le congrès de la SCPE à Halifax en 2006.

Methodology.

A total of 22 older adults (16 females and 6 males; Table 1) with a group mean age of 70.0 ± 5.8 years (range 58 to 79) completed a 6-min walk test (6MWT) and an incremental shuttle walking test (ISWT) within a 2 week period. Heart rate (HR) and oxygen consumption peak (VO₂ peak) were measured thought each test. The walking speed and the distance walked in ISWT and MWT were compared to peak oxygen uptake (VO₂ peak). The exclusion criteria for the subjects included: no smoking, free from chronic disease (CHF and COPD), no diabetes mellitus, no drugs (bronchodilators, B-bloquers) and neurological and orthopaedic problems.

Results.

A total of 110 recordings for the VO₂ peak were obtained and analysed. Strong correlations were found for the VO₂ peak and the walking speed ($r=0.91$ and $r=0.89$, respectively, for 6 MWT and ISWT). VO₂ peak values obtained with the ISWT were significantly greater ($p<0.05$) than with the 6 MWT (21.6 ± 5.3 vs 18.9 ml/kgmin ± 4.5 , respectively). There was no significant difference between sexes. Thus, the ISWT appears to a better tool to assess the maximal aerobic functional capacity in older healthy adults based on the higher VO₂ peak values obtained in comparison to the 6 MWT.

Discussion.

The pattern of change of VO₂ and HR differed between the 6mwt and the ISWT. The 6MWT and ISWT elicited different peak for VO₂ and Hr suggesting that these field tests could challenge the subjects to different level of cardiovascular and respiratory stress.

VO₂ and Hr evolution.

VO₂ values during the 6MWT increased none-linearly with an early increase after two minutes of the beginning of the test and seem to stay rather stable during the rest of the test. VO₂ values during ISWT, increased linearly until a maximum peak for the last level sustained. Moreover, the regression equation presents a y intercept value (for $x = 0$) of $3.78 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. This value corresponds approximately at one MET ($3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) which represents the basal metabolic value. In contrast, the same value represents a large oxygen consumption without work (approximately 3 METS) which could be induced by anticipation of the test (pre-test stress). This phenomenon is the same for HR as respectively for 6MWT and ISWT.

Age and learning.

The Cooper studies (6MWT origins) have shown a strong correlation ($r=0.90$) between the distance covered and VO₂, but for youth trained adults only. Even more, learning increases about 10% the VO₂ relative values after two test (Butland, 1982). Thus, age and learning represent two parameters which should under or over estimate the values of the oxygen consumption in 6MWT.

Velocity and VO₂.

For same walking speed, anthropometric differences should affect the step length (Ladetto, 2000). This increase should modify the VO₂ consumption between two subjects. In effect, a significant difference for VO₂ power assessed ($\geq 15\%$) could be observed for VO₂ values at about $20 \text{ mlO}_2/\text{Kgs}/\text{min}$ (Fig 2).

Anaerobic versus aerobic work.

In the 6 MWT test, subjects could stop and go during the six minutes allowed. We observe that the highest VO₂ consumption data wasn't recorded at the end of the test for all the subject. Thus, the stop and go possibility induce an anaerobic character to this work. Thus, the data recorded may not represent solely the aerobic capacity. Aerobic work needs progressive step to reach a steady state. In contrast, during the ISWT, the highest VO₂ consumption data was recorded at the end of the last sustained step for each subject (fig2).

Interindividual variability.

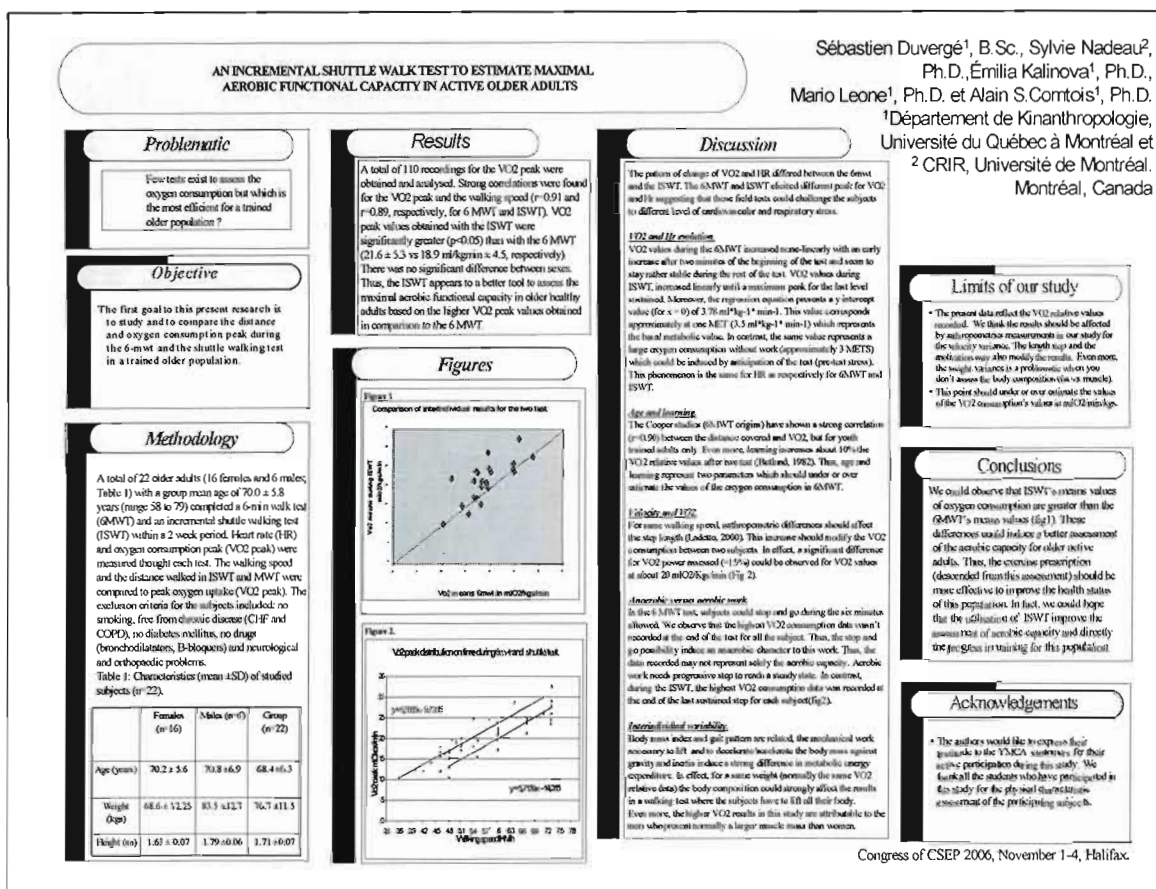
Body mass index and gait pattern are related, the mechanical work necessary to lift and to decelerate/accelerate the body mass against gravity and inertia induce a strong difference in metabolic energy expenditure. In effect, for a same weight (normally the same VO₂ relative data) the body composition could strongly affect the results in a walking test where the subjects have to lift all their body. Even more, the higher VO₂ results in this study are attributable to the men who present normally a larger muscle mass than women

Conclusions.

We could observe that ISWT's means values of oxygen consumption are greater than the 6MWT's means values (fig1). These differences could induce a better assessment of the aerobic capacity for older active adults. Thus, the exercise prescription (descended from this assessment) should be more effective to improve the health status of this population. In fact, we could hope that the utilisation of ISWT improve the assessment of aerobic capacity and directly the progress in training for this population.

6.2 Affiche publiée au congrès de la société canadienne de physiologie de l'exercice d'Halifax

Figure 8 : Affiche présentée au congrès de la société canadienne de physiologie de l'exercice d'Halifax 2006.



6.3 Courriel d'acceptation de la présentation

De : <info@csep.ca>
 Envoyé : vendredi 6 octobre 2006 22:16:26
 À : sebduverge@hotmail.com
 Objet : CSEP 2006 Abstract Presentations

Dear Mr. SÃ©bastien DuvergÃ©

CSEP 2006 *An incremental shuttle walk test to estimate maximal aerobic functional capacity* –

RE: Notice of abstract acceptance and presentation format

Earlier this summer you received a letter from our office advising you that your abstract was accepted for presentation at Building Bridges 2006 November 1-4, 2006 in Halifax. At that time we indicated that we would contact you regarding the specific email address to send your Free Communication presentation in advance.

Please be advised that the organizing committee for Building Bridges has decided to assemble the presentations on-site. Thus, you are required to submit your presentation file (Powerpoint) on a CD or USB stick to a designated individual at the **CONFERENCE REGISTRATION DESK** at least 24 hours before you are scheduled to present your talk.

Poster presentations are to be formatted to fit on a poster board 8 feet wide by 4 feet high and can be mounted shortly before your session. Please contact the CSEP office if you have any questions.

Thank you.

Building Bridges 2006 Conference Team.

LE PREMIER MANUSCRIT.

7.1 Paper submitted for publication to Age and Ageing Journal.

May 7, 2007
Age and Ageing Journal
Editorial Office

Dear members of the editorial office,
Please find enclosed a manuscript submitted to the journal of Age and Ageing. The title of the manuscript is "*Comparison of bioenergetics of walking during a multistage incremental shuttle walk test and a self-paced walk test in active older adults*". The manuscript has not been submitted elsewhere while it is being reviewed for publication in the journal.

The authors listed are all from the department of Kinanthropologie at the University of Quebec in Montréal. P.O. Box 8888, succ. Centre-ville. Montréal, Québec. H3C 3P8. Canada. The authors in order of appearance on the manuscript are: Sébastien Duvergé, graduate student (sebduverge@hotmail.com); Mario Leone, professor (leone.mario@uqam.ca); Émilie Kalinova, professor (kalinova.emilie@uqam.ca); and Alain S. Comtois, professor (comtois.alain-steve@uqam.ca). All authors can be reached at 514 987 3000, except for Sébastien Duvergé whom may be reached at 450 433 2074.

Kindest regards,

Alain S. Comtois, Ph.D.
Professor of work physiology

7.2 Le manuscrit.

**COMPARISON OF BIOENERGETICS OF WALKING DURING A
MULTISTAGE INCREMENTAL SHUTTLE WALK TEST AND A
SELF-PACE TEST IN ACTIVE OLDER ADULTS**

Sébastien Duvergé, Mario Leone, Émilie Kalinova and Alain S. Comtois
Département de Kinanthropologie, Université du Québec à Montréal

Running Title: Bioenergetics variability during different walking test procedures

Address of correspondence:

Alain S. Comtois, Ph.D.
Département de Kinanthropologie
Université du Québec à Montréal
C. P. 8888, succ. Centre-Ville
Montréal (Québec), Canada, H3C 3P8
Tél.: (514) 987-3000 # 4156
Fax.: (514) 987 6616
E-Mail: comtois.alain-steve@uqam.ca

ABSTRACT:

Purpose: The goal of the present research was to compare the bioenergetics variability of walking based on peak oxygen consumption ($\dot{V}O_2$ peak) during a 6 minute walk test (6-MWT) and a multistage incremental shuttle walk test (MISWT) in an active older population.

Methods: Subjects were recruited from a local community exercise club. A total of 22 healthy physically active older adults (16 females and 6 males) with a group mean age of 70.4 ± 5.8 years (range 58 to 79) completed the 6-MWT and the MISWT within a 2 week period. Heart rate (HR) and $\dot{V}O_2$ peak were measured throughout each test with a portable metabolic cart (K4B2, Cosmed, It.). The relationship between $\dot{V}O_2$ peak with the walking speed and the total distance walked was established (Pearson's correlation) during both the MISWT and the 6-MWT, respectively.

Results: A total of 110 recordings of $\dot{V}O_2$ peak were collected. There was no significant difference between genders. Strong correlations were found for the $\dot{V}O_2$ peak and the walking speed ($r = 0.91$ and $r = 0.89$ respectively for 6-MWT and MISWT). However, MISWT $\dot{V}O_2$ peak means were significantly greater than the 6-MWT $\dot{V}O_2$ peak values ($21.6 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \pm 5.3$ vs. $18.9 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \pm 4.5$).

Conclusions: The values of $\dot{V}O_2$ peak recorded for the MISWT were significantly greater than the 6-MWT values. Thus, the MISWT appears to represent a better tool to assess $\dot{V}O_2$ peak in healthy active older adults.

Key Words: Bioenergetics; walking tests; aging; active population; $\dot{V}O_2$ peak

Introduction

In occidental societies, pharmacological and surgical progress has increased life expectancy but not necessarily with complete autonomy during this additional period [1]. To protect and to reduce costs provided by our health care system, one of the most important questions should be what can be accomplished to keep our older population autonomous and healthy? The World Health Organisation (WHO) has defined exercise (more precisely aerobic exercise) as the first non pharmacologic treatment for various pathologies issued from physical inactivity [2-3].

Maximal oxygen consumption ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) is one of few indicators that is associated to life expectancy [1,4]. In fact, when $\dot{V}O_2 \text{ max}$ falls below the critical value of 12 ml/kg/min life expectancy is greatly reduced [4]. As well, assessment of oxygen consumption peak ($\dot{V}O_2 \text{ peak}$) represents one of the most important values for prescribing training programs. According to the training concept, a positive surcharge has to be respected by the subject in order to progress and to upgrade the physical condition [5]. Exercise physiologists have already validated field tests to assess as precisely as possible the $\dot{V}O_2 \text{ peak}$ or maximal aerobic power in children and adult populations [6-16]. Thus, physically active older populations could benefit from similar follow-up tools for training but those actually available, such as the 20 meter shuttle run might not be suitable. The other tools available for follow-up measures are issued from rehabilitation programs that are suitable for older symptomatic populations but again not ideally suitable to physically active older populations [17-19].

The six minute walk test (6-MWT) is considered as the reference test to assess the aerobic capacity in older adult populations, symptomatic or not. This test is issued from Cooper's 12min test for older individuals whom have suffered cardiac pathologies [17-19]. On the other hand, the multistage intermittent shuttle walk test (MISWT) is an adaptation of the Léger 20 meter shuttle run test for Chronic Obstructive Pulmonary Disease (COPD) [17-19]. The 6-MWT and the MISWT protocols are very different. The 6-MWT is self-paced and can be continuous or intermittent, depending on whether the subject rests during the test [20]. In contrast with the 6-MWT, the 10 m shuttle test is externally paced and requires an incremental increase in walking speed each minute, to a point at which the test is terminated

because of breathlessness or the inability to sustain the walking speed [17]. Studies comparing the MISWT and the 6-MWT show that peak heart rate exercise responses are similar between each test in subjects with COPD [21-22] but to our knowledge no studies with healthy subjects have shown this phenomenon for both peak heart rate or $\dot{V}O_2$ peak. Even more, since walking is a familiar activity, some have argued that field walking tests in general may better reflect the ability of patients to undertake physically demanding activities of daily living than laboratory tests [17]. However, some studies [6-16] have shown that incremental tests may better reflect aerobic capacity than a self paced test. Stop and go possibility of the 6-MWT induce an anaerobic character to this work. Thus, the data recorded may not represent only the aerobic capacity. Aerobic work requires progressive steps in order to reach a steady state [10-16,23]

The 6-MWT is already considered as a sub maximal test, located at around 85% of VO_2 max [24], which does not represent maximal aerobic capacity assessment. Thus, the goal of this study was to compare the MISWT to the 6-MWT in an effort to determine which test will lead to a better assessment of $\dot{V}O_2$ peak, i.e., closest to maximal aerobic capacity, in an active older healthy population. The hypothesis was that the imposed incremental pace would motivate the subjects to reach faster walking speeds that what is reached during the 6-MWT.

Methodology:

Subjects.

A total of 25 older adults were initially recruited to participate in the study, however, 3 subjects abandoned in the early stages of the study.. Thus, the following experiments were completed with the remaining 22 older adults (16 females and 6 males) that are presented in Table 1 (anthropometric characteristics).

The inclusion factors were to be physically active at least twice per week, 55 years of age or above, and free of any underlying diseases that may impede exercise participation (pectoralis anigina, CHF, COPD, Type I diabetes). As well, restrictions to participate in the study were based on certain medication classes that could affect exercise performance such as, Beta blockers and bronchodilators that act on Beta receptors. Other exclusion factors were neurologic and orthopaedic problems that could affect exercise performance. Medical staff was in place to respond to medical emergencies.

Before participating in the study, subjects had to complete a health status questionnaire (PAR-Q) and all participating subjects had received medical clearance from their personal physicians. The study was approved by the UQAM committee on human research and written informed consent was obtained from all subjects.

Materials.

Heart rate (HR) and VO_2 were recorded during each test by a HR frequency belt (Polar belt, model T61, Polar, Fi) integrated into the operation of the K4b2 (Cosmed, K4b2, Rome Italy) portable metabolic system [25-26], which assessed all the cardio respiratory parameters.

Standardized recommendations and protocol.

All the subjects were informed to avoid drinking coffee and smoking twelve hours before each test and abstain from any high intensity exercise and beverages that contained alcohol at least 24 hours before testing day. On day one of testing, the age predicted maximal heart rate was calculated by using the formula $220 - \text{age}$ [27], data not shown. On each day of testing and before each test the Cosmed K4b2 metabolic analyzer was calibrated with ambient air (20.93% O_2 and 0.03% CO_2) and a concentration of 17.00% O_2 et de 5.03 % de CO_2 , the

turbine (for measuring minute ventilation in L/min) was calibrated with a 3L syringe and the delay was verified.

Experimental procedure

All 22 subjects completed the 6-MWT over a 10 m distance in a corridor free from all obstacles (three trials) and the 10 m shuttle walking test (two trials) within a two week period. The tests were performed at least 48h to 72h apart at the same hour to respect the circadian rhythms of individual subjects. For the 6-MWT, we kept the results of the third trial, as demonstrated by Kervio [24] whom has shown that at least two trials are necessary for learning the 6-MWT procedure. For the MISWT, we kept the second trial, even though there were no significant differences between the first and second trials (results not shown).

The 6-MWT

The subjects were asked to walk back and forth, covering as great a distance as possible during the allowed time (six min) in a wide 10 meter corridor. The 6-MWT is self-paced and can be continuous or intermittent, depending on whether the subject rests during the test. The standardised approach for administering the test was followed as described by the pulmonary rehabilitation programs guideline [20].

The 10 meters shuttle test (MISWT)

In contrast with the 6-MWT, the MISWT is externally paced and provides an incremental increase in walking speed each minute, to a point at which the test is terminated because breathlessness or the inability to sustain the walking speed. The subjects were asked to follow the pace set by loud beeps emitted from an audio band played on a CD player in the same corridor over the same 10 meter distance as the 6-MWT until the pace couldn't be sustained.

Statistical analysis.

All values are reported as mean $\pm$ standard deviation (SD). Regression analysis was performed using the Pearson correlation coefficients (r). Differences in $\dot{V}O_2$ peak values were analysed with a paired Student's t -test (SPSS, version 13). As well, repeated measures ANOVA were conducted to detect differences between test and gender. Post-hoc comparison between pairs was performed using Tukey's test. Values of $P < 0.05$ were established as

significant. Bland and Altman plots were used to determine MISWT in relationship to 6MWT.

Results

A total of 110 $\dot{V}O_2$ peak measurements were recorded. Fig 1 illustrates the $\dot{V}O_2$ peak values that were measured during both tests (MISWT and 6-MWT). The correlation ($r^2 = 0.51$; SEE = 3.70; $p < 0.001$) shown in Fig. 1A (solid line) between both tests was moderate and the majority of $\dot{V}O_2$ peak values were above the line of identity (dashed line). The $\dot{V}O_2$ peak (21.7 ± 5.33 ml/kg/min) during the MISWT was significantly greater ($p < 0.001$) than the $\dot{V}O_2$ peak (18.9 ± 4.53 ml/kg/min) during the 6-MWT (Fig. 1B). No significant differences were observed between sexes (results not shown). The Bland and Altman plot indicates that the average difference between both tests was 2.5 ml/kg/min with Z scores (± 1.96 SD) ranging from -4.4 to 9.9 (Fig. 1C).

Fig 2 shows the $\dot{V}O_2$ measurements obtained during both tests at every minute (Fig 2 A and B). There was a strong correlation, as indicated by the r^2 value shown in Fig. 2A, between $\dot{V}O_2$ and walking speed increments at each minute (stage level). A curvilinear relationship (dashed line) was also fitted through the data points and shows a strong correlation ($r^2 = 0.88$; SEE = 2.04; $p < 0.001$). On the other hand, there was a weak correlation between $\dot{V}O_2$ and time during the 6-MWT, as indicated by the r^2 value shown in Fig. 2B.

Fig. 3 shows the $\dot{V}O_2$ peak measurements in relation to walking speed (km/h) for both the MISWT and the 6-MWT. As shown in Fig 3 A and B, strong significant correlations were found for $\dot{V}O_2$ peak and walking speed, respectively for MISWT and 6-MWT. The mechanical efficiency of walking was calculated by obtaining the quotient of $\dot{V}O_2$ by walking speed (Fig 3 C and D). A parabolic type relationship was obtained for mechanical efficiency during the MISWT (Fig. 3C), while during the 6-MWT the mechanical efficiency was represented by a sinusoidal type relationship (Fig. 3D).

Heart rate measurements show that subjects achieved a significant greater peak heart rate during the MISWT when compared to the 6-MWT (130.41 ± 20.48 vs 112.12 ± 19.08 , respectively, $p < 0.001$). As indicated in Table 2, peak heart rate during the MISWT was 86.3 ± 12.94 % of the age predicted maximal value, while during the 6-MWT it was 80.1 ± 11.01 %.

Discussion

The main finding of this study is that $\dot{V}O_2$ peak measured with the MISWT is significantly greater than the 6-MWT. This is a novel finding suggesting that older fit healthy individuals can reach $\dot{V}O_2$ peak values that are closer to $\dot{V}O_2$ max values. The MISWT and 6-MWT elicited different peaks for VO_2 and Hr suggesting that the MISWT field test can challenge the subjects to different level of cardiovascular and respiratory stress. In addition, the imposed pace set at every minute is a better motivator to reach greater levels of aerobic capacity.

Aerobic versus anaerobic work.

As mentioned above in the results section (Fig. 1A), a significant correlation was observed for VO_2 between the MISWT and the 6-MWT ($r = 0.71$). Nonetheless, the coefficient of determination was very low ($r^2 = 0.51$) and that reflected a large difference between the MISWT and the 6-MWT for VO_2 assessment.

The MISWT because of the imposed pace allowed each subject to reach $\dot{V}O_2$ peak at the end of the last sustained step for each subject (Fig. 2A). In contrast, during the 6-MWT, subjects could stop and go during the six minutes allowed. As well, we observe that the highest VO_2 consumption measure was not recorded at the end of the test for each subject (Fig. 2B). In fact, the variability's pace may have induced an anaerobic character to the 6-MWT in this particular group of older fit individuals. Thus, the data recorded during the 6-MWT may not represent solely the aerobic capacity. Aerobic work needs progressive steps to reach a steady state [28].

VO_2 evolution during the 6-MWT and the MISWT.

$\dot{V}O_2$ values during the 6-MWT increased rapidly during the first two minutes (Fig. 2B) and then seemed to stay rather stable during the rest of the test. On the other hand, $\dot{V}O_2$ values during the MISWT increased linearly from an initial low value, as would be expected with a progressive test (Fig. 2A). The linear relationship was retained for interpretation, since the SEE between the linear and curvilinear relationships were essentially equal (2.24 and 2.04,

respectively). Moreover, the regression equation shown in Fig. 2A presents a y intercept value (for $x = 0$) of $3.78 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. This value corresponds approximately to one MET ($3.5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$), which represents the resting metabolic rate [23]. In contrast, the y intercept value shown in Fig. 2B for the 6-MWT represents a large $\dot{V}\text{O}_2$ ($\sim 15 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$) that is more than four times the resting metabolic rate. This could have occurred due to anticipation of the test (pre-test stress), but is highly unlikely since the nature of the 6-MWT requires walking as quickly as possible at the onset of the test, thus achieving a high $\dot{V}\text{O}_2$ value by the end of the first minute and remaining relatively stable throughout the entire six minutes [20, 23]. This phenomenon of pre-test stress reflected by a high resting $\dot{V}\text{O}_2$ value was not observed with the MISWT, since the first stage is at a slow walking speed and then progresses slowly until stage 10.

Velocity and VO_2

At same walking speeds, anthropometric differences could affect stride length [29-30]. This variation in stride length could affect the VO_2 measured between two subjects. In fact, large variations in mechanical efficiency could be observed when comparing the MISWT to the 6-MWT (Fig. 3 C and D, respectively). The mechanical efficiency during the MISWT followed a parabolic type relationship with the apex of the parabola at a speed of 1.2 m/s (4.3 km/h). In contrast, no such relationship was observed during the 6-MWT.

Intra subject variability

As shown in Table 1, the participating subjects presented BMI values that fall in the category of maximal benefits for health according to CSEP guidelines [31]. This is quite remarkable for this age group and indicates quite convincingly that the group studied represented fit healthy older adults.

Body mass index and gait pattern are related, the mechanical work necessary to lift and to decelerate/accelerate the body mass against gravity and inertia induces a strong difference in metabolic energy expenditure [29]. In effect, for a same weight (normally the same VO_2 relative data) the body composition could strongly affect the results in a walking test where

the subjects have to lift all their body. The higher $\dot{V}O_2$ results in this study are attributable to men who present normally a larger muscle mass than women [32-34].

Maximal heart rate predicted percentage means and $\dot{V}O_2$.

Others studies [7-8] have shown that strong inter individual variations exist for the HR- $\dot{V}O_2$ relationship ($\pm 20\%$ in sub maximal data and $\pm 10\%$ for maximal data). Even more, the 6-MWT peak HR expressed as percent of the age predicted maximal HR (Table 2) are much lower than MISWT (80.1 ± 11.01 and 86.3 ± 12.94 .. These results indicate that the MISWT is near a maximal test for older adult [24] .

Heart rate is the easiest measurement to assess fitness level in relationship to a standardised protocol [27]. The MISWT can also easily assess the fitness level or the affect of training by identifying the last stage reached. The last stage reached with the MISWT is indicative of $\dot{V}O_2$ peak and somewhat similar to the Leger and Lambert [15] 20 meter shuttle run test (20 m SRT). However, the 20m SRT measures $\dot{V}O_{2\max}$, which is different than the $\dot{V}O_2$ peak measured with our test, the MISWT. Nonetheless, the MISWT is a progressive walking test that is less strenuous than the 20 m SRT (1st stage accomplished by running) and is perhaps more suitable for an older population.

Limits of our study

The present data reflect the measured $\dot{V}O_2$ values relative to body weight. Thus, the results could be affected by anthropometric measurements in our study that influence length step and the motivation [29]. Even if, there is no significant difference between male and female with variance ANOVA analysis, big difference between weight's average of male and female (as shown in table1) may affect $\dot{V}O_2$ values expressed in $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. The weight variance is also problematic when you don't assess body composition (fat versus muscle) [29].

This point should under or over estimate the values of the $\dot{V}O_2$ expressed in $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$. Even more, we feel that the data could be affected by our subjects who could be healthier than the rest of the older population.

More over, the variance of step length, and the difference of mechanical efficiency should affect the $\dot{V}O_2$ values as shown by Ladetto [29].

Even more, we could consider that the four first stages (stage 1 to 4) are too slow for older fit healthy individuals. In other studies, the MISWT could begin at the fifth stage with fit healthy populations but the same protocol should be kept (i.e., beginning at stage 1) with rehabilitation programs (COPD, heart disease and post surgery).

Conclusion

The MISWT $\dot{V}O_2$ peak values are greater than the 6-MWT $\dot{V}O_2$ peak values. These differences can induce a better assessment of the aerobic capacity for older active adults. Thus, the exercise prescription should be more effective to improve the health status of this population. In fact, we could hope that the utilisation of MISWT improves the assessment of aerobic capacity and directs the progress of training for this population.

Acknowledgements

The authors would like to express their gratitude to the YMCA customers for their active participation during this study. We thank all the students who have participated in this study for the physical characteristic assessment of the participating subjects. This research was supported in part by Fond d'Innovation du YMCA.

Bibliography

1. Rydwick E., Kerstin F, Akner, G Effects of physical training on physical performance in institutionalised elderly patients (70+) with multiple diagnoses. *Age Ageing* 2004; 33: 13 – 23.
2. World Health Organisation. Obesity preventing and managing the global epidemic, Report of a WHO Consultation on Obesity, Geneva, 3-5 june 1997. World Health Organisation 1998: 276.
3. Fox, S.M., Naughton, J.P. et Haskell, W.L. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann Clin Res* 1971; 3: 404-432.
4. Fred W. Kasch, John L. Boyer SP, Van camp Larry S, Verity, and Janet P. Wallace. Effect of Exercise on Cardiovascular Ageing. *Age Ageing* 1993; 22: 5 - 10.
5. Weineck, J.. Manuel d'entraînement. Vigot 2001; Quatrième édition: 107-161.
6. Astrand, P.O., Saltin, B.. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol* 1961; 16: 977-981.
7. Cazorla G. Test de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. Dans : « Actes du colloque international de la Guadeloupe ». ACTSCHNG & AREAPS 1990: 151-173.
8. Cazorla G, Léger L. Comment évaluer et développer vos capacités aérobies. Épreuves de course navette et épreuve Vam-éval. Eds AREAPS 1993: 123.
9. Cooper, K.H.. A mean of assessing maximal oxygen uptake. *J Am Med Assoc* 1968; 203: 201-204.
10. Léger L. and Boucher R. An indirect continuous running multistage field test: The « Université de Montréal » Track test. *Can. J Appl Spt Sci* 1980; 5: 77-84.
11. Léger L. Significations et limites de l'utilisation de la fréquence cardiaque dans le contrôle de l'entraînement: Actes du troisième Colloque International de la Guadeloupe. ACTSHNG et AREAPS 1994.
12. Léger L, Cloutier J, Rowan, C. Test progressif de course navette de 20 m avec paliers de 1 min. Université de Montréal, 1985.
13. Léger, L.A., Mercier, D, Gadoury, C, Lambert,J. The Multistage 20 Meter Shuttle Run Test for Aerobic Fitness. *J Sports Sci* 1988; 6: 93-101.

14. Léger L, Gadoury C. Validation of The 20 m Shuttle Run Test With 1 Min Stages to Predict VO₂max in Adults. *Can J Sports Sci* 1989; 14: 21-26.
15. Léger L, Lambert J. A Maximal 20-m Shuttle Run Test to Predict VO₂max. *Euro J Appl Physiol* 1982; 49: 1-12.
16. Léger L.A., Seliger V, Brassard L. Backward Extrapolation of VO₂max Values from the O₂ Recovery Curve. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12: 24-27.
17. Butland RJA, Pang J, Gross ER. 2, 6 and 12 minute walking test in respiratory disease. *Br Med J* 1982; 284: 1607-1608.
18. Singh, Morgan. Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* 1992; 47: 1019-24.
19. Revill, Morgan, Singh. The endurance shuttle walk: A new field test for assessment of endurance capacity in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 1999; 54: 213-222.
20. American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation. Guidelines for pulmonary rehabilitation programs. 1993; 2nd ed. Human Kinetics: 51-66.
21. Vagaggini B, Taccola M, Severino S, et al. Shuttle walking test and 6-minute walking test induce a similar cardiorespiratory performance in patients recovering from an acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. *Respiration* 2003; 70: 579-584.
22. Casas A, Villaro J, Rabinovich R, et al. Encouraged six minute walking test indicates maximal sustainable exercise performance in COPD patients. *Chest* 2005; 128: 55-61.
23. Wilmore J.H, Costill D.L. *Physiologie du Sport et de l'Exercice Physique*. DeBoeck Université s.a. pour la traduction française. Paris 1998:114-119.
24. Kervio G, Carré F, Ville N. Reliability and intensity of the 6-MWT in healthy elderly subjects. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 169-174.
25. Hausswirth C, Bigard A.X, Le Chevalier J.M. The Cosmed K4 Telemetry System as an Accurate Device for Oxygen Uptake Measurements during Exercise. *Int J Sports Med* 1997; 18: 449-453.
26. McLaughlin J.E, King G.A., Howley E.T, Basset Jr, D.R, Ainsworth, B.E. Validation of the Cosmed K4b2 Portable Metabolic System. *Inter J Sports Med* 2001; 22: 280-284.
27. Holloszy JO. Exercise, health, and aging: A need for more information. *Med Sci Sports Exerc* 1983; 15: 1-5.
28. McArdle W.D, Katch, F, I, Katch, V, L. *Exercise Physiology Energy, Nutrition, and Human Performance*. Lippincott Williams & Wilkins. USA.2001; 5e édition: 161-200.

29. Ladetto Q, Gabaglio V, Merminod B, Terrier, Ph.Schutz, Y. Human walking analysis assisted by DGPS. GNSS 2000, Edinburgh, 1-4 mai
30. Gras P, Casillas J.M, Dulieu V, Didier J.P. La marche. Encyclopédie médicale chiropractie, kinésithérapie-rééducation fonctionnelle 1996; 26-013-a-10: 18.
31. Santé Canada. Guide canadien pour l'évaluation de la condition physique et des habitudes de vie. 2004; 2e édition.
32. Cureton K, Bishop P, Hutchinson P, Newland H, Vickery S, Zwiren L. Sex Difference in Maximal Oxygen Uptake. Eur J Appl Physiol 1986; 54: 656-660.
33. Hutchinson P.L, Cureton K.J, Outz H, Wilson G. Relation of Cardiac Size to Maximal Oxygen Uptake and Body Size in Men and Women. Inter J Sports Med 1991; 12: 369-373.
34. Kraemer et al. Effects of heavy –resistance training on hormonal response patterns in younger vs.older men. J. Appl. Physiol. 1991; 87: 982-992.

Table 1. Anthropometric characteristics of subjects

	Females (n=16)	Males (n=6)	Group (n=22)
Age (year)	70.2 $\pm$ 5.6	70.8 $\pm$ 6.9	70.4 $\pm$ 5.8
Weight (kg)	68.8 $\pm$ 12.25	83.5 $\pm$ 12.07	73.3 $\pm$ 11.5
Height (m)	1.63 $\pm$ 0.07	1.79 $\pm$ 0.06	1.67 $\pm$ 0.07
BMI	26.0 $\pm$ 4.21	25.8 $\pm$ 2.92	26.0 $\pm$ 3.93

Values are presented as average $\pm$ S.D.

Table 2: Percent peak heart rate relative to age predicted maximal heart rate achieved during the MISWT and 6-MWT.

	N	Minimum (% max)	Maximum (% max)	Mean $\pm$ S.D. (% max)
6-MWT	22	59.52	103.4	80.1 $\pm$ 11.01
MISWT	22	61.97	106.8	86.3 $\pm$ 12.94

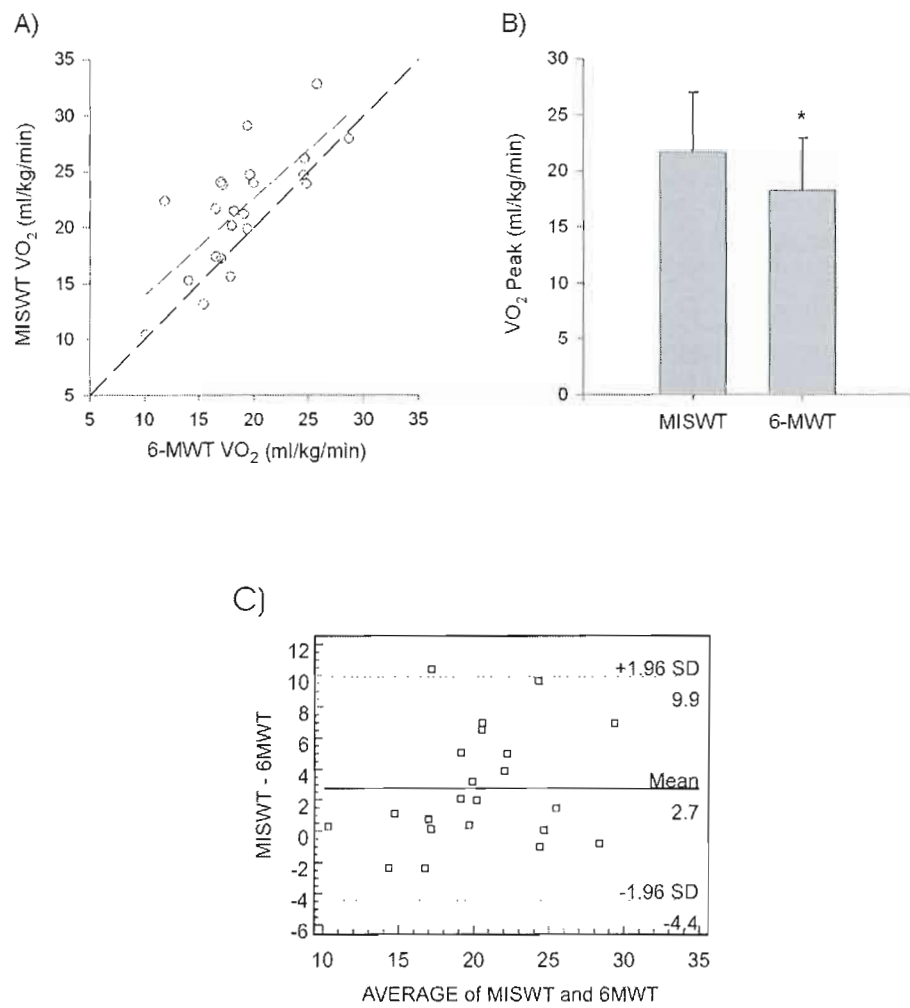
Age predicted maximal heart rate was calculated by using $220 - \text{age}$
 Minimum and maximum represent the range of percent peak HR relative to age
 predicted maximum HR.

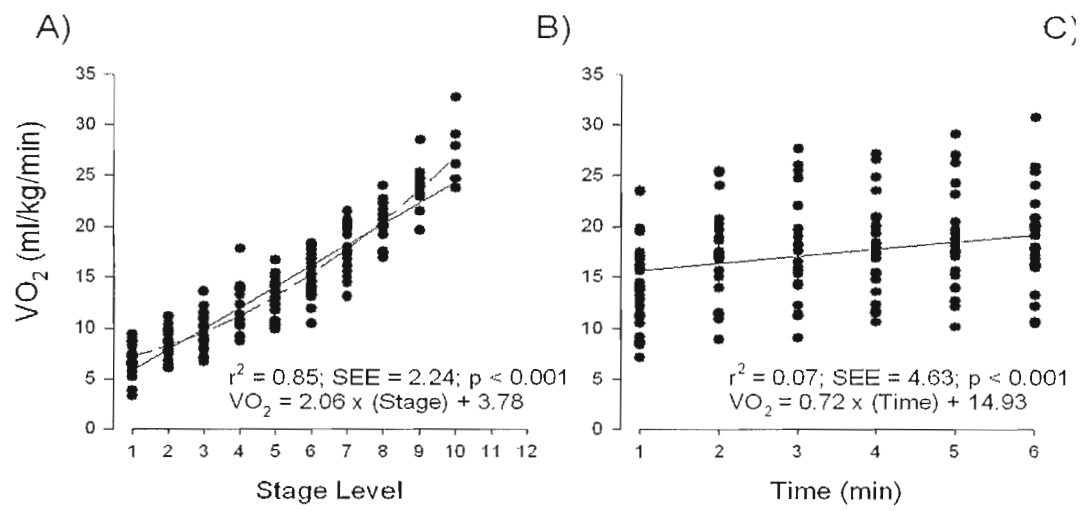
Figure legends.

Figure 1: Comparison of peak oxygen uptake ($\dot{V}O_2$) measured during the Multistage Intermittent Shuttle Walk Test (MISWT) and the 6 minute walk test (6-MWT). A) The relationship between both MISWT and 6-MWT. Each symbol represents an individual subject data point. The solid line represents the regression line ($r^2 = 0.54$; $p < 0.001$) through all data points and the dashed line represents the line of identity; B) Average peak $\dot{V}O_2$ obtained during both the MISWT and 6-MWT, errors bars represent standard deviation ($p < 0.05$); and C) a Bland and Altman plot illustrating the limits of agreement of the MISWT and 6-MWT $\dot{V}O_{2peak}$ measurements.

Figure 2: Progressive $\dot{V}O_2$ during both the MISWT (A) and the 6-MWT (B). The solid black lines in panels A, B represent the linear regression through all data points. The dashed line in panel A represents the quadratic relationship through all data points.

Figure 3: Peak $\dot{V}O_2$ and walking mechanical efficiency according to walking speed. A) Peak $\dot{V}O_2$ during the MISWT; B) Peak $\dot{V}O_2$ during the 6-MWT; C) Mechanical walking efficiency during the MISWT; and D) Mechanical walking efficiency during the 6-MWT.

**Figure1**

**Figure 2**

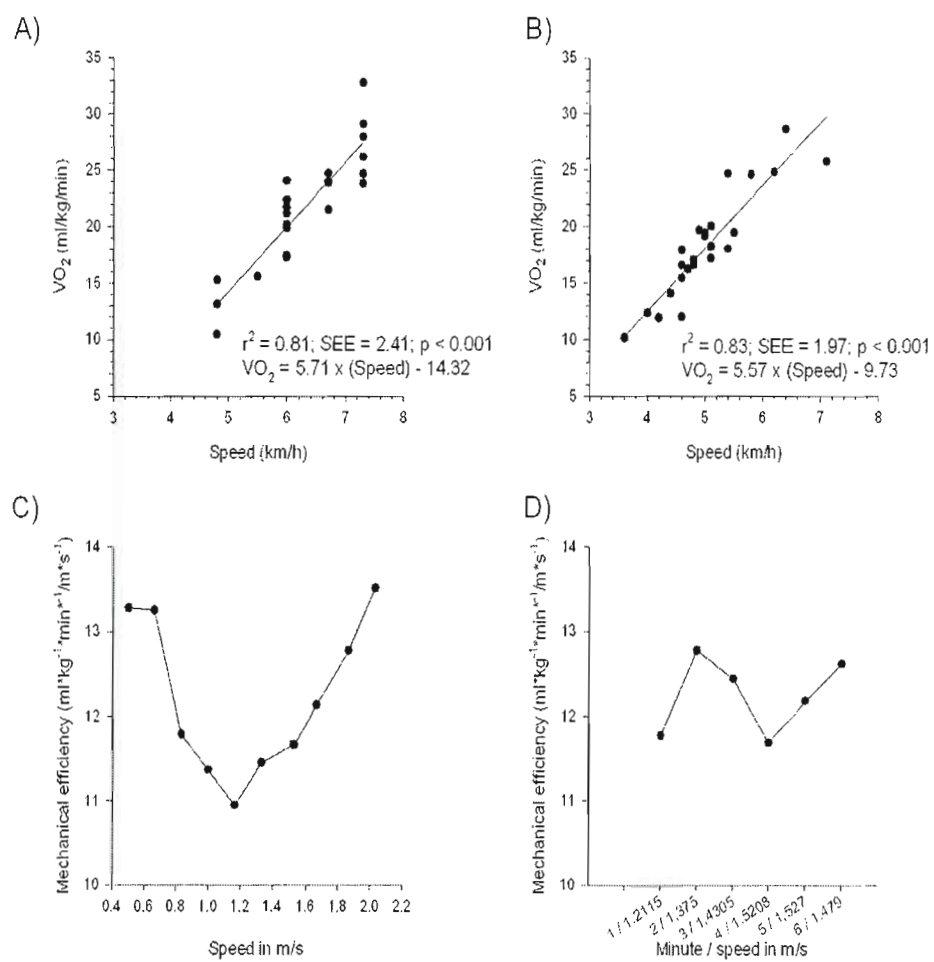


Figure 3

LES AUTRES ARTICLES À ÊTRE PUBLIÉS.

Ce projet nous a permis d'accumuler de nombreuses données applicables à de multiples réalités (réadaptation, conditionnement physique, milieu professionnel). En effet, l'étude de la capacité aérobie au travers d'un concept de vitesse de marche aérobie maximale peut très bien s'avérer très utile dans les milieux professionnels où les employés marchent beaucoup (infirmières, préposés médicales).

Par conséquent, d'autres articles devraient suivre le dépôt de ce mémoire.

Finalement, l'accumulation de données ainsi que la revue de littérature m'ont permis de prendre conscience des différentes applications d'une telle étude que ce soit dans un cadre de réadaptation ou bien dans un cadre préventif. Ainsi, ce mémoire représente la pierre angulaire de ma réflexion sur la poursuite de mes études de troisième cycle en ergonomie ou en recherche en médecine expérimentale.

CONCLUSION GÉNÉRALE.

Cette recherche nous a permis de déterminer que le test navette dix mètres s'avère être un test plus précis dans l'évaluation de la capacité aérobie que le six minutes marche habituellement utilisé pour une clientèle âgée de 60 ans et plus. En effet, les valeurs des moyennes de VO_2 enregistrées lors du test navette sont supérieures à celles enregistrées dans le test de six minutes. De plus, les valeurs interindividuelles comparées démontrent des valeurs de VO_2 supérieures pour tous les sujets. De ce fait, nous pouvons espérer que le test de marche navette deviennent l'outil de référence pour l'évaluation de la capacité aérobie pour les kinésologues œuvrant auprès d'une clientèle âgée de 60 ans et plus et ce pour deux raisons, l'amélioration de l'évaluation de la capacité aérobie de ces personnes et l'efficacité des prescriptions d'exercices qui découlent de cette dernière.

Parallèlement, le test navette s'avère être un test maximal puisque nous démontrons à l'aide de l'équation de prédiction de la fréquence cardiaque maximum que les sujets dépassaient largement ces prédictions, ce qui remet aussi en cause cette dernière équation pour une clientèle dépourvue de pathologies chroniques. Plus encore, au regard de cette étude, nous pouvons mettre en doute la pertinence d'utiliser la fréquence cardiaque pour évaluer la capacité aérobie des personnes âgées de 60 ans et plus.

RÉFÉRENCES

- Astrand, P.O., Saltin, B.1961. Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J. Appl. Physiol.*, 16:977-981.61
- Butland, RJA , Pang, J, Gross, ER.1982. 2, 6 and 12 minute walking test in respiratory disease. *BMJ*, 284, 1607-1608.
- Bugnariu N, Fung J. 2007. Aging and selective sensorimotor strategies in the regulation of upright balance. *J Neuroengineering Rehabil.* 20: 4:19.
- Cazorla G.1990. Test de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. Dans : « Actes du colloque international de la Guadeloupe ». Eds : ACTSCHNG & AREAPS : 151-173.
- Cazorla G. et Léger L. Comment évaluer et développer la capacité aérobie. Epreuves de course navette et épreuve Vam-éval. Eds AREAPS : 123, 1993.
- Cooper, K.H. 1968. A mean of assessing maximal oxygen uptake. *J. Am. Med. Assoc.*, 203, 201-204.
- Cureton, K., Bishop, P., Hutchinson, P., Newland, H., Vickery, S. et Zwiren, L. 1986. Sex Difference in Maximal Oxygen Uptake. *European Journal of Applied Physiology.* 54: 656-660.
- Cress ME, Buchner DM, Questad KA, Esselman PC, deLateur BJ, Schwartz RS. 1999. Exercise: effects on physical functional performance in independent older adults. *J.Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 54(5): M242-8
- Dionne IJ, Kinaman KA, Poehlman ET. 2000. Sarcopenia and Muscle Function During Menopause and Hormone-replacement Therapy. *The Journal of Nutrition, Health and Aging*, 4: 156-161
- Doyon, K.H., Perrey, S., Daijiro, A. et Hughson, R.L. 2001. Field Testing of VO₂peak in Cross-Country Skiers with Portable Breath-by-Breath System. *Canadian Journal of Applied Physiology.* 26(1): 1-11.
- Evans WJ, Campbell WW. 1993. Sarcopenia and age-related changes in body composition and functional capacity.*J Nutr.*123 (2 Suppl), 465-8.

Fox, S.M., Naughton, J.P. et Haskell, W.L. 1971. Physical activity and the prevention of coronary heart disease. *Ann. Clin. Res.*, 3: 404-432.

Gras, P., Casillas, J.M., Dulieu, V., Didier, J.P. 1996. La marche. *Encyclopédie médicale chiropractie, kinésithérapie-rééducation fonctionnelle*, 26-013-a-10, p 18.

Hauswirth, C., Bigard, A.X. et Le Chevalier, J.M. 1997. The Cosmed K4 Telemetry System as an Accurate Device for Oxygen Uptake Measurements During Exercise. *International Journal of Sports Medicine*. Vol. 18. pp. 449-453.

Hourcade J.C. 1997. Étude comparative de deux tests de terrain : le test de l'Université Victor Segalen Bordeaux 2 (TUB2) et le VAMEVAL. Mémoire pour le diplôme de Maîtrise en STAPS. Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation Physique de Bordeaux.

Hurel. 1991. «Relationship of physical exercise and ageing to growth hormone production» *Clin End*, 51 : 687-691

Hutchinson, P.L., Cureton, K.J., Outz, H. et Wilson, G. 1991. Relation of Cardiac Size to Maximal Oxygen Uptake and Body Size in Men and Women. *International Journal of Sports Medicine*. Vol 12, No4: 369-373.

Kenny AM, Dawson L, Kleppinger A, Iannuzzi-Sucich M, Judge JO. 2003. Prevalence of sarcopenia and predictors of skeletal muscle mass in nonobese women who are long-term users of estrogen-replacement therapy. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 58(5): M436-40

Kervio, G., Carré, F., Ville, N. 2003. Reliability and intensity of the 6mwt in healthy elderly subjects. *Medicine and sciences in sports and exercise*. Vol 35, n1, p169-174.

Kraemer et al. 1999. «Effects of heavy –resistance training on hormonal response patterns in younger vs. older men » *Jour. of Appl. Physiol* (87), issue 3 : 982-992.

Ladetto, Q., Gabaglio, V., Merminod, B., Terrier, Ph., Schutz, Y. Human walking analysis assisted by DGPS. GNSS 2000, Edinburgh, 1-4 mai 2000.

Lauretani F, Russo CR, Bandinelli S, Bartali B, Cavazzini C, Di Iorio A, Corsi AM, Rantanen T, Guralnik JM, Ferrucci L. 2003. Age-associated changes in skeletal muscles and their effect on mobility: an operational diagnosis of sarcopenia. *J Appl Physiol*. 95(5) : 1851-60.

Léger, L.A., Mercier, D., Gadoury, C. et Lambert, J. 1988. The Multistage 20 Meter Shuttle Run Test for Aerobic Fitness. *Journal of Sports Sciences*. 6 : 93-101.

Léger, L. et Gadoury, C. 1989. Validation of The 20 m Shuttle Run Test With 1 Min Stages to Predict VO₂max in Adults. *Canadian Journal of Sport Science*. 14: 21-26.

Léger, L. et Lambert, J. 1982. A Maximal 20-m Shuttle Run Test to Predict VO₂max. *European Journal of Applied physiology* 49 : 1-12.

Léger, L.A., Seliger, V. et Brassard, L. 1980. Backward Extrapolation of VO₂max Values from the O₂ Recovery Curve. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 12, No. 1, pp. 24-27.

Léger L. and Boucher R.1980.- An indirect continuous running multistage field test : The « Université de Montréal » Track test. *Can. J. Appl. Spt. Sci.* : 5 : 77-84.

Léger L.1994. Significations et limites de l'utilisation de la fréquence cardiaque dans le contrôle de l'entraînement: Actes du troisième Colloque International de la Guadeloupe. ACTSHNG et AREAPS.

Léger L., Cloutier J., Rowan, C. - Test progressif de course navette de 20 m avec paliers de 1 min. Université de Montréal, 1985.

McArdle, W., D., Katch, F., I., Katch, V., L. 2001. *Exercise Physiology Energy, Nutrition, and Human Performance*. Lippincott Williams & Wilkins. USA. 5ième édition. p.161-200.

MacDougall, J.D., Wenger, H.A. et Green, H.J. 1991. Physiological Testing of the High Performance Athlete. *Human Kinetics*. United States of America : 1-151.

McLaughlin, J.E., King, G.A., Howley, E.T., Basset, Jr, D.R. et Ainsworth, B.E. 2001. Validation of the Cosmed K4b2 Portable Metabolic System. *International Journal of Sports Medicine*. 22: 280-284.

Oztürk O, Gümüslü S. 2004. Changes in glucose-6-phosphate dehydrogenase, copper, zinc-superoxide dismutase and catalase activities, glutathione and its metabolizing enzymes, and lipid peroxidation in rat erythrocytes with age. *Exp Gerontol*. 39(2): 211-6.

Pansarasa O, Castagna L, Colombi B, Vecchiet J, Felzani G, Marzatico F. 2000. Age and sex differences in human skeletal muscle: role of reactive oxygen species. *Free Radic Res*.33(3): 287-93.

Pate, R.R., Pratt, M., Blair S.N.1995.Physical activity and public health a recommendation from the Centers for disease control and prevention and the American College of sports medicine. *JAMA*; 273 : 402-7.

Revill, Morgan, Singh.1999. The endurance shuttle walk : A new field test for assessment of endurance capacity in chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax* 54 : 213-222.

Selleron, B.,Agnéz, M.,Hoomans,N. 2000. Pratique et résultats du ré-entraînement à l'exercice chez le BPOC sévère.Cahiers de Kinésithérapie; 203 :12-16.

Singh, Morgan. 1992. Development of a shuttle walking test of disability in patients with chronic airways obstruction. *Thorax* ; 47: 1019-24

Steiner MC, Singh SJ, Morgan MD. 2005. The contribution of peripheral muscle function to shuttle walking performance in patients with chronic obstructive pulmonary disease. : J Cardiopulm Rehabil. 25(1): 43-9.

Stickland, M.K., Petersen, S.R. et Bouffard, M. 2003. Prediction of Maximal Aerobic Power from the 20-m Multi-Stage Shuttle Run Test. Canadian Journal Applied Physiology. 28(2): 272-282.

Sutton, J.R. 1992. Limitations to Maximal Oxygen Uptake. Sports Medicine. 13 (2): 127-133.

Tracy BL, Dinunno DV, Jorgensen B, Welsh SJ. 2007. Aging, visuomotor correction, and force fluctuations in large muscles. Med Sci Sports Exerc. 39(3): 469-79.

Thill, E, Thomas, R, Caja, J. 1997. Manuel de l'éducateur sportif. Neuvième édition. Vigot. P171-193.

U.S. Department of Health and Human Services.1996. Physical activity and health : A report of the Surgeon General. Atlanta, GA.

Vagaggini, M. Taccola, S. Severino, M. Marcello, S. Antonelli, S. Brogi, C. De Simone, A. Giardina, P.L. Paggiaro. 2003. Shuttle Walking Test and 6-Minute Walking Test Induce a Similar Cardiorespiratory Performance in Patients Recovering from an Acute Exacerbation of Chronic Obstructive Pulmonary Disease
Respiration: 70:579-584

Velduis.1995.Differential impact of age, sex, steroid hormones, and obesity on basal vs pulsative growth hormone secretion in men assessed in an ultrasensitive chemilluminescence assay. J.Clin.Endocrinol.Metab; 80 : 3209-22

Weineck, J.2001. Manuel d'entraînement. Quatrième édition. Vigot; p 107-161.

Wilmore, J.H. et Costill, D.L. 1998. Physiologie du Sport et de l'Exercice Physique. DeBoeck Université s.a. pour la traduction française. Paris. p. 114-119.

World Health Organisation. 1998.Obesity . preventing and managing the global epidemic, Report of a WHO Consultation on Obesity, Geneva, 3-5 june 1997. WHO, Genève, 276p.