



uOttawa

L'Université canadienne
Canada's university

FACULTÉ DES ÉTUDES SUPÉRIEURES
ET POSTDOCTORALES



FACULTY OF GRADUATE AND
POSTDOCTORAL STUDIES

Bernard Pinet

AUTEUR DE LA THÈSE / AUTHOR OF THESIS

M.Sc. (sciences de l'activité physique)

GRADE / DEGRÉ

École des sciences de l'activité physique

FACULTÉ, ÉCOLE, DÉPARTEMENT / FACULTY, SCHOOL, DEPARTMENT

Validation des méthodes de prescription d'intensité d'exercice chez les obèses sédentaires

TITRE DE LA THÈSE / TITLE OF THESIS

Denis Prud'homme

DIRECTEUR (DIRECTRICE) DE LA THÈSE / THESIS SUPERVISOR

CO-DIRECTEUR (CO-DIRECTRICE) DE LA THÈSE / THESIS CO-SUPERVISOR

EXAMINATEURS (EXAMINATRICES) DE LA THÈSE / THESIS EXAMINERS

E. Doucet

P. Imbeault

Gary W. Slater

Le Doyen de la Faculté des études supérieures et postdoctorales / Dean of the Faculty of Graduate and Postdoctoral Studies

**Validation des méthodes de prescription d'intensité
d'exercice chez les obèses sédentaires**

**Bernard Pinet, B.Sc.
Candidat Maîtrise ès Sciences en sciences de l'activité physique**

Thèse soumise à la Faculté des études supérieures et postdoctorales dans le
cadre des exigences du programme de maîtrise

École des sciences de l'activité physique
Faculté des sciences de la santé
Université d'Ottawa
Février 2007

© Bernard Pinet, Ottawa, Canada, 2007



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file *Votre référence*
ISBN: 978-0-494-34102-5
Our file *Notre référence*
ISBN: 978-0-494-34102-5

NOTICE:

The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protègent cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.


Canada

Résumé

Cette thèse est un comparatif des méthodes de la VO_2 de réserve (VO_{2R}), de la fréquence cardiaque de réserve (FCR) et de la fréquence cardiaque maximale (FC_{max}) pour prescrire une intensité d'exercice cible selon les recommandations émises par l'*American College of Sports Medicine* (ACSM) chez des individus obèses. La première analyse démontre que plus le degré d'obésité est élevé, plus la régression du %FCR et du % VO_{2R} s'éloigne de la norme de l'ACSM et que la régression du % FC_{max} et du % VO_{2R} est très différente de la norme de l'ACSM. La deuxième analyse suggère que le degré d'obésité n'affecte pas les écarts des FC cibles entre les méthodes et que la méthode de la FCR semble mieux refléter celle de la VO_{2R} . En somme, le degré d'obésité n'a pas l'impact escompté sur l'équivalence des FC cibles entre les méthodes. Par contre, la méthode de la FCR est plus appropriée que celle de la FC_{max} pour représenter celle de la VO_{2R} chez cette population.

Remerciements

J'aimerais exprimer toute ma gratitude envers le Dr Denis Prud'homme pour sa supervision, son engagement et ses précieux conseils tout au long de mon cheminement, particulièrement en ce qui a trait au laborieux exercice d'écriture de cette thèse. Ses commentaires détaillés et d'une haute pertinence me furent d'une aide précieuse. Je ne saurais passer sous silence la collaboration inestimable du Dr Pierre Boulay pour ses conseils, sa patience et son expertise. Pierre fut celui avec qui cette aventure a débuté et qui fut une ressource inépuisable tout au long de mon cheminement, tant sur le plan technique que professionnel. Un merci particulier aux Drs Pascal Imbeault et Éric Doucet, membre du comité de thèse, ainsi qu'au Dr François Haman pour leur temps, conseils et surtout pour leur confiance qu'ils m'ont accordé. Merci à Chantal Gallant, Mathieu Bélanger et Monique Dufour pour leur rôle majeur dans la collecte des données. Merci également à tous mes collègues et ami(e)s étudiant(e)s de l'école des sciences de l'activité physique qui ont fait de mes études de deuxième cycle une expérience des plus enrichissantes et stimulantes tant sur le plan académique que personnel. Je désire faire une mention spéciale au Dr Stéphan Reeb qui a gentiment accepté de me superviser lors de mon court séjour en tant qu'étudiant diplômé au département de biologie de l'Université de Moncton. Merci à tous mes ami(e)s qui me supportent depuis si longtemps, dans les hauts comme dans les bas, et qui me font réaliser qu'il n'y a pas que la VO₂ d'important dans la vie. Un merci tout spécial à mes sœurs Chantal et Rachel ainsi qu'à ma mère Claudia que j'aime tant et qui sont d'un support inconditionnel. Finalement, j'aimerais remercier tout particulièrement mon père Maurice de m'avoir légué son amour du sport et de la vie active et à qui je dédie cette thèse avec affection.

Table des matières

Remerciements	ii
Table des matières	iii
Liste des tableaux	v
Liste des figures	vi
Liste des abréviations	vii
Sommaire	8
Summary	9
Chapitre 1 – Introduction	10
1.1 Bénéfices liés à la pratique régulière d'activité physique.....	10
1.2 Les paramètres de la prescription d'exercice.....	10
1.3 Intensité absolue et relative de l'exercice : la consommation d'oxygène.....	11
1.4 La consommation maximale d'oxygène	12
1.5 Les paramètres physiologiques de la consommation d'oxygène.....	13
1.6 Relation entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène.....	14
1.7 Méthodes utilisées pour déterminer l'intensité cible d'exercice.....	15
1.8 Consommation d'oxygène de réserve.....	17
1.9 Les recommandations de l' <i>American College of Sports Medicine</i>	19
Chapitre 2 – Problématique	21
2.1 Adaptations cardiorespiratoires au repos et à l'effort.....	21
2.2 Influence du sexe	21
2.2.1 Au repos.....	21
2.2.2 À l'effort sous maximal	22
2.2.3 À l'effort maximal	22
2.3 Influence du degré d'obésité.....	23
2.3.1 Consommation d'oxygène	23
2.3.2 Fréquence cardiaque	24
2.3.3 Effort sous maximal.....	24
Chapitre 3 – But et questions de recherches	26
3.1 Première question.....	26
3.2 Deuxième question.....	26
Chapitre 4 – Hypothèses de recherche	27
4.1 Première hypothèse.....	27
4.2 Deuxième hypothèse.....	27

Chapitre 5 – Premier Article	28
5.1 Exercise Intensity Prescription in Obese Individuals	28
Chapitre 6 – Deuxième Article.....	57
6.1 Exercise Target Heart Rate Prescription in Obese Individuals.....	57
Chapitre 7 – Discussion Générale.....	87
7.1 Premier article	87
7.2 Second article.....	88
7.3 Généralité.....	89
7.4 Limitation et pistes de recherche	90
7.4. Conclusion	91
8. Références.....	92

Liste des tableaux

Tableau 1.1	Classification de l'intensité relative de l'exercice selon l' <i>American College of Sports Medicine</i> en 1990.	16
Tableau 1.2	Classification de l'intensité de l'activité physique selon l' <i>American College of Sports Medicine</i> (2005).	20
Table 5.1	Physical characteristics of the subjects.	52
Table 5.2	Physiological characteristics of the subjects.	53
Table 5.3	Effects of degree of obesity and resting heart rate on 3 different HR - VO ₂ relationships during treadmill graded exercise testing.	56
Table 6.1	Physical characteristics of the subjects.	80
Table 6.2	Physiological characteristics of the subjects.	81
Table 6.3	Target heart rate (bpm), target VO ₂ (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹) and % of VO ₂ RM according to VO ₂ RM, HRR, and HR _{max} methods at 6 relative exercise intensities in obese individuals.	82
Table 6.4	Exercise energy expenditure estimation for 5 days and 52 weeks of training according to VO ₂ RM, HRR and HR _{max} methods at 40 and 60% of VO ₂ RM in obese individuals.	83

Liste des figures

- Figure 5.1.** Mean individual's regression for %HRR versus %VO₂RM, %HRR versus %VO₂RE and %HR_{max} versus %VO₂RM for every subject and according to the degree of obesity.....54
- Figure 6.1.** Variation in target heart rate for the HRR and HR_{max} methods in comparison with the VO₂RM methods at 6 relative intensities.....84
- Figure 6.2.** Percentage of subject within ±5 bpm, above +5 bpm or below -5 bpm in terms of target heart rate variation prescribed with HRR and HR_{max} methods compared to VO₂RM method with the X-axis representing the VO₂RM method.84

Liste des abréviations

ACSM	<i>American College of Sports Medicine</i>
ANOVA	<i>Analysis of variance</i>
BMI	<i>Body mass index</i>
bpm	battements par minute (<i>beats per minute</i>)
E-T	Écart-type
FC	Fréquence cardiaque
FCC	Fréquence cardiaque cible
FC _{max}	Fréquence cardiaque maximale
FCR	Fréquence cardiaque de réserve
HR	<i>Heart rate</i>
HR _{max}	<i>Maximal heart rate</i>
HRR	<i>Heart rate reserve</i>
IMC	Indice de masse corporelle
METS	Équivalent métabolique (<i>Metabolic equivalent</i>)
SD	<i>Standard Deviation</i>
THR	<i>Target Heart Rate</i>
VO ₂	Consommation d'oxygène (<i>Oxygen consumption</i>)
VO _{2crête}	Consommation d'oxygène crête
VO _{2max}	Consommation d'oxygène maximale (<i>Maximal oxygen consumption</i>)
VO _{2peak}	<i>Peak oxygen consumption</i>
VO _{2R}	Consommation d'oxygène de réserve
VO _{2RM}	VO ₂ de réserve avec la VO ₂ repos mesurée (<i>VO₂ reserve with measured resting VO₂</i>)
VO _{2RE}	VO ₂ de réserve avec le VO ₂ repos estimée (<i>VO₂ reserve with estimated resting VO₂</i>)

Sommaire

Cette thèse a comme objectif d'évaluer les recommandations émises par l'*American College of Sports Medicine* (ACSM) afin de prescrire une intensité d'exercice à des individus obèses. Deux procédés d'analyses distincts sont effectués pour répondre aux présents objectifs. La première analyse compare les intensités relatives du % de la VO_2 de réserve (VO_{2R}), du % de la fréquence cardiaque de réserve (FCR) et du % de la fréquence cardiaque maximale (FC_{max}) à partir de régressions individuelles en comparaison avec les différentes lignes d'identités définies par l'ACSM et selon le degré d'obésité. La seconde analyse compare l'écart entre les fréquences cardiaques (FC) cibles déterminées à l'aide des méthodes de la FCR et de la FC_{max} avec celle de la VO_{2R} entre trois degrés d'obésités à six intensités relatives. Les résultats démontrent un effet du degré d'obésité sur la régression entre le %FCR et le % VO_{2R} mais pas sur la régression entre le % FC_{max} et le % VO_{2R} . Par contre, la régression %FCR-% VO_{2R} est plus près de la ligne d'identité définie par l'ACSM que la régression % FC_{max} -% VO_{2R} . La seconde analyse suggère que le degré d'obésité n'est pas associé à l'écart des FC cibles prescrites à l'aide des méthodes de la FCR et de la FC_{max} comparées à celle de la VO_{2R} . En prenant pour acquis que la méthode de la VO_{2R} est celle de référence, nos résultats démontrent que la méthode de la FCR semble mieux représenter celle-ci que la méthode de la FC_{max} dans l'ensemble. Malgré le fait que le degré d'obésité ne semble pas avoir l'impact escompté sur l'équivalence des FC cibles entre les méthodes, il existe une grande variation interindividuelle dont le spécialiste de l'exercice se doit d'être conscient lors de la détermination d'une prescription de FC cible chez des individus obèses.

Summary

The purpose of this thesis was to evaluate the recommendations from the American College of Sports Medicine (ACSM) to prescribe exercise target intensity in obese individuals. Two separate analyses were performed to encounter the present objectives. The first analysis compares the relative exercise intensity of the % of VO_2 reserve (VO_2R), the % of heart rate reserve (HRR), and the % of maximal heart rate (HR_{max}) methods with the line of identity defined by the ACSM using mean individual's regressions. Mean individual's regressions were also compared between degrees of obesity. The second analysis compares the variation in target HR prescribed with the HRR or the HR_{max} methods with the VO_2R method at six relative intensities and between degrees of obesity. Results showed an effect of the degree of obesity on the %HRR - % VO_2R mean regression but not on the % HR_{max} - % VO_2R mean regression. However, the %HRR - % VO_2R mean regression was much closer to the line of identity defined by the ACSM than the % HR_{max} - % VO_2R mean regression. The results of the second analysis suggest no effect of the degree of obesity on the variation of target HR with HRR and HR_{max} methods compared to the VO_2R method. Considering the VO_2R method as the reference method, both analyses suggest that the HRR method better represent the VO_2R method than the HR_{max} method does. Even though the degree of obesity does not seem to affect the equivalency in target HR between methods as expected, there is a considerable inter-individual variation which exercise specialists should consider when they prescribe an exercise target HR in obese individuals.

Chapitre 1 – Introduction générale

1.1 Bénéfices liés à la pratique régulière d'activité physique

Il est bien connu que la pratique régulière d'activité physique peut aider à prévenir ou à mieux contrôler les facteurs de risques liés à la maladie coronarienne tels que l'hypertension artérielle, la dyslipidémie, l'obésité, l'intolérance au glucose et la résistance à l'insuline (Pate et coll., 1995; American College of Sports Medicine (ACSM), 2005). Cependant, les différentes adaptations métaboliques et/ou physiologiques liées à l'activité physique surviennent à des volumes d'activité physique différents (Kesaniemi et coll., 2001). Il est connu qu'une activité physique pratiquée à une intensité élevée augmente le risque de blessures et/ou complications, particulièrement chez les personnes avec une maladie chronique (Kesaniemi et coll., 2001). Sur la base de ces principes, le professionnel de l'exercice tente de déterminer une prescription d'exercice optimale en terme de « dose – réponse » tout en tenant compte des objectifs et intérêts du client et en minimisant les risques potentiels liés à la pratique de l'activité physique (Kesaniemi et coll., 2001, ACSM, 2005).

1.2 Les paramètres de la prescription d'exercice

Une prescription d'exercice bien structurée doit inclure les 4 paramètres suivants : la nature, la fréquence, la durée et l'intensité de l'exercice (ACSM, 2005). La durée, la fréquence et l'intensité sont les 3 principaux paramètres de la prescription d'exercice à

considérer si l'objectif est d'atteindre une dépense calorique cible (volume d'exercice) et/ou d'améliorer les facteurs de risques de la maladie coronarienne et/ou la capacité aérobie (Howley, 2001; Kesaniemi et coll., 2001; ACSM, 2005). Ainsi, la plupart des associations professionnelles recommandent une pratique régulière d'activité physique à des efforts variant d'une intensité faible à modérée (40 à 60% de la VO_{2max}) et de relativement longue durée (au moins 30 minutes) pour les personnes âgées, sédentaires, obèses, hypertendues, diabétiques et/ou cardiaques (ACSM, 1994, 1998, 2000a, 2000b, 2004; Speed et Shapiro, 2000; Mazzeo et Tanaka, 2001). Toutefois, l'intensité relative d'un effort physique peut être perçue différemment d'un individu à l'autre. Il est donc important, en particulier chez les individus présentant plusieurs facteurs de risque et/ou une maladie chronique, d'avoir accès à un paramètre physiologique concret tel que la fréquence cardiaque (FC) pour déterminer l'intensité relative de l'effort d'un exercice. L'ACSM, ainsi que plusieurs autres associations professionnelles reconnues ont d'ailleurs recommandé différentes méthodes (ex. : % de la VO_{2max} , % de la FC réserve, % de la FC_{max} , perception à l'effort) au fil des années pour déterminer l'intensité de l'exercice (ACSM, 1978, 1990, 1998, 2000a, 2005; United States Department of Health and Human Services (USDHHS), 1996).

1.3 Intensité absolue et relative de l'exercice : la consommation d'oxygène

La consommation d'oxygène (VO_2) augmente de façon proportionnelle à la charge de travail à laquelle un individu s'exerce afin de permettre aux muscles actifs d'utiliser l'énergie nécessaire au maintien de l'exercice (Bebout et coll., 1989; Wasserman,

Hansen, Sue et Whipp, 1994). L'intensité absolue à laquelle un individu s'exerce peut être déterminée à l'aide de la mesure de la VO_2 exprimée en $L \cdot \text{min}^{-1}$ ou de façon relative à son poids en $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (Howley, 2001). À ce titre, une même VO_2 absolue ne représente pas le même niveau d'effort pour chaque individu. S'exercer à une VO_2 de $2 L \cdot \text{min}^{-1}$ peut être considéré comme un échauffement pour un athlète d'élite et être un effort pratiquement impossible à soutenir pour un individu sédentaire (Howley, 2001). C'est pourquoi le spécialiste de l'exercice utilise l'intensité relative de l'exercice pour prescrire une intensité d'exercice cible (Howley, 2001; ACSM, 2005). L'intensité relative d'exercice consiste à déterminer une VO_2 cible en fonction de la consommation maximale d'oxygène ($VO_{2\text{max}}$) d'un individu. Par ailleurs, malgré le fait que l'on note une très bonne corrélation entre la charge de travail et la VO_2 (Bebout et coll., 1989), on rapporte des différences interindividuelles au niveau de l'efficacité mécanique. Ainsi le rapport charge de travail / VO_2 peut varier considérablement d'un individu à l'autre et ce, particulièrement chez les individus obèses (Wasserman et coll., 1994). Au plan physiologique, la VO_2 représente donc le meilleur indicateur du niveau d'effort auquel un individu s'exerce en fonction d'une charge de travail donnée.

1.4 La consommation maximale d'oxygène

La consommation maximale d'oxygène ($VO_{2\text{max}}$) se définit comme étant le taux métabolique maximal par voie aérobie qu'une personne peut soutenir lorsque celle-ci est soumise à un effort supra maximal, c'est-à-dire une stabilisation de la VO_2 malgré une augmentation de la charge de travail (Wasserman et coll., 1994). En pratique, la $VO_{2\text{max}}$

n'est pas toujours atteinte lors d'une épreuve à l'effort en laboratoire. Lorsqu'il y a absence de plateau de VO_2 lors d'une épreuve à l'effort supra-maximal, le physiologiste de l'exercice préfère utiliser le terme VO_2 crête ($VO_{2\text{crête}}$), ce phénomène s'observant particulièrement chez les individus sédentaires. La $VO_{2\text{crête}}$ est ainsi considérée comme le meilleur indicateur de la condition cardio-respiratoire (ACSM, 2005). Les valeurs de $VO_{2\text{crête}}$ peuvent varier considérablement d'un individu à l'autre allant d'environ 20 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ pour un individu très sédentaire alors qu'une $VO_{2\text{crête}}$ de 94 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ fut mesurée chez un athlète d'endurance de très haut niveau (Willmore et Costill, 2004).

1.5 Les paramètres physiologiques de la consommation d'oxygène

Selon le principe de Fick, la VO_2 équivaut au produit du débit cardiaque et de la différence artério-veineuse d'oxygène au niveau des tissus (Lepretre, Koralsztejn et Billat, 2004). En théorie, le débit cardiaque augmente de façon linéaire avec la VO_2 à mesure que l'intensité de l'effort progresse (Bebout et coll., 1989; McArdle, Katch et Katch, 2001; Lepretre et coll., 2004). L'augmentation du débit cardiaque à l'effort est le produit de la fréquence cardiaque (FC) et du volume d'éjection systolique (Bebout et coll., 1989; Lepretre et coll., 2004). Le volume d'éjection systolique demeure encore un paramètre physiologique difficilement mesurable et plusieurs études rapportent des résultats contradictoires quant à sa progression au cours d'un effort à intensité progressive (Bebout et coll., 1989; Gledhill, Cox et Jamnik, 1994; McLaren, Nurhayati et Boutcher, 1997; Lepretre et coll., 2004; Vella et Robergs, 2005). Vella et Robergs (2005) ont rapporté dans un article de revue 4 différents types de réponses du volume d'éjection

systolique en relation avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice soient : 1) une augmentation constante, 2) atteinte d'un plateau à une intensité faible à modérée suivie d'une seconde augmentation à une intensité très élevée, 3) atteinte d'un plateau à une intensité faible à modérée, 4) atteinte d'un plateau à une intensité faible à modérée suivie d'une diminution à une intensité élevée. Ces variations dans l'évolution du volume d'éjection systolique lors d'un effort progressif seraient en partie attribuables au niveau de la condition physique, à l'âge et au sexe du sujet. Quant à la FC, elle augmente progressivement et de façon relativement constante avec l'augmentation de la charge de travail et ce, indépendamment du sexe, de la race, de l'âge, du niveau de la condition physique et de l'entraînement (Bebout et coll., 1989; Skinner et coll., 2003).

1.6 Relation entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène

Malgré le fait que la VO_2 soit le paramètre physiologique par excellence pour déterminer l'intensité d'un effort physique, il demeure que la mesure de la VO_2 requiert de l'équipement hautement spécialisé et l'expertise de personnels qualifiés (Achten et Jeukendrup, 2003). En revanche, la FC est un paramètre physiologique facilement mesurable manuellement (ex. palpation) ou automatiquement (ex. cardiofréquencemètre). De nombreuses études ont par ailleurs démontré une linéarité quasi-parfaite entre la FC et la VO_2 à l'effort sous maximal (Davis et Convertino, 1975; Londeree et Ames, 1976; Bernard, Falgairette, Gavarry, Bermon et Marconnet, 1996; Achten et Jeukendrup, 2003). Cette linéarité observée entre la FC et la VO_2 fait du « monitoring » de la FC un

paramètre fort utilisé en clinique pour déterminer et contrôler l'intensité de l'exercice chez un individu (Achten et Jeukendrup, 2003; Skinner et coll., 2003; ACSM, 2005).

1.7 Méthodes utilisées pour déterminer l'intensité cible d'exercice

Pendant plusieurs décennies, le spécialiste de l'exercice considérait la méthode du pourcentage de la $VO_{2\text{crête}}$ comme étant le paramètre de référence pour déterminer la VO_2 cible à l'exercice (ACSM, 1978, 1990; USDHHS, 1996). Cette méthode consiste à multiplier le pourcentage désiré de la $VO_{2\text{crête}}$ pour obtenir une VO_2 cible. Puisqu'il est difficile de mesurer la $VO_{2\text{crête}}$ chez l'ensemble de la population, trois autres méthodes sont utilisées pour déterminer la FC qui soit la plus représentative que possible de la VO_2 cible. La méthode la plus directe consiste à associer la FC à la VO_2 cible obtenue lors d'une épreuve à l'effort progressif (ACSM, 2005). Quoique sûrement la plus représentative, cette méthode demande un temps considérable et nécessite la mesure de la VO_2 , ce qui n'est pas toujours possible en pratique. Deux autres méthodes très utilisées sont celle du pourcentage de la fréquence cardiaque maximale (FC_{max}) et celle du pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve (FCR) (ACSM, 1978, 1990, 1998, 2005; USDHHS, 1996; Howley, 2001). Analogue à celle de la $VO_{2\text{crête}}$, la méthode de la FC_{max} consiste tout simplement à multiplier un pourcentage désiré à la FC_{max} mesurée lors d'une épreuve à l'effort progressif ou estimée en fonction de l'âge ($FC_{\text{max}} = 220 - \text{âge}$) pour obtenir la FC cible d'entraînement (ACSM 1990, 1998, 2005; Robergs et Landwehr, 2002).

Équation de la FC_{max} :

$$\text{FC cible} = \text{Intensité relative (\%)} \cdot \text{FC}_{\text{max}}$$

La FC cible établie par la méthode de la FCR est déterminée à l'aide de l'équation ci-dessous également connue sous le nom de « équation de Karvonen » (Karvonen, Kentala et Mustala, 1957; ACSM 1990, 1998, 2005).

Équation de la FCR :

$$\text{FC cible} = [\text{Intensité relative (\%)} \cdot (\text{FC}_{\text{max}} - \text{FC repos})] + \text{FC repos}$$

Le spécialiste de l'exercice a longtemps considéré que les FC cibles déterminées à l'aide des pourcentages de la FC_{max}, de la FCR ou de la VO₂crête s'équivalaient l'une de l'autre. Le tableau 1.1 résume les intensités relatives cibles pour chacune de ces trois méthodes telles que recommandées par l'ACSM au début des années 1990.

Tableau 1.1 Classification de l'intensité relative de l'exercice selon l'*American College of Sports Medicine* en 1990.

Classification de l'intensité	Intensité relative (%)		
	FC _{max}	FCR	VO _{2max}
Très légère	< 35%	< 30%	< 30%
Légère	35 – 59%	30 – 49%	30 – 49%
Modérée	60 – 79%	50 – 74%	50 – 74%
Élevée	80 – 89%	75 – 84%	75 – 84%
Très élevée	≥ 90%	≥ 85%	≥ 85%

* Adapté de American College of Sports Medicine : Position Stand. (1990) The Recommended Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory and Muscular Fitness in Healthy Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*.

FC_{max} = fréquence cardiaque maximale, FCR = fréquence cardiaque de réserve, VO_{2max} = consommation maximale d'oxygène.

1.8 Consommation d'oxygène de réserve

La question d'équivalence entre les FC cibles déterminées par les trois méthodes susmentionnées a soulevé plusieurs interrogations auprès des scientifiques, particulièrement en ce qui a trait à son implication auprès de différentes populations (Panton et coll., 1996; Swain et Leutholtz, 1997). En effet, plusieurs études ont fait état que les méthodes de la FC_{max} , de la FCR et de la $VO_{2crête}$ ne procurent pas des intensités d'exercice cibles équivalentes et ce, particulièrement chez des individus avec une maladie chronique et/ou présentant plusieurs facteurs de risques de la maladie coronarienne (Swain, Abernathy, Smith, Lee et Bunn, 1994; Panton et coll., 1996; Swain et Leutholtz, 1997; Swain, Leutholtz, King, Haas et Branch, 1998; Brawner, Keteyian et Ehrman, 2002; Byrne et Hills, 2002). Swain et ses collaborateurs ont alors développé le concept de la VO_2 de réserve (VO_2R) où à l'instar de la FCR, la VO_2 cible est calculée en prenant en considération la consommation d'oxygène de repos telle que présentée dans l'équation ci-dessous (Swain et Leutholtz, 1997; Swain et coll., 1998).

Équation de la VO_2R :

$$VO_2 \text{ cible} = [\text{Intensité relative (\%)} \cdot (VO_{2crête} - VO_2 \text{ repos})] + VO_2 \text{ repos};$$

où la VO_2 repos peut être mesurée (VO_{2RM}) (Byrne et Hills, 2002) ou estimée à 1 équivalent métabolique (MET) où 1 MET = $3,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ (VO_{2RE}) (ACSM, 2005).

La méthode de la VO_2R est basée sur la logique qu'il faut prescrire la VO_2 cible uniquement en fonction de la VO_2 associée à l'exercice (Swain et coll., 1998; Swain,

2000; Howley, 2001). Ainsi, définir la VO_2 de repos comme étant équivalente à une intensité relative de 0% permet d'estimer la dépense énergétique associée à l'exercice avec davantage de précision (Swain, 2000; Howley, 2001). À l'opposé, la VO_2 cible prescrite avec la méthode de la $VO_{2crête}$ est calculée en fonction de la VO_2 totale (VO_2 de repos + VO_2 associée à l'exercice), ce qui ne permet pas de distinguer l'estimation de la dépense énergétique associée au métabolisme de repos de celle associée à l'exercice (Swain, 2000; Howley, 2001). Cette distinction entre ces deux méthodes peut être négligeable chez des individus avec une $VO_{2crête}$ élevée puisque leur VO_2 de repos représente un faible % de leur $VO_{2crête}$ (Swain et coll., 1998; Swain, 2000). À l'opposé, la VO_2 de repos peut représenter jusqu'à 20% de la $VO_{2crête}$ chez des individus avec une faible $VO_{2crête}$ telles qu'observées chez les personnes âgées, obèses, sédentaires et/ou cardiaques (Swain et coll., 1998; Swain, 2000; Brawner et coll., 2002; Byrne et Hills, 2002). Ainsi, négliger la VO_2 de repos dans la détermination de l'intensité cible chez ces individus peut affecter considérablement la prescription de l'intensité de l'exercice, particulièrement si l'objectif de l'entraînement est d'atteindre une dépense calorique cible associée à l'exercice. De plus, en vertu de la linéarité entre la VO_2 et la FC à mesure que l'intensité d'effort progresse, la VO_{2R} et la FCR augmentent en principe dans les mêmes proportions lors d'une épreuve à effort progressif. En théorie, les mêmes intensités relative (%) prescrites à l'aide de ces deux méthodes devraient résulter en des VO_2 cibles et FC cibles similaires, indépendamment de la $VO_{2crête}$ de l'individu (ACSM, 2005).

Plusieurs études ont démontré que la relation entre le %FCR et le % VO_{2R} était identique ou presque à la ligne d'identité lors d'une épreuve à effort progressif chez les adultes en

santé, les cardiaques, les obèses et les diabétiques de type II (Swain et Leutholtz, 1997; Swain et coll., 1998; Brawner et coll., 2002; Byrne et Hills, 2002; Colberg, Swain et Vinik, 2003). Par définition, la ligne d'identité représente une relation d'équivalence parfaite entre le %FCR et le %VO₂R où la pente et l'ordonnée à l'origine entre les 2 variables sont 1.0 et 0.0 respectivement (Swain et Leutholtz, 1997; ACSM, 2005).

1.9 Les recommandations de l'American College of Sports Medicine

L'ACSM a révisé ses recommandations par rapport aux méthodes pour prescrire l'intensité relative cible d'exercice suite aux récentes études sur le sujet (tableau 1.2). Ainsi, les experts précisent que l'intensité relative d'exercice déterminé à l'aide du %FCR équivaut au %VO₂R telle que démontré par l'équation suivante :

Ligne d'identité (%FCR versus %VO₂R) :

$$\%FCR = 1.0 \cdot \%VO_2R + 0.0$$

La méthode pour déterminer les intensités relatives cibles à l'aide de la FC_{max} a également été modifiée et les % sont dérivés de l'équation établie par Londeree et Armes (1976) en se basant sur le %VO₂RE d'individu avec une VO_{2max} de 10 METs:

Ligne d'identité (%FC_{max} versus %VO₂RE) :

$$\%FC_{max} = 0.731 \cdot \%VO_2RE + 29.95$$

Tableau 1.2 Classification de l'intensité de l'activité physique selon l'*American College of Sports Medicine* (2005).

Intensité	Intensité relative	
	%VO₂R ou %FCR	%FC_{max}
Très légère	< 20	< 50
Légère	20 – 39	50 – 63
Modérée	40 – 59	64 – 76
Difficile (Vigoureux)	60 – 84	77 – 93
Très difficile	≥ 85	≥ 94
Maximal	100	100

Adapté de l'American College of Sports Medicine : ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription, 2005

VO₂R : consommation d'oxygène de réserve; FCR, fréquence cardiaque de réserve; FC_{max}, fréquence cardiaque maximale.

Chapitre 2 – Problématique

2.1 Adaptations cardiorespiratoires au repos et à l'effort

Il est bien documenté qu'il existe certaines différences entre les hommes et les femmes ainsi qu'entre les individus obèses et non obèses en ce qui à trait aux adaptations cardiovasculaires au repos, à l'effort sous-maximal et maximal (McArdle, Katch et Katch, 2001).

2.2 Influence du sexe

2.2.1 Au repos

En général, les femmes ont une FC de repos légèrement supérieure à celle des hommes, autant chez les jeunes adultes que chez les personnes âgées (Panton et coll., 1996, Swain et Leutholtz, 1997; Swain et coll., 1998). Cependant, Byrne et Hills (2002) ont observé chez des obèses sédentaires que la FC de repos était sensiblement similaire entre les hommes et les femmes. Par ailleurs, la VO_2 de repos ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) est sensiblement plus élevée chez l'homme que chez la femme présentant un indice de masse corporelle (IMC) similaire (Byrne, Hills, Hunter, Weinsier et Schutz, 2005).

2.2.2 À l'effort sous maximal

La relation linéaire entre la puissance déployée lors d'un effort sous maximal et la VO_2 ne semble pas être affectée par le sexe (Seebauer, Sidler et Kohl, 2003). L'étude *HERITAGE Family Study* a démontré à l'aide d'une épreuve à l'effort progressif sur ergocycle que les femmes ont en moyenne une FC légèrement supérieure à celle des hommes (de 5 à 10 bpm) aux intensités relatives faible à modérée alors que cette différence s'atténue aux intensités relatives élevées (Skinner et coll., 2003).

2.2.3 À l'effort maximal

Malgré le fait qu'il y ait une forte tendance à ce que la FC_{max} diminue avec l'âge, on observe une grande variation interindividuelle (± 10 bpm) qui demeure à ce jour inexplicée par les physiologistes de l'exercice (McArdle et coll., 2001; Robergs et Landwehr, 2002). Cependant, aucune évidence ne porte à croire que le sexe affecte la FC_{max} de façon significative (Panton et coll., 1996; Skinner et coll., 2001; Byrne et Hills, 2002). Quant à la $VO_{2crête}$, l'étude *HERITAGE family study* a démontré qu'elle est généralement plus élevée chez les hommes que chez les femmes qu'elle soit exprimée en $L \cdot min^{-1}$, en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ ou en $ml \cdot kg MM^{-1} \cdot min^{-1}$, (où $kg MM = kg$ de masse maigre) (Skinner et coll., 2001). Par ailleurs, Byrne et Hills (2002) n'ont noté aucune influence du sexe lorsque la $VO_{2crête}$ est exprimée de façon relative à la masse maigre chez des individus obèses.

Ces observations sur les différences cardiovasculaires au repos, à l'effort sous-maximal et maximal entre les deux sexes, suggèrent des différences dans la relation entre la VO_2 et la FC lors d'effort progressif entre les hommes et les femmes. Si tel est le cas, les relations entre les méthodes du $\%FC_{max}$, $\%FCR$, $\%VO_2RM$ et $\%VO_2RE$ pourraient en être également affectées. Or, toutes les études ayant comparées les équivalences des intensités relatives d'exercices entre ces méthodes n'ont noté aucune variation significative qui est associée au sexe (Swain et Leutholtz, 1997; Swain et coll., 1998; Brawner et coll., 2002; Byrne et Hills, 2002; Colberg et coll., 2003).

2.3 Influence du degré d'obésité

2.3.1 Consommation d'oxygène

Malgré le fait que les études ne démontrent pas toutes une différence significative, il semble que la VO_2 de repos absolue en $ml \cdot min^{-1}$ soit légèrement plus élevée chez les individus obèses comparativement aux non obèses sédentaires (Notarius, Rhode, MacLean et Magder, 1998; Salvadori, Fanari, Mazza, Agosti et Longhini, 1992; Hulens, Vansant, Lyssens, Claessens et Muls, 2001; Salvadori et coll., 2003). À l'opposé, Byrne et collaborateurs (2005) ont clairement démontré que la VO_2 de repos en $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ est inversement proportionnelle au degré d'obésité exprimé à l'aide de l'IMC. Quant à la $VO_{2crête}$ ($L \cdot min^{-1}$) entre individus obèses et non obèses sédentaires, il semble qu'elle soit sensiblement identique, voir même légèrement supérieure chez les individus obèses (Gustafson, Farrell et Kalkhoff, 1990; Miller, Wallace, et Eggert, 1993; Salvadori et coll.,

1992; Salvadori et coll., 2003; Mittendorfer, Fields et Klein, 2004). La $VO_{2\text{crête}}$ relative à la masse totale ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) est généralement inférieure chez les individus obèses comparativement aux non obèses (Gustafson et coll., 1990; Notarius et coll., 1998; Hulens et coll., 2001). Pour ce qui est de la $VO_{2\text{crête}}$ relative à la masse maigre ($\text{ml}\cdot\text{kg}\text{MM}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), certains auteurs ont observé des valeurs supérieures chez les individus non obèses comparativement aux obèses (Hullens et coll., 2001) alors que d'autres n'ont noté aucune différence entre ces deux groupes (Gustafson et coll., 1990; Mittendorfer et coll., 2004).

2.3.2 Fréquence cardiaque

Des études ont démontré que la FC de repos est supérieure et la FC maximale inférieure chez les individus obèses comparativement aux non obèses (Salvadori et coll., 1992; Hulens et coll., 2001; Salvadori et coll., 2003). Une étude chez des jeunes adultes non obèses et sédentaires a démontré que la FC de réserve (ex. FC max – FC repos) est inversement proportionnelle à l'IMC autant chez les hommes que chez les femmes (Ozcelik, Aslan, Ayar et Kelestimur, 2004). Ces études suggèrent donc que le degré d'obésité semble diminuer la fréquence cardiaque de réserve.

2.3.3 *Effort sous maximal*

Deux études ont démontré que pour une même charge de travail, la VO_2 était constamment plus élevée chez les individus obèses que chez les non obèses lors d'une

épreuve à l'effort progressif sur ergocycle même si les 2 groupes avaient sensiblement la même $VO_{2crête}$ en $L \cdot min^{-1}$ (Salvadori et coll., 1992; Salvadori et coll., 2003). Quant à la FC, elle était supérieure pour les intensités faibles à modérées chez les individus obèses alors qu'elle était sensiblement similaire pour les intensités plus élevées (Salvadori et coll., 1992; Salvadori et coll., 2003). Byrne et Hills (2002) ont comparé chez des individus obèses les méthodes du $\%FC_{max}$ et du $\%VO_{2crête}$ ainsi que celles du $\%FCR$ et du $\%VO_2R$ en tenant compte des recommandations de l'ACSM de l'époque (ACSM, 2000). Byrne et Hills (2002) ont noté que la relation $\%FC_{max}$ et $\%VO_{2crête}$ diffère de la ligne d'identité de l'époque (où $\%FC_{max} = 0,77 \cdot \%VO_{2crête} + 23,7$) pour les intensités faibles à modérées. D'un autre côté, ces chercheurs ont observé que le $\%FCR$ est similaire au $\%VO_2R$, ce qui concorde avec les dernières recommandations de l'ACSM (ACSM, 2005). Toutefois, aucune étude n'indique si les récentes recommandations de l'ACSM par rapport aux relations entre le $\%FC_{max}$ et le $\%VO_2R$ ainsi qu'entre le $\%FCR$ et le $\%VO_2R$ sont influencées par le degré d'obésité. De plus, aucune étude ne précise si ces trois méthodes s'équivalent en terme de FC cibles, et ce, indépendamment du degré d'obésité.

Chapitre 3 – Buts et questions de recherche

Le but premier de cette étude est d'investiguer les effets du sexe et du degré d'obésité défini par l'IMC sur les relations entre le %FCR et le %VO₂R et entre le %FC_{max} et le %VO₂R en rapport aux récentes recommandations de l'ACSM (ACSM, 2005) pour déterminer l'intensité relative d'exercice. En second lieu, cette étude a également comme but de vérifier si les trois méthodes suggérées, soit celles du %VO₂R, %FCR et %FC_{max} permettent de prescrire une même fréquence cardiaque cible, indépendamment de l'intensité relative prescrite et du degré d'obésité.

3.1 Première question

Est-ce que les régressions individuelles moyennes entre le %FCR et le %VO₂RM ou le %VO₂RE ainsi qu'entre le %FC_{max} et %VO₂RM équivalent aux lignes d'identités %FCR = 1,0 • %VO₂R + 0,0 et %FC_{max} = 0,731 • %VO₂R + 29,95 respectivement, indépendamment du sexe et du degré d'obésité?

3.2 Deuxième question

Est-ce que les fréquences cardiaques cibles déterminées par les méthodes du %VO₂RM, %FCR et %FC_{max} s'équivalent entre elles, indépendamment de l'intensité relative cible et du degré d'obésité?

Chapitre 4 – Hypothèses de recherche

4.1 Première hypothèse

Plus le degré d'obésité est important, plus la régression moyenne déterminant la relation entre le %FCR et le %VO₂RM ou le %VO₂RE sera déplacée à la droite de la ligne d'identité alors que le sexe n'aura pas d'effet. La régression moyenne déterminant la relation entre le %FC_{max} et le %VO₂RM sera déplacée à la gauche de la ligne d'identité sans qu'il n'y ait d'effet associé au sexe et/ou au degré d'obésité.

4.2 Deuxième hypothèse

Les fréquences cardiaques cibles déterminées à l'aide de la méthode du %FCR seront plus élevées aux intensités relatives faibles (ex. : 40 à 60% de la VO₂RM) comparativement à celles déterminées par la méthode du %VO₂RM et cette différence sera plus importante en fonction du degré d'obésité. Les fréquences cardiaques cibles déterminées par la méthode du %FC_{max} seront inférieures en comparaison avec les FC cibles déterminées à l'aide des méthodes du %VO₂RM aux intensités relatives faibles (ex. : 40 à 60% de la VO₂RM) alors que le degré d'obésité n'aura pas d'effet.

Chapitre 5 – Premier Article

5.1 Exercise Intensity Prescription in Obese Individuals

Résumé

Objectif : L'objectif principal de cette étude était d'évaluer les relations entre différentes méthodes recommandées par « l'*American College of Sports Medicine* » (ACSM) pour prescrire une intensité d'exercice cible en utilisant la fréquence cardiaque (FC) ou la VO_2 chez des individus obèses. **Méthodologie :** Soixante-huit individus obèses furent divisés en 3 groupes (tertiles) selon leur IMC : Groupe T1 (IMC=30.5±1.5, n=23), Groupe T2 (IMC=34.0±1.0, n=23), Groupe T3 (IMC=40.2±3.7, n=22). Tous les sujets ont fait une épreuve à l'effort sur tapis roulant selon le protocole « Bruce Ramp ». Des régressions individuelles ont été calculées entre le % de la FC de réserve (%FCR) et le % VO_2 réserve avec la VO_2 de repos mesurée (% VO_2 RM), entre le %FCR et le % VO_2 réserve avec la VO_2 de repos estimée (% VO_2 RE), entre le % FC maximale (% FC_{max}) et le % VO_2 RM. **Résultats :** Les régressions moyennes, de tous les sujets, des %FCR-% VO_2 RM et %FCR-% VO_2 RE étaient statistiquement différentes ($p < 0.05$) mais suivaient une tendance similaire à la ligne d'identité. Le degré d'obésité explique respectivement 15% et 10% de la variation des régressions moyennes entre le %FCR et le % VO_2 RM ainsi que le %FCR et le % VO_2 RE. La régression moyenne entre le % FC_{max} et le % VO_2 RM était significativement différente de la ligne d'identité ($p < 0.001$) mais n'était pas affectée par le degré d'obésité. Cependant, la FC de repos comptait pour 35 à

39% de la variation observée entre les régressions moyennes. **Discussion :** Les relations entre l'intensité de l'exercice déterminées par les régressions moyennes du %FCR et du %VO₂RM ainsi que du %FCR et du %VO₂RE semblent être influencées par le degré d'obésité. La relation entre l'intensité d'exercice générée par l'équation du %FC_{max} vs le %VO₂RM n'est pas affectée par le degré d'obésité mais plutôt par la FC de repos.

EXERCISE INTENSITY PRESCRIPTION IN OBESE INDIVIDUALS

Bernard M. Pinet,¹ Denis Prud'homme,^{1,2} Chantal Gallant,³ Pierre Boulay.⁴

- 1 School of Human Kinetics
Faculty of Health Sciences
University of Ottawa
Ottawa, Ontario
Canada
K1N 6N5

- 2 Behavioural and Metabolic Research Unit
Montfort Hospital
Ottawa, Ontario
Canada
K1K 0T2

- 3 Faculty of Medicine
University of Ottawa
Ottawa, Ontario
Canada
K1H 8M5

- 4 Cardiovascular Health Service
Montfort Hospital
Ottawa, Ontario
Canada
K1K 0T2

Address for correspondence:

Pierre Boulay, Ph.D.
Montfort Hospital
713 chemin Montréal
Ottawa, Ontario
Canada
K1K 0T2
Tel: (613) 842-8669
Fax: (613) 842-9473
E-Mail: pboulay@montfort.on.ca

Abstract

OBJECTIVE: The main purpose of the present study was to evaluate the relationship between different methods proposed by the American College of Sports Medicine (ACSM) to prescribe exercise intensity using heart rate and VO_2 in obese individuals.

RESEARCH METHOD: Sixty-eight overweight to severely obese adults were divided in three groups (tertile) based on their BMI: T1 group (BMI=30.5±1.5, n=23), T2 group (BMI=34.0±1.0, n=23), T3 group (BMI=40.2±3.7, n=22). All subjects performed a graded exercise test using the Bruce ramp protocol on a treadmill. Individual linear regression between % heart rate reserve (%HRR) and % VO_2 reserve using measured resting VO_2 (% VO_2RM), %HRR and % VO_2 reserve using estimated resting VO_2 (% VO_2RE), and % maximal heart rate (% HR_{max}) and % VO_2RM were calculated.

RESULTS: When subjects were all grouped together, the %HRR-% VO_2RM and %HRR-% VO_2RE mean regressions were statistically different ($p<0.05$) but closely related to the line of identity. However, the %HRR-% VO_2RM and the %HRR-% VO_2RE mean regressions were both significantly affected by the degree of obesity where it accounted for approximately 15% and 10% of the mean regressions variation respectively. The % HR_{max} -% VO_2RM mean regression was significantly different than the line identity ($p<0.001$) but was not affected by the degree of obesity. However, resting HR accounted for 35 to 39% of the mean regressions variation.

DISCUSSION: The relationship between the exercise intensity determined by the %HRR-% VO_2RM and the %HRR-% VO_2RE mean regression seem to be influenced by the degree of obesity. The degree of

obesity does not affect the relationship between exercise intensity generated by the $\%HR_{\max}$ - $\%VO_2RM$ equation but the resting HR does.

Key Words: Obesity, Exercise intensity, Maximal heart rate, Heart rate reserve, VO_2 reserve.

Introduction

The role of regular physical activity to increase energy expenditure is well known in the treatment of obesity (1). Reaching a specific energy expenditure goal (exercise volume in kilocalories) is an important part of the treatment intervention to promote weight loss or weight maintenance in obese patients. Therefore, health care professionals have to take into account not only the type of exercise but the interaction between exercise intensity, duration and frequency to determine an efficient exercise prescription in obese individuals (1, 2).

In accordance with exercise duration and frequency, several methods have been used in the past to prescribe the intensity at which an individual should exercise for health benefits (3-6). Oxygen consumption (VO_2) is known as the best physiological parameter to reflect the metabolic stress associated with exercise intensity; however monitoring exercise VO_2 on a day to day basis remains unrealistic (7). Instead, exercise specialists have used the linear relationship observed between heart rate (HR) and VO_2 to determine and control exercise intensity using a prescribed target HR (2, 7, 8).

The American College of Sports Medicine (ACSM) recommends three different methods to determine exercise target HR that best represent the target VO_2 associated with any exercise intensity (2). When VO_2 values are available, the first recommended method to use is to identify the HR associated with a defined exercise target VO_2 measured during a graded exercise test. The two other methods are used when exercise VO_2 values are not available: 1) percentage of maximal HR ($\%HR_{max}$) equation in which target HR = Relative intensity (%) \cdot HR_{max} and, 2) percentage of HR reserve ($\%HRR$) equation (9) which takes the resting HR into consideration as described in the following equation: Target HR = Relative intensity (%) \cdot (HR_{max} - resting HR) + resting HR. In both equations, HR_{max} can be measured during a graded exercise test or estimated using the following equation: $HR_{max} = 220 - \text{Age}$ with a range of error of ± 10 bpm (2).

To improve relative exercise intensity equivalency between target HR and VO_2 , several studies have demonstrated the superiority of the percentage of VO_2 reserve ($\%VO_{2R}$) method for exercise prescription in many populations (i.e. healthy adults, cardiac patients, obese and diabetics individuals) rather than simply calculating a certain percentage of the peak VO_2 ($\%VO_{2peak}$) as it was done for years (10-14). The $\%VO_{2R}$ method considers the resting VO_2 to determine the target exercise VO_2 as describe in the following equation: Target VO_2 = Relative intensity (%) \cdot (VO_{2peak} - resting VO_2) + resting VO_2 ; where resting VO_2 can be measured (VO_{2RM}) or estimated at 1 MET ($3.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) (VO_{2RE}) (2, 12, 13).

Several studies on different populations have shown that the relationship between the exercise intensities determined by the %HRR and %VO₂R is closely related to the line of identity using either the measured or estimated resting VO₂, whereas the former %HRR and %VO_{2peak} relationship is not (10-14). The line of identity is defined as a slope of 1.0 and a Y-intercept of 0.0 (2). Furthermore, Howley (15) modified the equation proposed by Londeree and Ames (16) with the purpose of determining a %HR_{max} that represents the oxygen cost at specific exercise intensity. The author used the %VO_{2RE} to develop a new equation to determine %HR_{max} where: $\%HR_{max} = 0.731 \cdot \%VO_{2RE} + 29.95$.

The ACSM (2005) has updated its exercise guidelines for healthy, obese, cardiac and diabetic individuals accordingly to the recent equations proposed in the literature (2). It is important to note that cardiovascular responses to exercise are different between sex (8, 10, 11, 17, 18) and are influenced by the degree of obesity (19-26). Thus, the purpose of this study is to determine if the %HRR - %VO₂RM, the %HRR - %VO₂RE and the %HR_{max} - %VO₂RM relationships, according to current ACSM's guidelines, are affected by sex and/or the degree of obesity.

Methodology

Subjects

A total of 71 subjects (29 men and 42 women) volunteered to participate in this study. According to the normal distribution, two men and one woman had a Z score value above

3.19 for body mass index (BMI) and resting HR respectively. Thus, those 3 subjects were removed from the analyses for a total of 68 subjects (27 men and 41 women). Inclusion criteria to participate in the present study were: 1) overweight or obese ($\text{BMI} > 27 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) and weight stable ($\pm 3 \text{ kg}$) for the last 6 months; 2) sedentary lifestyle according to the ACSM definition; 3) non-smoker and having an overall healthy state. Subjects who were using any known medications with an effect on the metabolism or on the cardiovascular response were automatically excluded from this study. A complete description of the study was given to each subject. Thereafter, all participants had to sign a consent form approved by the Research Ethic Board of the Université de Moncton before enrolling in the current study.

Anthropometric measures

Body weight and height were measured with a standard physician's scale and a stadiometer respectively when subjects were in a fasting state prior to the resting metabolism session. Waist circumference was measured after a normal expiration under the midline of the subject's armpit, at the midpoint between the lower part of the last rib and the top of the hip. Fat mass, fat free mass and percentage of fat (%fat) were assessed with a bioelectrical impedance apparatus (Bodystat 1500, Bodystat Ltd). This apparatus has been validated in obese individuals (27). Subjects were advised to be well hydrated and to limit their physical activity the day prior to the evaluation.

Aerobic capacity (VO_{2peak})

Oxygen consumption was continuously measured during an incremental treadmill exercise test using the BSU/Bruce Ramp protocol (28). Ramp protocols are known to be more relevant than step protocols to determine exercise intensity prescription (29). Respiratory gas exchange and ventilation were measured continuously using a metabolic cart with a breath-by-breath method (Ergocard, Medi-Soft, Belgium). Both gas analyser and pneumotach were calibrated before each test. Heart rate was constantly monitored with a 12-lead electrocardiogram monitor (Marquette Case 16, Marquette Electronics, Milwaukee, WI) and was synchronized time wise with the metabolic cart. Criteria for achieving VO_{2peak} were: 1) no further increase in oxygen uptake or an increase of less than $150 \text{ ml O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ with an increase in exercise workload (3 consecutive 20-second increment); 2) a heart rate at or above the age-predicted maximum (using the equation $220 - \text{age}$) or no further increase in heart rate with an increase in exercise workload; and 3) a respiratory exchange ratio greater than 1.1. All subjects met at least 2 of these criteria (30).

Resting measurements

Resting heart rate was measured after a 15 minute rest in a sitting position and in a quiet environment prior to the graded exercise test with an electrocardiogram (Marquette Case 16, Marquette Electronics, Milwaukee, WI). Resting oxygen consumption assessment was done early in the morning, on a separate occasion, following a 12 hour fast and 24

hour without consumption of alcohol or caffeine. Subjects were asked to sleep in their usual environment the night prior to the test and to remain physically inactive the morning of the test. Subjects were positioned in a recumbent position for a period of 45 minutes. Resting VO_2 was measured using a metabolic cart (Ergocard, Medi-Soft, Belgium) using a face mask (Hans Rudolph) with a breath-by-breath method. Only the last 20 minutes of the VO_2 measurements were included in the analysis.

Statistical methods

Subjects have been separated in three groups (tertile) accordingly to their BMI values (T1 group, BMI = 27.1 – 32.1 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, n = 23; T2 group, BMI = 32.9 – 35.8 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, n = 23; T3 group, BMI = 36.0 – 46.6 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$, n = 22) to investigate the effect of the degree of obesity on exercise intensity determination using different methods.

The percentages of VO_2RM , VO_2RE , HRR and HR_{max} were calculated at every minute during the graded exercise test using the following equations:

$$\begin{aligned}
 -\% \text{VO}_2\text{RM} &= [(\text{Current } \text{VO}_2 - \text{resting } \text{VO}_2) \cdot (\text{VO}_{2\text{peak}} - \text{resting } \text{VO}_2)^{-1}] \cdot 100\% \\
 -\% \text{VO}_2\text{RE} &= [(\text{Current } \text{VO}_2 - 3.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}) \cdot (\text{VO}_{2\text{peak}} - 3.5 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})^{-1}] \cdot 100\% \\
 -\% \text{HRR} &= [(\text{Current HR} - \text{resting HR}) \cdot (\text{HR}_{\text{max}} - \text{resting HR})^{-1}] \cdot 100\% \\
 -\% \text{HR}_{\text{max}} &= [(\text{Current HR} - \text{resting HR}) \cdot (\text{HR}_{\text{max}})^{-1}] \cdot 100\%
 \end{aligned}$$

Three individuals' regressions have been calculated for every subject: *regression 1)* $\% \text{VO}_2\text{RM}$ and $\% \text{HRR}$ as independent and dependent variables respectively; *regression 2)* $\% \text{VO}_2\text{RE}$ and $\% \text{HRR}$ as independent and dependent variables respectively; *regression 3)* $\% \text{VO}_2\text{RM}$ and $\% \text{HR}_{\text{max}}$ as independent and dependent variables respectively. The mean slopes and mean Y-intercepts of the first two regressions were compared to 1.0 and

0.0 respectively while the mean slope and mean Y-intercept of the third regression were compared to 0.731 and 29.95 respectively (2, 15) using a One sample t-test. These target values represent the line of identity defined by the ACSM (2) for each corresponding regression.

Two-Way ANOVA was done to analyze the effect of sex and the degree of obesity on both the slopes and the Y-intercepts with a Bonferonni post hoc test. Levene's test was done to evaluate the equivalency of variance between groups. To investigate the possible confounding variables affecting the individuals' regressions, stepwise multiple regressions were done for all three regressions with individuals' slope and Y-intercept as the dependent variables and the degree of obesity, fat mass, %fat, resting HR, and HRR as independent variable after revising for correlations from all the descriptive variables. Significance level was set at $p < 0.05$. All statistical analyses were done with SPSS software; version 12.0 and data manipulation were done with Microsoft Office Excel; version 2003.

Results

Subjects' characteristics

The subjects' physical and physiological characteristics are presented in table 5.1 and 5.2. By study design, the T3 group had a significantly higher weight, fat mass, and waist circumference than the T1 and T2 groups. They also presented a lower VO_{2peak} ($ml \cdot kg^{-1}$

$l \cdot \text{min}^{-1}$) and VO_2R than the two other groups while the HRR was lower only when compared to the T1 group. Male subjects are older and their weight, waist circumference, fat free mass, resting HR, resting VO_2 , $\text{VO}_{2\text{peak}}$ and VO_2R are significantly higher than female subjects. Female subjects have significantly higher fat mass, %fat and HR_{max} (results not shown). No sex effect was found for BMI and HRR.

Relationships between %HRR and % VO_2RM

The mean slope for all subjects was not significantly different than 1.0 (1.007 ± 0.139) $t(67) = 0.400$, $p = 0.690$ while the mean Y-intercept was significantly lower than 0.0 (-6.30 ± 13.38) $t(67) = -3.884$, $p < 0.001$ (figure 5.1-A). The mean slope for T1 group was significantly lower than 1.0 (0.941 ± 0.128) $t(22) = -2.209$, $p < 0.05$ while the mean Y-intercept was not significantly different than 0.0 (-0.46 ± 12.81) $t(22) = -0.171$, $p = 0.865$. The mean slope for T2 group was not significantly different than 1.0 (1.003 ± 0.126) $t(22) = 0.116$, $p = 0.909$ while the mean Y-intercept was significantly lower than 0.0 (-5.83 ± 12.36) $t(22) = -2.260$, $p < 0.05$. The mean slope for T3 group was significantly higher than 1.0 (1.079 ± 0.133) $t(21) = 2.785$, $p < 0.05$ and the mean Y-intercept was significantly lower than 0.0 (-12.91 ± 12.48) $t(21) = -4.853$, $p < 0.001$. Two-way ANOVAs showed a significant effect of the degree of obesity on both the %HRR and % VO_2RM slope $F(2,62) = 5.267$, $p < 0.01$ and Y-intercept $F(2,62) = 4.413$, $p < 0.05$ while no sex effect was found for both slope $F(1,62) = 0.489$, $p = 0.487$ and the Y-intercept $F(1,62) = 0.010$, $p = 0.92$. No degree of obesity*sex interaction effect was found for each slope $F(2,62) = 1.499$, $p = 0.231$ and Y-intercept $F(2,62) = 1.369$, $p = 0.262$.

Bonferonni post hoc analyses for the degree of obesity showed that T3 group had a significantly higher slope and a significantly lower Y-intercept than T1 group (figure 5.1-B). Stepwise multiple regressions showed that the degree of obesity accounted for 16.5% and 14.5% of the variance of the slope ($\beta = 0.406$, $p < 0.001$) and the Y-intercept ($\beta = -0.381$, $p < 0.001$) respectively (table 5.3).

Relationships between %HRR and %VO₂RE

The mean slope for all subjects was significantly lower than 1.0 (0.960 ± 0.132) $t(67) = -2.512$, $p < 0.05$ while the mean Y-intercept was not significantly different than 0.0 (-1.59 ± 12.78) $t(67) = -1.028$, $p = 0.308$ (figure 5.1-A). The mean slope for T1 group was significantly lower than 1.0 (0.915 ± 0.131) $t(22) = -3.109$, $p < 0.01$ while the mean Y-intercept was not significantly different than 0.0 (2.26 ± 13.22) $t(22) = 0.821$, $p = 0.421$. The mean slope for T2 group was not significantly different than 1.0 (0.953 ± 0.121) $t(22) = -1.860$, $p = 0.076$ and neither was the mean Y-intercept different than 0.0 (-0.87 ± 11.55) $t(22) = -0.362$, $p = 0.721$. The mean slope for T3 group was not significantly different than 1.0 (1.014 ± 0.130) $t(21) = 0.496$, $p = 0.625$ and the mean Y-intercept was significantly lower than 0.0 (-6.38 ± 12.54) $t(21) = -2.385$, $p < 0.05$. Two-way ANOVAs showed no significant effect of the degree of obesity on both slope $F(2,62) = 2.682$, $p = 0.076$ and Y-intercept $F(2,62) = 2.134$, $p = 0.127$ and no sex effect was neither found for both slope $F(1,62) = 0.063$, $p = 0.803$ and Y-intercept $F(1,62) = 0.139$, $p = 0.710$. No degree of obesity*sex interaction was found for both slope $F(2,62) = 0.914$, $p = 0.406$ and Y-intercept $F(2,62) = 0.755$, $p = 0.474$. Even though a two-way ANOVA for the slope

did not show any degree of obesity effect, a Bonferonni post hoc analysis for the degree of obesity showed that T3 group had a significantly higher slope than T1 group (figure 5.1-C). A stepwise multiple regression showed that the degree of obesity accounted for 9.4% and 7.6% of the variance of the slope ($\beta = 0.307$, $p < 0.05$) and the Y-intercept ($\beta = -0.276$, $p < 0.05$) respectively (table 5.3).

Relationships between %HR max and %VO₂RM

The mean slope for all subjects was significantly lower than 0.731 (0.517 ± 0.082) $t(67) = -21.546$, $p < 0.001$ and the mean Y-intercept was significantly higher than 29.95 (45.25 ± 8.22) $t(67) = 15.354$, $p < 0.001$ (figure 5.1-A). The mean slope for T1 group was significantly lower than 0.731 (0.503 ± 0.101) $t(22) = -10.806$, $p < 0.001$ and the mean Y-intercept was significantly higher than 29.95 (46.42 ± 10.02) $t(22) = 7.880$, $p < 0.001$. The mean slope for T2 group was significantly lower than 0.731 (0.533 ± 0.075) $t(22) = -12.717$, $p < 0.001$ and the mean Y-intercept was significantly higher than 29.95 (43.47 ± 7.41) $t(22) = 8.756$, $p < 0.001$. The mean slope for T3 group was significantly lower than 0.731 (0.516 ± 0.065) $t(22) = -15.474$, $p < 0.001$ and the mean Y-intercept was significantly higher than 29.95 (45.90 ± 6.89) $t(21) = 10.860$, $p < 0.001$. Two-way ANOVAs showed no significant effect of the degree of obesity on each slope $F(2,62) = 0.527$, $p = 0.593$ and Y-intercept $F(2,62) = 0.468$, $p = 0.629$ and no sex effect on both slope $F(1,61) = 0.858$, $p = 0.358$ and Y-intercept $F(1,61) = 0.225$, $p = 0.637$. No degree of obesity*sex interaction were found for both slope $F(2,62) = 1.205$, $p = 0.307$ and Y-intercept $F(2,62) = 1.263$, $p = 0.290$ (figure 5.1-D). Stepwise multiple regression showed

that resting HR accounted for 34.6% and 38.5% of the variance of the slope ($\beta = -0.588$, $p < 0.001$) and the Y-intercept ($\beta = -0.621$, $p < 0.001$) respectively (table 5.3).

Discussion

Relationships between %HRR and %VO₂RM relationship

Results showed that the mean slope of the %HRR - %VO₂RM relationship was not statistically different than 1.0 while the Y-intercept was approximately 6 % below 0.0 when all the subjects were grouped together. These results are in agreement with results of previous studies suggesting that the %HRR - %VO₂RM relationship was closely undistinguishable from the line of identity (10, 12-14). Therefore, others have reported that even if there was a slight but significant difference with either the slope or the Y-intercept, the %HRR - %VO₂RM relationship was still closely related to the line of identity (11). Our results showed that the %HRR was approximately 6% significantly lower on average than the %VO₂RM at any calculated exercise intensity during the graded exercise test. This is in agreement with results from Byrne & Hills (13) where they found no difference between the mean %HRR - %VO₂RM regression and the line of identity in obese individuals with a wide range of BMI values.

Interestingly, our results show an effect of the degree of obesity at lower exercise intensities whereas all three regressions join at maximal exercise intensity. The higher the degree of obesity, the lower is the mean Y-intercept and the steeper is the mean slope.

Thus, the %HRR equalled 30.3%, 41.0%, and 51.8% at 40%, 50%, 60% of VO₂RM respectively for T3 group while the %HRR equalled 37.2%, 46.6%, and 56.0% at 40%, 50%, 60% of VO₂RM respectively for T1 group (data not shown). These discrepancies observed between the %HRR and the %VO₂RM may have their clinical importance since most guidelines recommend low to moderate exercise intensities for obese individuals (1, 2). Furthermore, a stepwise multiple regression showed that the degree of obesity explains approximately 15% of the variance of mean individuals' regressions. Finally, our results showed that the %HRR - %VO₂RM relationship was not influenced by sex, which is in accordance with previous studies (10-14).

Relationships between %HRR and %VO₂RE relationship

It is important to mention that the only difference between the %HRR - %VO₂RM and the %HRR - %VO₂RE relationships is that we included the measured resting VO₂ in the calculation of the %VO₂RM and we standardized the resting VO₂ as 1 MET (3.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹) in the calculation of the %VO₂RE. When all subjects were grouped together, the %HRR - %VO₂RE relationship was closely undistinguishable from the line of identity. Although we observed the same relationship pattern as we did with the %HRR - %VO₂M comparison between the 3 degrees of obesity, only the %HRR - %VO₂RE mean slope was significantly higher in T3 group compared to T1 group. Moreover, even if the %HRR - %VO₂RE mean slope in T1 group and the Y-intercept in T3 group were both significantly lower than 1.0 and 0.0 respectively, all three regressions were closer to the line of identity than the %HRR - %VO₂RM. Stepwise multiple regression analysis

showed that only the degree of obesity was significantly related to %HRR - %VO₂RE individual's regression but it accounted for only 9.4% and 7.6% of the slope and Y-intercept respectively. We hypothesize that the main reason why the degree of obesity seems to be less related to the %HRR - %VO₂RE relationship is due to the fact that the resting VO₂ was standardized at 3.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹ for all subjects. Byrne et al. (18) showed that the resting VO₂ in ml·kg⁻¹·min⁻¹ was inversely related to BMI and these finding were in accordance with the results from the current study (table 5.2). Nevertheless, even if it seems that measuring the resting VO₂ rather than estimating it at 3.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹ has an impact on the %HRR - %VO₂RM or %HRR - %VO₂RE relationships according to the degree of obesity, no evidence can be made with the current results that this difference significantly affects exercises targets HR using either methods.

Relationships between %HR_{max} and %VO₂RE

Strong significant differences between the %HR_{max} - %VO₂RM relationships and the line of identity defined by Howley (15) were found either when all subjects were grouped together or for any degree of obesity. There was no difference between the mean regressions for each degree of obesity. Interestingly, a stepwise multiple regression showed that resting HR accounted for approximately 35% to 39% of the variation in the mean %HR_{max} - %VO₂RM regressions. These findings support the rational of taking the resting HR in consideration to determine a target HR since it is a major predictor of the %HR_{max} - %VO₂RM relationship. Thus, even though the degree of obesity does not

affect the %HR_{max} - %VO₂RM relationship, our results suggest the importance of using the HRR method for exercise prescription purposes for overweight to severely obese individuals since the resting HR is included in this method. Based on our results, using the HRR method rather than the HR_{max} method reflects more the individuality of the HR - VO₂ relationship, since resting HR equals a relative exercise intensity of 0% with the HRR method while the specific relative intensity at resting value is unknown according to the HR_{max} method.

Limitation of this study

No lean control group was included in the present study to clearly measure the impact of the degree of obesity on exercise intensity prescription. However, our results were very similar to results from previous studies (10-14) and are, in our opinion, legitimate to be compared to the current exercise intensity guidelines. Moreover, despite the fact that resting HR and VO₂ have not been assessed simultaneously, they were both measured in typical controlled clinical conditions which make our results still relevant for clinical purposes.

Conclusion

The main finding of the present study is that the %HRR - %VO₂RM relationship is significantly affected by the degree of obesity, especially at low to moderate exercise intensities. The %HRR - %VO₂RE relationship was affected by the degree of obesity but

to a lesser extent. Furthermore, the %HR_{max} - %VO₂RM relationship was affected by the resting HR independently of the degree of obesity. These findings have considerable importance on the application of the current ACSM's guidelines regarding the prescription of exercise intensity in obese individuals.

Acknowledgment

Authors of this article would like to sincerely acknowledge the work of Monique Dufour and Mathieu Bélanger in the data collection process of this current study.

References

- (1) American College of Sports Medicine. Position Stand: Appropriate Intervention Strategies for Weight Loss and Prevention of Weight Regain for Adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(12): 2145-2156.
- (2) American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing & Prescriptions.* 2005. (7th Ed.) Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- (3) American College of Sports Medicine. Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1978;10(3): vii-x.

- (4) American College of Sports Medicine. Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1990;22(2): 265-274.
- (5) American College of Sports Medicine. Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(6): 975-991.
- (6) American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing & Prescriptions.* 2000. (6th Ed.) Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- (7) Achten J, Jeukendrup AE. Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Med.* 2003;33(7): 517-538.
- (8) Skinner JS, et al. Heart rate versus %VO₂max: age, sex, race, initial fitness, and training response - Heritage. *Med Sci Sports Exerc.* 2003;35(11): 1908-1913.
- (9) Karvonen MJ, Kentala E, Mustala O. The effects of training on heart rate. *Ann Med Exp Biol Fenn.* 1957;35: 307-315.
- (10) Swain DP, Leutholtz BC. Heart rate reserve is equivalent to %VO₂Reserve, not to %VO₂max. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29(3): 410-414.

- (11) Swain DP, Leutholtz BC, King ME, Haas LA, Branch JD. Relationship between % heart rate reserve and % VO₂reserve in treadmill exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30(2): 318-321.
- (12) Brawner CA, Keteyian SJ, Ehrman JK. The relationship of heart rate reserve to VO₂ reserve in patients with heart disease. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(3): 418-422.
- (13) Byrne NM, Hills AP. Relationships between HR and VO₂ in the Obese. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;4(9): 1419-1427.
- (14) Colberg SR, Swain DP, Vinik AI. Use of heart rate reserve and rating of perceived exertion to prescribe exercise intensity in diabetic autonomic neuropathy. *Diabetes Care.* 2003;26(4): 986-990.
- (15) Howley ET. Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;3(Suppl. 6): S364-S369.
- (16) Londeree BR, Ames SA. Trend analysis of the %VO₂ max – HR regression. *Med Sci Sports.* 1976;8(2): 122-125.
- (17) Panton LB, et al. Relative heart rate, heart rate reserve, and VO₂ during submaximal exercise in the elderly. *J Gerontol.* 1996;51A(4): M165-M171.

- (18) Byrne NM, Hills AP, Hunter GR, Weinsier RL, Schutz Y. Metabolic equivalent: one size does not fit all. *J Appl Physiol*. 2005;99: 1112-1119.
- (19) Gustafson AB, Farrell PA, Kalkhoff RK. Impaired plasma catecholamine response to submaximal treadmill exercise in obese women. *Metabolism*. 1990;39(4): 410-417.
- (20) Salvadori A, Fanari P, Mazza P, Agosti R, Longhini E. Work capacity and cardiopulmonary adaptation of obese subject during exercise testing. *Chest*. 1992;101: 674-679.
- (21) Miller WC, Wallace JP, Eggert KE. Predicting max HR and the HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25(9): 1077-1081.
- (22) Notarius CF, Rhode B, MacLean LD, Magder S. Exercise capacity and energy expenditure of morbidly obese and previously obese subjects. *Clin Invest Med*. 1998;21(2): 79-87.
- (23) Hulens M, Vansant G, Lysens R, Claessens A L, Muls E. Exercise capacity in lean versus obese women. *Scan J Med Sci Sports*. 2001;11: 305-309.

- (24) Salvadori A, et al. Kinetics of catecholamines and potassium, and heart rate during exercise testing in obese subjects: Heart rate regulation in obesity during exercise. *Eur J Nutr.* 2003;42(4): 181-187.
- (25) Mittendorfer B, Fields DA, Klein S. Excess body fat in men decreases plasma fatty acid availability and oxidation during endurance exercise. *Am J Physiol.* 2004;286: E354-E362.
- (26) Ozcelik O, Aslan M, Ayar A, Kelestimur H. Effect of body mass index on maximal work production capacity and aerobic fitness during incremental exercise. *Physiol Res.* 2004;53: 165-170.
- (27) Fuller NJ, Sawyer MB, and Elia M. Comparative evaluation of body composition methods and predictions, and calculation of density and hydration fraction of fat-free mass, in obese women. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1994;18 501-512.
- (28) Kaminsky LA, and Whaley MH. Evaluation of a new standardized ramp protocol: The BSU/Bruce protocol. *J Cardiopulm Rehabil,* 1998;18(6): 438-444.
- (29) Myers J, Bellin D. Ramp Exercise Protocols for Clinical and Cardiopulmonary Exercise Testing. *Sports Med.* 2000;30(1): 23-29.

(30) Howley ET, Bassett DR Jr, Welch HG. Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;29(9): 1292-1301.

Table 5.1 Physical characteristics of the subjects.

Variables	T1 group	T2 group	T3 group
Sex ♂ / ♀	8 / 15	9 / 14	10 / 12
Age (yrs)	45 ± 7 (24 – 54)	43 ± 7 (32 – 56)	48 ± 4 † (41 – 54)
Weight (kg)	85.7 ± 14.0 (60.9 – 116.2)	94.0 ± 9.2 (78.5 – 111.6)	113.3 ± 16.8***††† (88.7 – 146.1)
Height (m)	1.67 ± 0.11 (1.50 – 1.91)	1.66 ± 0.08 (1.50 – 1.79)	1.68 ± 0.10 (1.53 – 1.89)
Body Mass Index (kg·m ⁻²)	30.5 ± 1.5 (27.1 – 32.1)	34.3 ± 1.0*** (32.9 – 35.8)	40.2 ± 3.7***††† (36.0 – 46.6)
Waist Circumference (cm)	99.6 ± 9.5 (76.0 – 118.0)	107.0 ± 10.2 (89.4 – 131.9)	118.0 ± 12.9***†† (97.0 – 145.5)
Fat Mass (kg)	31.4 ± 4.6 (23.5 – 40.0)	38.6 ± 7.5** (28.6 – 61.7)	51.8 ± 9.6***††† (38.5 – 71.4)
Fat Free Mass (kg)	54.2 ± 13.6 (35.4 – 80.7)	57.3 ± 12.0 (41.5 – 81.6)	61.4 ± 14.4 (41.8 – 85.8)
% of Fat	37.3 ± 6.6 (25.6 – 45.6)	41.1 ± 7.5 (27.8 – 56.9)	46.0 ± 7.7*** (34.0 – 58.2)

Significantly different than T1 group: ** = (p<0.01), *** = (p<0.001)

Significantly different than T2 group: † = (p<0.05), †† = (p<0.01), ††† = (p<0.001)

Data are mean ± standard deviation (range).

Table 5.2 Physiological characteristics of the subjects.

Variables	T1 group	T2 group	T3 group
Resting Heart Rate (bpm)	83 ± 11 (66 – 110)	80 ± 8 (68 – 102)	89 ± 11 † (70 – 110)
Maximal Heart Rate (bpm)	177 ± 13 (153 – 198)	172 ± 12 (139 – 187)	171 ± 8 (156 – 192)
Heart Rate Reserve (bpm)	93 ± 14 (63 – 120)	89 ± 11 (68 – 108)	81 ± 10** (59 – 103)
Resting VO ₂ (ml·min ⁻¹) / (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	229 ± 55 (140 – 350) (1.7 – 3.8)	221 ± 52 (140 – 330) (1.6 – 3.1)	255 ± 51 (160 – 330) (1.4 – 3.1)
VO ₂ peak (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	27.0 ± 3.4 (22.0 – 34.2)	25.9 ± 4.2 (19.9 – 35.2)	22.4 ± 4.1**† (14.5 – 32.8)
VO ₂ reserve (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	24.3 ± 3.6 (19.0 – 32.5)	23.4 ± 4.1 (17.3 – 32.1)	20.1 ± 4.0 **† (12.4 – 30.1)

Significantly different than T1 group: * = (p<0.05), ** = (p<0.01)

Significantly different than T2 group: † = (p<0.05)

Data are mean ± standard deviation (range).

Figure 5.1 Mean individual's regression for %HRR versus %VO₂RM, %HRR versus %VO₂RE and %HR_{max} versus %VO₂RM for every subject and according to the degree of obesity.

(A) Mean individual's regressions of %HRR predicted from %VO₂RM and %VO₂RE and mean individual's regression of %HR_{max} predicted from %VO₂RM in obese individuals. (B) Mean individual's regression of %HRR predicted from %VO₂RM for three degree of obesity, (C) Mean individual's regression of %HRR predicted from %VO₂RE for three degree of obesity, and (D) Mean individual's regression of %HR_{max} predicted from %VO₂RM for three degree of obesity.

Significantly different than the slope of the line of identity: † p<0.05, †† p<0.001;
Significantly different than the Y-intercept of the line of identity: ‡ p<0.05, ‡‡ p<0.001;
Significantly different than T1 group: § p<0.05.

%HRR = % of Heart Rate Reserve; %HR_{max} = % of Maximal Heart Rate; %VO₂RM = % of VO₂ Reserve with the measured resting VO₂; %VO₂RE = % of VO₂ Reserve with the estimated resting VO₂.

Table 5.3 Effects of degree of obesity and resting heart rate on 3 different HR - VO₂ relationships during treadmill graded exercise testing.

<i>Independent variable</i>	<i>%HRR vs %VO₂RM</i>			<i>%HRR vs %VO₂RE</i>			<i>%HR_{max} vs %VO₂RM</i>		
	<i>Beta</i>	<i>R²</i>	<i>p</i>	<i>Beta</i>	<i>R²</i>	<i>p</i>	<i>Beta</i>	<i>R²</i>	<i>p</i>
Slope	0,406	0,165	< 0,01	0,307	0,094	< 0,05	-0,588	0,346	< 0,001
Y-intercept	-0,381	0,145	< 0,01	-0,276	0,076	< 0,05	-0,621	0,385	< 0,001

%HRR = percentage of heart rate reserve; *%VO₂RM* = percentage of VO₂ reserve with measured resting VO₂; *%VO₂RE* = percentage VO₂ reserve with estimated VO₂; *%HR_{max}* = percentage of maximal heart rate.

Results are from a stepwise multiple regressions. Only the Degree of Obesity was a significant predictor for the %HRR versus % VO₂RM and %HRR versus %VO₂RE relationships while Resting Heart Rate was a major and significant predictor of the %HR_{max} versus %VO₂RM relationship.

Chapitre 6 – Deuxième Article

6.1 Exercise Target Heart Rate Prescription in Obese Individuals

Résumé

Objectif : L'objectif de cette étude était de comparer les méthodes de la fréquence cardiaque de réserve (FCR) et de la fréquence cardiaque maximale (FC_{max}) avec celle de la VO_2 de réserve (VO_2RM) pour prescrire une fréquence cardiaque cible (FCC) d'exercice. **Méthodologie :** Soixante-huit individus obèses ont fait une épreuve à l'effort sur tapis roulant (protocole « Bruce Ramp ») et ont été divisés en 3 groupes (tertiles) selon leur IMC (moyenne \pm E-T) : Groupe T1 (IMC = 30.5 ± 1.5 , n=23), Groupe T2 (IMC = 34.0 ± 1.0 , n=23), Groupe T3 (IMC = 40.2 ± 3.7 , n=22). La FC de repos fut mesurée après 15 minutes de repos en position assise avant l'épreuve à l'effort. La VO_2 de repos fut mesurée lors d'une autre session dans une position semi-couchée. Les FCC d'exercice furent calculées avec les méthodes de la VO_2RM , FCR et FC_{max} à 6 intensités relatives équivalentes à 40, 50, 60, 70, 80 et 85% de la VO_2RM selon les recommandations de l'ACSM. Les FCC déterminées par les méthodes de la FCR et de la FC_{max} furent comparées aux FCC- VO_2RM pour chacune des intensités. Les deltas FCC entre les méthodes FCR – VO_2RM et FC_{max} – VO_2RM furent comparés entre les intensités. Les variations de FCC avec les méthodes de la FCR et de la FC_{max} comparées avec la méthode de la VO_2RM furent classées en 3 catégories : entre ± 5 bpm, plus de +5 bpm et moins de -5 bpm. Les associations entre les variations de FCC et le degré d'obésité furent

analysées. **Résultats :** La faible différence, significative, de +6 bpm entre les FCC calculées par les méthodes de la FCR et de la VO₂RM ($p < 0.01$) n'est pas affecté par l'intensité de l'exercice. Peu de variations furent observées entre les FCC calculées par les méthodes de la FC_{max} et de la VO₂RM aux intensités relatives faibles mais le delta FCC est affecté par l'intensité de l'exercice ($p < 0.001$). Aucune association ne fut observée entre le degré d'obésité et la variation de FCC entre les 3 méthodes.

Conclusion : Le degré d'obésité n'est pas associé à la variation interindividuelle de FCC déterminées par les méthodes de la VO₂RM, FCR et FC_{max}.

EXERCISE TARGET HEART RATE PRESCRIPTION IN OBESE INDIVIDUALS

Bernard M. Pinet¹, Pierre Boulay², Denis Prud'homme^{1,3}

- 1 School of Human Kinetics
Faculty of Health Sciences
University of Ottawa
Ottawa, Ontario
Canada
K1N 6N5
- 2 Cardiovascular Health Service
Montfort Hospital
Ottawa, Ontario
Canada
K1K 0T2
- 3 Behavioural and Metabolic Research Unit
Montfort Hospital
Ottawa, Ontario
Canada
K1K 0T2

Address for correspondence:

Denis Prud'homme, M.Sc., M.D..
School of Human Kinetics
Faculty of Health Sciences
University of Ottawa
Ottawa, Ontario
Canada
K1N 6N5
Tel: (613) 562-5603
Fax: (613) 562-5437
E-Mail: denisp@uottawa.ca

Abstract

OBJECTIVE: The purpose of the present study was to compare the heart rate reserve (HRR) and the maximal heart rate (HR_{max}) methods with the VO_2 reserve (VO_2RM) to prescribe an exercise target heart rate (THR) in obese individuals. **METHODOLOGY:** Sixty-eight overweight to severely obese adults performed a Bruce ramp protocol on a treadmill and were divided in 3 groups (tertile) according to BMI (mean \pm SD): T1 group (BMI=30.5 \pm 1.5, n=23), T2 group (BMI=34.0 \pm 1.0, n=23), T3 group (BMI=40.2 \pm 3.7, n=22). Resting HR was determined after 15 min of rest in a sitting position prior to the graded exercise test. Resting VO_2 was measured on a separate occasion in a recumbent position. Exercise THR was defined with VO_2RM , HRR, and HR_{max} methods at 6 intensities equivalent to 40, 50, 60, 70, 80, and 85% of VO_2RM according to ACSM guidelines. THR determined using HRR and HR_{max} were compared to THR- VO_2RM at all intensities. Delta THR between HRR- VO_2RM and HR_{max} - VO_2RM were compared between intensities. THR variations with HRR and HR_{max} methods compared to VO_2RM method were classified in 3 categories: within ± 5 bpm, above +5 bpm, and below -5 bpm. Association between THR variation categories and the degree of obesity was assessed. **RESULTS:** The slight but significant +6 bpm difference between THR calculated by HRR and VO_2RM method ($p < 0.01$) is not affected by exercise intensity. No or slight variation in THR were observed at lower intensities between HR_{max} and VO_2RM methods, however, the delta THR is affected by exercise intensity ($p < 0.001$). There was no association between the degree of obesity and the variation in THR among the three

methods. **CONCLUSION:** The degree of obesity is not associated to inter-individuals variation of THR determined using VO_2RM , HRR and HR_{max} methods.

Key Word: Obesity, Exercise, Target Heart Rate, Maximal Heart Rate, Heart Rate Reserve, VO_2 Reserve

Introduction

Regular physical activity is a key parameter in the treatment of obesity for weight loss and/or health benefits (i.e. improving blood pressure, blood lipid profile, glucose tolerance, insulin resistance, and mental health) (American College of Sports Medicine (ACSM), 2001, 2005; Kesaniemi et al., 2001). Besides the type of exercise, duration, frequency and intensity are three major components that a health care professional has to consider for exercise prescription (Achten and Jeukendrup, 2003; ACSM, 2005). Fundamentally, the purpose to prescribe specific exercise intensity in accordance with frequency and duration is to determine an exercise volume (kilocalories) that is effective, secure and feasible according to the individual's objectives (Achten and Jeukendrup, 2003; Jakicic, 2003; Jakicic and Otto, 2005; ACSM, 2005). The best physiological parameter to determine exercise intensity is oxygen consumption (VO_2) (Swain, 2000; Howley, 2001). However, monitoring VO_2 on a day-to-day basis remains too cumbersome and non-realistic in a clinical setting (Achten and Jeukendrup, 2003). Thus, exercise specialist use the linear relationship observed between VO_2 and heart rate (HR) during graded exercise test to determine a target HR (THR) that best represents the

appropriate exercise target VO_2 (Achten and Jeukendrup, 2003, Skinner et al., 2003). Three methods are proposed by the ACSM to prescribe an exercise THR (ACSM, 2005). When peak or maximal VO_2 ($\text{VO}_{2\text{peak}}$) measurements are available, the preferred method consists of associating the HR obtained at a target VO_2 using results from a graded exercise test (ACSM, 2005). The VO_2 reserve method with the measured resting VO_2 ($\text{VO}_{2\text{RM}}$) has been recognized as the most valid method to determine a target VO_2 in many populations (i.e. healthy adults, obese and diabetic individuals) rather than simply calculating a desired percentage of the $\text{VO}_{2\text{peak}}$ as it was formally recommended (Swain and Leutholtz, 1997; Swain et al., 1998; Brawner et al., 2002; Byrne and Hills, 2002; Colberg et al., 2003; ACSM, 2005). When VO_2 measurements are not available, two other equations are usually used: 1) the percentage of HR reserve (HRR) equation (Karvonen et al., 1957), or 2) the percentage of maximal HR (HR_{max}) equation (ACSM, 2005).

In order to prescribe equivalent THR independently of the method used, the ACSM recommend the following relative exercise intensities where 40, 50, 60, 70, 80, and 85 percent of VO_2R and HRR or 64, 71, 77, 84, 91, and 94 percent of HR_{max} should all result in equivalent exercise target VO_2 and/or HR respectively (Howley, 2001; ACSM, 2005). As proposed in the ACSM's guidelines, these recommendations are valid for a wide range of populations (i.e. cardiac patients, healthy adults, obese and diabetic individuals) (ACSM, 2005).

Obese individuals have several distinct cardiovascular responses to exercise compared with non-obese individuals such as resting, submaximal, and maximal HR and/or VO_2 (Gustafson, Farrell and Kalkhoff, 1990; Salvadori et al., 1992; Miller, Wallace and Eggert, 1993; Notarius et al., 1998; Hulens et al., 2001; Salvadori et al., 2003; Mittendorfer, Fields and Klein, 2004; Ozcelik et al., 2004). Therefore, those impaired responses to exercise in obese individuals might interfere with the recommended relative exercise intensity accordingly to each method. Furthermore, obesity is associated to many risk factors and/or several chronic disease (i.e. type 2 diabetes mellitus, hypertension, dyslipidemia, coronary heart disease, stroke, respiratory disease, and more) which adds to the importance of prescribing an optimal and secure or safe exercise target HR (Pi-Sunyer, 1999, Jakicic, 2003; Jakicic and Otto, 2005). Clinically, a THR variation within ± 5 bpm compared to the THR- VO_2RM method, which is considered the gold standard (ACSM, 2005), is normally accepted (ACSM, 1998). A THR above +5 bpm may increase risk of cardiovascular complications in some patients, especially at higher exercise intensity $> 60\% \text{VO}_2\text{R}$ (ACSM, 1998, 2005; Jakicic, 2003; Jakicic and Otto, 2005). On the other hand, a THR below -5 bpm may decrease the efficacy of the exercise in regards to improve physical fitness ($\text{VO}_{2\text{max}}$) and/or exercise energy expenditure. Thus, the purpose of this study is threefold: 1) to determine if the HRR and HR_{max} methods give an exercise THR within ± 5 bpm compared to the VO_2RM method at six relative exercise intensities; 2) to determine what is the percentage of obese individuals within the optimal zone in terms of THR with the HRR and HR_{max} methods compared to the VO_2RM method; 3) to determine if the variation in THR between methods is associated with the degree of obesity.

Methodology

Subjects

A total of 71 subjects (29 men and 42 women) volunteered to participate in this study. According to the normal distribution, two men and one woman had a Z score value above 3.19 for body mass index (BMI) and resting HR respectively. Thus, those 3 subjects were removed from the analyses for a total of 68 subjects (27 men and 41 women). Inclusion criteria to participate in the present study were: 1) overweight or obese ($\text{BMI} > 27 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-2}$) with a stable weight ($\pm 3 \text{ kg}$) for the last 6 months; 2) a sedentary lifestyle according to the ACSM definition; 3) non-smoker and having an overall healthy state. Subjects who were using any known medications with an effect on the metabolism or on the cardiovascular response to exercise were automatically excluded from this study. A complete description of the study was given to each subject. Thereafter, all participants had to sign a consent form approved by the Research Ethic Board of the Université de Moncton before enrolling in the current study.

Anthropometric measures

Subjects' body weight and height were measured with a standard physician's scale and a stadiometer respectively in a fasting state prior to the resting metabolism measurement session. Waist circumference was measured after a normal expiration under the midline of the subject's armpit, at the midpoint between the lower part of the last rib

and the top of the hip. Fat mass, fat free mass and percentage of fat (%fat) were assessed with a bioelectrical impedance apparatus (Bodystat 1500, Bodystat Ltd) which has been validated in obese individuals (Fuller, Sawyer and Elia, 1994). Subjects were advised to be well hydrated and to limit their physical activity the day prior to the evaluation.

Aerobic capacity (VO_{2peak})

Oxygen consumption was continuously measured during an incremental treadmill exercise test using the BSU/Bruce Ramp protocol (Kaminsky and Whaley, 1998). Ramp protocols are known to be more relevant than step protocols to determine an exercise target HR or VO_2 prescription (Myers and Bellin, 2000). Respiratory gas exchange and ventilation were measured continuously using a metabolic cart with a breath-by-breath method (Ergocard, Medi-Soft, Belgium). Both gas analyser and pneumotach were calibrated before each test. Heart rate was constantly monitored with a 12-lead electrocardiogram monitor (Marquette Case 16, Marquette Electronics, Milwaukee, WI) and was synchronized time wise with the metabolic cart. Criteria for achieving VO_{2peak} were: 1) no further increase in oxygen uptake or an increase of less than $150 \text{ ml O}_2 \cdot \text{min}^{-1}$ after 3 consecutive 20-second increments; 2) a HR at or above the age-predicted maximum (using the equation $220 - \text{age}$) or no further increase in HR with an increase in exercise workload; and 3) a respiratory exchange ratio greater than 1.1 (Howley et al., 1995). All subjects met at least 2 of these criteria.

Resting measurements

Resting HR was measured after a 15 minutes rest in a sitting position and in a quiet environment prior to the graded exercise test with an electrocardiogram (Marquette Case 16, Marquette Electronics, Milwaukee, WI). Resting oxygen consumption assessment was done early in the morning, on a separate occasion, following a 12 hours fast and 24 hours without alcohol or caffeine consumption. Subjects were asked to sleep in their usual environment the night prior to the test and to remain physically inactive the morning of the test. Subjects were positioned in a recumbent position for a period of 45 minutes. Resting VO_2 was measured with a metabolic cart (Ergocard, Medi-Soft, Belgium) with a face mask (Hans Rudolph) using a breath-by-breath method. Only the last 20 minutes of the VO_2 measurements were included in the analysis.

Statistical methods

Target VO_2 using the VO_{2RM} method was determined with the equation: Target $VO_2 = \text{relative intensity (\%)} \cdot (VO_{2peak} - \text{measured resting } VO_2) + \text{measured resting } VO_2$. The target VO_2 was then associated to the corresponding HR obtained during the graded exercise test results. THR using the HRR method was determined using the equation: $THR = \text{relative intensity (\%)} \cdot (HR_{max} - \text{resting HR}) + \text{resting HR}$. THR using the HR_{max} method was determined using the equation: $THR = \text{relative intensity (\%)} \cdot HR_{max}$. The THR obtained with both HRR and HR_{max} methods was then associated to the corresponding VO_2 obtained during the graded exercise test results. Exercise target HR

and VO_2 were calculated for VO_2RM , HRR, HR_{max} methods at 6 relative exercise intensities equivalent to 40, 50, 60, 70, 80, and 85% of VO_2RM according to ACSM's guidelines.

One way repeated measure ANOVA (3 methods) with the sphericity not assumed using Wilks' Lambda test were done at each relative exercise intensity to compare target HR and target VO_2 between VO_2RM , HRR and HR_{max} methods. Paired sample t-test analyses were done for follow-up. The target VO_2 obtained with the HRR and HR_{max} methods were converted in % of VO_2RM and compared to the prescribed relative exercise intensity using a one sample t-test.

One way repeated measure ANOVA (6 intensities) with the sphericity not assumed using Wilks' Lambda test was done on delta THR between HRR, HR_{max} and VO_2RM methods to verify if the relative intensity has an effect on the variation in THR between each method. Paired sample t-test analyses were done for follow-up.

The variations in THR between HRR or HR_{max} and VO_2RM methods have been classified in 3 categories (i.e. within ± 5 bpm from VO_2RM method; above +5 bpm compared to VO_2RM method; below -5 bpm compared to VO_2RM method). Subjects have been separated in three groups (tertile) according to their BMI values to define a degree of obesity index (T1 group, BMI = 27.1 – 32.1 $kg \cdot m^{-2}$, n = 23; T2 group, BMI = 32.9 – 35.8 $kg \cdot m^{-2}$, n = 23; T3 group, BMI = 36.0 – 46.6 $kg \cdot m^{-2}$, n = 22). A 3 X 3 contingency table (3 THR variation categories X 3 degree of obesity) has been done at all

6 intensities between HRR, HR_{max} and VO_{2RM} methods. A Cramér's V test analysis for independence was performed for each contingency table to determine if the degree of obesity was associated with the variation in THR.

Significance level was set at $p < 0.05$. All statistical analyses were done with SPSS software; version 12.0 and data manipulation were done with Microsoft Office Excel; version 2003.

Results

Subjects characteristics

The subjects' characteristics are presented in table 6.1 and table 6.2. By study design, T3 group had a significantly higher weight, waist circumference, and fat mass than both T1 group and T2 group while the %fat was higher only when compared to T1 group. The T3 group also presented a lower VO_{2peak} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) and VO_{2R} than the two other groups while HRR was significantly lower when compared to T1 group only. The T2 group presented a higher fat mass than T1 group. Resting VO_2 ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) was lower for both T2 group and T3 group when compared to T1 group.

Target Heart Rate and target VO₂

THR could not be determined with the VO₂RM method at an intensity of 40% for 2 subjects since the calculated VO₂ at that relative intensity was lower than the lowest VO₂ measurement obtained during the graded exercise test. Thus, the comparison of THR between methods at 40% of VO₂RM was done with 66 subjects. Furthermore, the target VO₂ could not be determined for one subject with the HRR method and for 13 subjects with the HR_{max} method at 40% of VO₂RM and for 5 subjects at 50% of VO₂RM. Fifty-five (55) and 63 subjects were included in the target VO₂ comparison between methods at 40 and 50% of VO₂RM respectively. One way repeated measure ANOVAs showed a significant difference on the THR between methods at 40% ($F_{(2, 64)} = 80.112, p < 0.001$); at 50% ($F_{(2, 66)} = 60.395, p < 0.001$); at 60% ($F_{(2, 66)} = 57.401, p < 0.001$); at 70% ($F_{(2, 66)} = 19.756, p < 0.001$); at 80% ($F_{(2, 66)} = 65.060, p < 0.001$); and at 85% of VO₂RM ($F_{(2, 66)} = 128.195, p < 0.001$). Six (6) one way repeated measure ANOVAs showed also a significant difference on the target VO₂ between methods at 40% ($F_{(2, 53)} = 31.848, p < 0.001$); at 50% ($F_{(2, 61)} = 36.010, p < 0.001$); at 60% ($F_{(2, 66)} = 38.856, p < 0.001$); at 70% ($F_{(2, 66)} = 14.517, p < 0.001$); at 80% ($F_{(2, 66)} = 32.108, p < 0.001$); and at 85% of VO₂RM ($F_{(2, 66)} = 45.940, p < 0.001$). Results from paired sample t-tests follow up for comparison of THR and target VO₂ between each method and results for the one sample t-test analyses are presented in table 6.3.

Delta Target Heart Rate

All mean and standard deviation for delta THR are presented in figure 6.1. One way repeated measure ANOVA (6 intensity) on the delta THR between HRR and VO₂RM methods showed no variation associated to relative intensity ($F_{(5, 61)} = 1.918$, $p = 0.104$). On the other hand, one way repeated measure ANOVA (6 intensity) showed an intensity effect on the variation in THR prescribed by HR_{max} compared to VO₂RM methods ($F_{(5, 61)} = 21.150$, $p < 0.001$). Paired sample t-test follow up showed that delta THR is significantly higher than the previous relative intensity from 40 to 80% of VO₂RM ($p < 0.001$).

Cramér's V test for independence showed no association between the variation in THR and the degree of obesity for VO₂RM and HRR methods from 40 to 85% of VO₂RM ($0.125 \geq \text{Cramér's } V \leq 0.254$; $p \geq 0.068$). No association between the variation in THR and the degree of obesity were neither observed for VO₂RM and HR_{max} methods from 40 to 85% of VO₂RM ($0.065 \geq \text{Cramér's } V \leq 0.202$; $p \geq 0.234$). Since no variation attributed to the degree of obesity was observed for any contingency table, the figure 6.2 represents the percentage of all subjects found in each category according to the variation in THR between HRR or HR_{max} and VO₂RM methods.

Discussion

Descriptive table on physiological characteristics demonstrates an association of the degree of obesity with impaired cardiovascular response to exercise (table 6.2). T3 group presented a lower HRR, resting VO_2 ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) and $\text{VO}_{2\text{R}}$ ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) than both T1 group and T2 group. However, no variation associated to the degree of obesity were observed for the absolute resting VO_2 ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$) and $\text{VO}_{2\text{peak}}$ ($\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$) comparison (data not shown). Therefore, all the variations observed in VO_2 responses associated to the degree of obesity are in fact attributed to the higher weight since those VO_2 values are expressed relatively to weight in kilograms. The lower HRR observed with the higher degree of obesity is in accordance with previous studies where an inverse relationship was observed between HRR and BMI (Salvadori et al., 1992; Salvadori et al., 2003; Ozcelik et al., 2004).

HRR and VO_2RM methods comparison

When compared to the VO_2RM method, the THR calculated with the HRR method was significantly higher for all six relative intensities. However, the variation in delta target HR between HRR and VO_2RM methods was constant from 40 to 85% of VO_2RM and averaged $+6 \pm 7$ bpm. This elevated THR with the HRR method reflected a slight but significantly higher target VO_2 as well (average variation from 0.8 to 1.7 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ for all intensities). Those variations in target VO_2 with the HRR method represented a 3.7 to 7.8% increment compared to the VO_2RM method.

However, the relatively large standard deviations in delta THR between HRR and VO₂RM methods suggest important inter-individual variation in THR between these two methods. In fact, 25 to 47% of participants were categorized within the ± 5 bpm variation zone between HRR and VO₂RM methods among all six intensities; 47 to 68% of participants were in the « above +5 bpm » zone among all six intensities; 4 to 10% of participants were in the « below -5bpm » zone among all six intensities. However, Cramér's V tests for independence showed that those inter-individual variations were not significantly associated with the degree of obesity.

HR_{max} and VO₂RM methods comparison

No statistical difference between THR obtained with HR_{max} and VO₂RM methods were observed at lower relative intensities (40 and 50% of VO₂RM). However, THR calculated with the HR_{max} method were significantly higher compared to the VO₂RM method from 60 to 85% of VO₂RM. Furthermore, the delta in THR between HR_{max} and VO₂RM methods is significantly increasing from intensities 40 to 80% of VO₂RM but no difference was observed between 80 and 85%.

Although the variation in target VO₂ obtained with the HR_{max} method was significantly higher compared to the VO₂RM method at many relative intensities (50, 70 to 85% of VO₂RM), our results showed that target VO₂ obtained with the HR_{max} method did not differ significantly than the VO₂RM at 40 to 60% of VO₂RM. However, the average delta target VO₂ fluctuated between 0.1 to 1.5 ml·kg⁻¹·min⁻¹ which is similar to

what we previously observed with the HRR method. These results suggest that the HR_{max} method gives similar target HR and target VO₂ compared to the VO₂RM method at lower relative intensities (40 to 60% of VO₂RM) in obese individuals.

There is also important inter-individual variation in delta THR between HR_{max} and VO₂RM methods at any relative intensity. However, a larger proportion of subjects were within the optimal zone at lower relative intensities (40 to 60% of VO₂RM) with the HR_{max} and VO₂RM comparison (50, 38, and 47%) than with the HRR and VO₂RM comparison (41, 25, and 25%). Moreover, fewer subjects were in the « above +5 bpm » zone at lower intensities (20, 40, and 40%) with the HR_{max} and VO₂RM comparison than with the HRR and VO₂RM comparison (53, 65, and 68%), but more subjects were in the « below -5 bpm» zone (30, 22, and 13%) with the HR_{max} and VO₂RM comparison than with the HRR and VO₂RM comparison (6, 10, and 7%). Again, Cramér's V test for independence showed no significant association with the inter-individual variation in THR prescribed between HR_{max} and VO₂RM methods and the degree of obesity at any relative intensity. These results suggest a better association between THR determined using the HR_{max} and the VO₂RM methods for more obese individuals than the HRR method at lower relative intensities. However, 4 subjects had a THR of less than 10 bpm above their resting HR at 64% of HR_{max} which is definitely inadequate to attain a significant increase in exercise energy expenditure. Furthermore, no VO₂ could be associated to the THR prescribed at 64% of HR_{max} for 13 subjects. On the other hand, a target VO₂ could not be associated to the THR at 40% of HRR for only one subject and the lowest HR difference observed between THR at 40% of HRR and resting HR was 25

bpm. Therefore, the HR_{max} method is inappropriate at lower relative intensities for more obese individuals than the HRR method.

Energy expenditure estimation

The prescribed exercise THR should represent as much as possible the appropriate exercise metabolic rate in order to better estimate a prescribed exercise energy expenditure, especially in obese individuals (ACSM, 2001; Achten and Jeukendrup, 2003; ACSM, 2005). Lower relative exercise intensities (40 to 60% of VO_2RM) are recommended for exercise prescription in obese individuals (ACSM, 2005). Table 6.4 is an estimation of the clinical impacts of the variation between THR-HRR, THR- HR_{max} and THR- VO_2RM methods on oxygen consumption (VO_2) and the estimated energy expenditure associated to exercise. Energy expenditure was estimated for 3 subjects for 52 weeks of exercise training (45 minutes per exercise sessions, 5 times a week at 40 and 60% of VO_2RM), following ACSM's recommendations for obese individuals (Jakicik, 2003; ACSM, 2005). Subject « 51 » was categorized in the « above +5 bpm » zone according to the HRR and VO_2RM comparison and in the « below -5 bpm » zone according to the HR_{max} and VO_2RM comparison. Subject « 25 » was categorized in the «within ± 5 bpm » zone according to both comparisons. Subject « 61 » was categorized in the « below -5 bpm » zone according to the HRR and VO_2RM comparison and in the « above +5 bpm » zone according to the HR_{max} and VO_2RM comparison. The largest variation of estimated energy expenditure for one 45 minutes exercise session for the 3 examples was observed at 40% of VO_2RM with subject « 51 ». A positive 18 bpm

variation between HRR and VO₂RM methods equalled an estimation of a positive 64.2 kcal variation for one exercise session (+321 kcal/week). With the same subject, the negative 13 bpm variation at 40% of VO₂RM between HR_{max} and VO₂RM methods estimated a negative 60.4 kcal variation for one exercise session (-302 kcal/week). The calculated energy expenditure on longer terms (52 weeks) suggests that the choice of the method for exercise intensity prescription could have a considerable impact on the efficacy of the exercise prescription to promote weight loss (± 2 kg) with certain subject. On the other hand, subject « 61 » presented similar variation in estimated energy expenditure compared to subject « 51 » but in the opposite direction regarding methods comparisons. It has been reported that moderate exercise intensity determined by VO₂RM, HRR, and HR_{max} methods are more appropriate for weight loss purposes in obese individuals (Jakicic, 2003; Jakicic and Otto, 2005). However, our results demonstrate the potential clinical impact of the inter-individuals variations on the method chosen to prescribe an exercise intensity level in order to promote weight loss in obese individuals. Even though no association of the degree of obesity with the inter-individuals variation in THR prescription between methods were observed, clinicians should be aware of that inter-individual variation in order to adjust individually the exercise THR when projective results associated to exercise training are not encountered.

Conclusion

Our results showed that the THR determined using HRR or HR_{max} methods is within ± 5 bpm compare to VO₂RM method for 25 to 41% and 38 to 50% of the subjects

respectively at recommended exercise intensities for obese individuals (40 to 60% of VO₂RM). The inter-individual variations in THR between methods are not associated to the degree of obesity. The variation in THR between HRR and VO₂RM is constant from 40 to 85% of VO₂RM and averaged 6 ± 7 bpm. No significant difference in THR was observed at lower relative intensities between HR_{max} and VO₂RM method, but the delta THR was progressively increasing from 40 to 80% of VO₂RM. Finally, the HR_{max} method seems to statistically better represent the VO₂RM method at lower relative intensities for overweight to severely obese individuals but not for all subjects.

Acknowledgment

Authors of this article would like to sincerely acknowledge the work of Chantal Gallant, Monique Dufour and Mathieu Bélanger in the data collection process of this current study.

References

- Achten, J., and Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Medicine*, 33 (7), 517-538.
- American College of Sports Medicine. (1998). Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (6), 975-991.
- American College of Sports Medicine. (2001). Position Stand: Appropriate Intervention Strategies for Weight Loss and Prevention of Weight Regain for Adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (12), 2145-2156.
- American College of Sports Medicine. (2005). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing & Prescriptions*, (7th Ed.) Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

- Brawner, C. A., Keteyian, S. J., and Ehrman, J. K. (2002). The relationship of heart rate reserve to VO₂ reserve in patients with heart disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (3), 418-422.
- Byrne, N. M., and Hills, A. P. (2002). Relationships between HR and VO₂ in the Obese. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (9), 1419-1427.
- Colberg, S. R., Swain, D. P., and Vinik, A. I. (2003). Use of heart rate reserve and rating of perceived exertion to prescribe exercise intensity in diabetic autonomic neuropathy. *Diabetes Care*, 26 (4), 986-990.
- Fuller, N. J., Sawyer, M. B., and Elia, M. (1994). Comparative evaluation of body composition methods and predictions, and calculation of density and hydration fraction of fat-free mass, in obese women. *International Journal of Obesity and Related Metabolic Disorders*, 18, 503-512.
- Gustafson, A. B., Farrell, P. A., and Kalkhoff, R. K. (1990). Impaired plasma catecholamine response to submaximal treadmill exercise in obese women. *Metabolism*, 39 (4), 410-417.
- Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr, and Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (9), 1292-1301.
- Howley, E. T. (2001). Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (Suppl. 6), S364-S369.
- Hulens, M., Vansant, G., Lysens, R., Claessens, A. L., and Muls, E. (2001). Exercise capacity in lean versus obese women. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 11, 305-309.
- Jakicic, J. M. (2003). Exercise in the treatment of obesity. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America*, 32, 967-980.
- Jakicic, J. M., and Otto, A. D. (2005). Physical Activity Recommendations in the Treatment of Obesity. *Psychiatric Clinics of North America*, 28, 141-150.
- Kaminsky, L. A., and Whaley, M. H. (1998). Evaluation of a new standardized ramp protocol: The BSU/Bruce protocol. *Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation*, 18 (6), 438-444.
- Karvonen, M. J., Kentala, E., and Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate. *Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae*, 35, 307-315.

- Kesaniemi, Y. A., Danforth, E. Jr., Jensen, M. D., Kopelman, P. G., Lefebvre, P., and Reeder, B. A. (2001). Dose-response issues concerning physical activity and health: an evidence-based symposium. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (6), S351-S358.
- Miller, W. C., Wallace, J. P., and Eggert, K. E. (1993). Predicting max HR and the HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25 (9), 1077-1081.
- Mittendorfer, B., Fields, D. A., and Klein, S. (2004). Excess body fat in men decreases plasma fatty acid availability and oxidation during endurance exercise. *American Journal of Physiology*, 286, E354-E362.
- Myers, J., and Bellin, D. (2000). Ramp Exercise Protocols for Clinical and Cardiopulmonary Exercise Testing. *Sports Medicine*, 30 (1), 23-29.
- Notarius, C. F., Rhode, B., MacLean, L. D., and Magder, S. (1998). Exercise capacity and energy expenditure of morbidly obese and previously obese subjects. *Clinical and Investigative Medicine*, 21 (2), 79-87.
- Ozcelik, O., Aslan, M., Ayar, A., and Kelestimur, H. (2004). Effect of body mass index on maximal work production capacity and aerobic fitness during incremental exercise. *Physiological Research*, 53, 165-170.
- Pi-Sunyer, F. X. (1999). Comorbidities of overweight and obesity: Current evidence and research issues. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (Suppl.) S602-S608
- Salvadori, A., Fanari, P., Mazza, P., Agosti, R., and Longhini, E. (1992). Work capacity and cardiopulmonary adaptation of obese subject during exercise testing. *Chest*, 101, 674-679.
- Salvadori, A., Fanari, P., Giacomotti, E., Palmulli, P., Bolla, G., Tovaglieri, I., Luzi, L., and Longhini, E. (2003). Kinetics of catecholamines and potassium, and heart rate during exercise testing in obese subjects: Heart rate regulation in obesity during exercise. *European Journal of Nutrition*, 42 (4), 181-187.
- Skinner, J. S., Gaskill, S. E., Rankinen, R., Leon, A. S., Rao, D. C., Wilmore, J. H., and Bouchard, C. (2003). Heart rate versus %VO₂max: age, sex, race, initial fitness, and training response-heritage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (11), 1908-1913.
- Swain, D. P., and Leutholtz, B. C. (1997). Heart rate reserve is equivalent to %VO₂Reserve, not to %VO₂max. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (3), 410-414.

Swain, D. P., Leutholtz, B. C., King, M. E., Haas, L. A., and Branch, J. D. (1998). Relationship between % heart rate reserve and % VO_2 reserve in treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (2), 318-321.

Swain, D. P. (2000). Energy Cost Calculations for Exercise Prescription: An update. *Sports Medicine*, 30 (1), 17-22.

Table 6.1 Physical characteristics of the subjects.

Variables	T1 group	T2 group	T3 group
Sex ♂ / ♀	8 / 15	9 / 14	10 / 12
Age (yrs)	45 ± 7 (24 – 54)	43 ± 7 (32 – 56)	48 ± 4 † (41 – 54)
Weight (kg)	85.7 ± 14.0 (60.9 – 116.2)	94.0 ± 9.2 (78.5 – 111.6)	113.3 ± 16.8***††† (88.7 – 146.1)
Body Mass Index (kg·m ⁻²)	30.5 ± 1.5 (27.1 – 32.1)	34.3 ± 1.0*** (32.9 – 35.8)	40.2 ± 3.7***††† (36.0 – 46.6)
Waist Circumference (cm)	99.6 ± 9.5 (76.0 – 118.0)	107.0 ± 10.2 (89.4 – 131.9)	118.0 ± 12.9***†† (97.0 – 145.5)
Fat Mass (kg)	31.4 ± 4.6 (23.5 – 40.0)	38.6 ± 7.5** (28.6 – 61.7)	51.8 ± 9.6***††† (38.5 – 71.4)
Fat Free Mass (kg)	54.2 ± 13.6 (35.4 – 80.7)	57.3 ± 12.0 (41.5 – 81.6)	61.4 ± 14.4 (41.8 – 85.8)
% of Fat	37.3 ± 6.6 (25.6 – 45.6)	41.1 ± 7.5 (27.8 – 56.9)	46.0 ± 7.7*** (34.0 – 58.2)

Significantly different than T1 group: ** = (p<0,01), *** = (p<0,001)

Significantly different than T2 group: † = (p<0,05), †† = (p<0,01), ††† = (p<0,001)

Data are mean ± standard deviation (range).

Table 6.2 Physiological characteristics of the subjects.

Variables	T1 group	T2 group	T3 group
Resting Heart Rate (bpm)	83 ± 11 (66 – 110)	80 ± 8 (68 – 102)	89 ± 11 † (70 – 110)
Maximal Heart Rate (bpm)	177 ± 13 (153 – 198)	172 ± 12 (139 – 187)	171 ± 8 (156 – 192)
Heart Rate Reserve (bpm)	93 ± 14 (63 – 120)	89 ± 11 (68 – 108)	81 ± 10** (59 – 103)
Resting VO ₂ (ml·min ⁻¹) / (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	229 ± 55 (140 – 350)	221 ± 52 (140 – 330)	255 ± 51 (160 – 330)
VO ₂ peak (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	27.0 ± 3.4 (22.0 – 34.2)	25.9 ± 4.2 (19.9 – 35.2)	22.4 ± 4.1**† (14.5 – 32.8)
VO ₂ reserve (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)	24.3 ± 3.6 (19.0 – 32.5)	23.4 ± 4.1 (17.3 – 32.1)	20.1 ± 4.0 **† (12.4 – 30.1)

Significantly different than T1 group: * = (p<0.05), ** = (p<0.01)

Significantly different than T2 group: † = (p<0.05)

Data are mean ± standard deviation (range).

Table 6.3 Target heart rate (bpm), target VO₂ (ml·kg⁻¹·min⁻¹) and % of VO₂RM according to VO₂RM, HRR, and HR_{max} methods at 6 relative exercise intensities in obese individuals.

Relative intensity (% of VO ₂ RM)	VO ₂ RM method			HRR method			HR _{max} method		
	Target HR	Target VO ₂	%VO ₂ RM	Target HR	Target VO ₂	%VO ₂ RM	Target HR	Target VO ₂	%VO ₂ RM
40	113 ± 12	11,5 ± 1,8	40,0 ± 0,1	119 ± 9 ^{*a}	13,1 ± 3,1 ^{*b}	46,9 ± 9,7 [‡]	111 ± 7 ^{†a}	11,8 ± 3,0 ^{†c}	40,3 ± 8,8
50	122 ± 13	13,8 ± 2,2	50,0 ± 0,1	129 ± 9 [*]	15,5 ± 3,1 [*]	57,8 ± 8,6 [‡]	123 ± 8 [†]	14,5 ± 3,3 ^{*†d}	52,4 ± 9,2 [‡]
60	131 ± 12	16,1 ± 2,6	60,0 ± 0,1	137 ± 9 [*]	17,6 ± 3,5 [*]	66,8 ± 8,2 [‡]	133 ± 9 ^{*†}	16,5 ± 3,9 [†]	61,7 ± 10,5
70	140 ± 13	18,3 ± 3,1	70,0 ± 0,1	146 ± 10 [*]	19,5 ± 3,6 [*]	75,0 ± 7,7 [‡]	146 ± 10 [*]	19,1 ± 3,8 ^{*†}	73,3 ± 8,4 [‡]
80	150 ± 13	20,6 ± 3,5	80,0 ± 0,1	155 ± 10 [*]	21,7 ± 4,0 [*]	84,8 ± 7,2 [‡]	158 ± 10 ^{*†}	22,0 ± 3,9 ^{*†}	86,1 ± 5,9 [‡]
85	156 ± 13	21,7 ± 3,7	85,0 ± 0,1	160 ± 10 [*]	22,5 ± 3,8 [*]	88,7 ± 5,6 [‡]	163 ± 11 ^{*†}	23,3 ± 4,0 ^{*†}	91,9 ± 5,8 [‡]

Mean ± Standard Deviation.

VO₂RM = Oxygen Consumption Reserve with the Measured Resting VO₂; HRR = Heart Rate Reserve; HR_{max} = Maximal Heart Rate.

According to the ACSM's guidelines, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, and 85% of VO₂RM and HRR are equivalent to 64%, 71%, 77%, 84%, 91%, and 94% of

HR_{max}.

* = different than VO₂RM, p < 0.05 (paired sample t-test)

† = different than HRR, p < 0.05 (paired sample t-test)

‡ = different than relative intensity, p < 0.05 (one sample t-test)

^a: n = 66; ^b: n = 67; ^c: n = 55; ^d: n = 63

Table 6.4 Exercise energy expenditure estimation for 5 days and 52 weeks of training according to VO₂RM, HRR and HR_{max} methods at 40 and 60% of VO₂RM in obese individuals.

Relative Intensity*	VO ₂ RM method (reference method)			HRR method (variation compared with VO ₂ RM)			HR _{max} method (variation compared with VO ₂ RM)		
	Target HR (bpm)	Estimated energy expenditure (kcal)	52 weeks	Target HR (bpm)	Estimated energy expenditure (kcal)	52 weeks (kcal / kg)	Target HR (bpm)	Estimated energy expenditure (kcal)	52 weeks (kcal / kg)
	5 days	52 weeks	5 days	52 weeks (kcal / kg)	5 days	52 weeks (kcal / kg)	5 days	52 weeks (kcal / kg)	
Subject 51 categorized in the « above + 5 bpm » zone according to the HRR method and « below -5 bpm » zone according to the HR _{max} method									
40	102	854	44 428	+18	+321	+16 680 / -2.2	-13	-302	-15 669 / +2.0
60	125	1 282	66 668	+14	+233	+12 130 / -1.6	-13	-224	-11 625 / +1.5
Subject 25 categorized in the « within ±5 bpm » zone according to both HRR and HR _{max} method									
40	121	859	44 686	-3	-75	-3 899 / +0.5	+5	+178	+9259 / -1.2
60	142	1 290	67 102	-2	-37	-1 949 / +0.3	+2	+37	+1949 / -0.3
Subject 61 categorized in the « below -5 bpm » zone according to the HRR method and « above +5 bpm » zone according to the HR _{max} method									
40	127	951	49 450	-6	-214	-11 130 / +1.4	+7	+224	+11 660 / -1.5
60	154	1 420	73 830	-11	-133	-6 890 / +0.9	+10	+122	+6360 / -0.8

VO₂RM = Oxygen Consumption Reserve with the Measured Resting VO₂; HRR = Heart Rate Reserve; HR_{max} = Maximal Heart Rate.

* Relative intensity is in % of VO₂RM. According to the ACSM's guidelines, 40% of VO₂RM = 40% of HRR and 64% of HR_{max}; 60% of VO₂RM = 60% of HRR and 77% of HR_{max}.

Exercise energy expenditure was estimated for 45 minutes session, 5 sessions per week where 1 L of O₂ consumed = 5 kcal.

Individual descriptive characteristics: **Subject 51:** 32 years old female, BMI = 33.8 kg·m⁻², resting HR = 76 bpm, HR_{max} = 182 bpm, resting VO₂ = 2.83 ml·kg⁻¹·min⁻¹, VO_{2peak} = 25.7 ml·kg⁻¹·min⁻¹; **Subject 25:** 38 years old female, BMI = 32.1 kg·m⁻², resting HR = 80 bpm, HR_{max} = 179 bpm, resting VO₂ = 2.81 ml·kg⁻¹·min⁻¹, VO_{2peak} = 24.8 ml·kg⁻¹·min⁻¹; **Subject 61:** 36 years old female, BMI = 34.2 kg·m⁻², resting HR = 77 bpm, HR_{max} = 187 bpm, resting VO₂ = 2.17 ml·kg⁻¹·min⁻¹, VO_{2peak} = 25.4 ml·kg⁻¹·min⁻¹.

Figure 6.1 Variation in target heart rate for the HRR and HR_{max} methods in comparison with the VO₂RM methods at 6 relative intensities.

Values are presented in mean \pm standard deviation. VO₂RM = Oxygen Consumption Reserve with the Measured Resting VO₂; HRR = Heart Rate Reserve; HR_{max} = Maximal Heart Rate. Relative exercise intensity: 40, 50, 60, 70, 80, and 85% of VO₂RM or HRR = 64, 71, 77, 84, 91, and 85% of HR_{max} according to ACSM's guidelines.

* = delta in target HR is significantly different than the previous relative intensity, $p < 0.05$

Figure 6.2 Percentage of subject within ± 5 bpm, above +5 bpm or below -5 bpm in terms of target heart rate variation prescribed with HRR and HR_{max} methods compared to VO₂RM method with the X axis representing the VO₂RM method.

Values are presented in percentage of subjects. HR_{max} = Maximal Heart Rate; HRR = Heart Rate Reserve; VO₂RM = Oxygen Consumption Reserve with the Measured Resting VO₂.

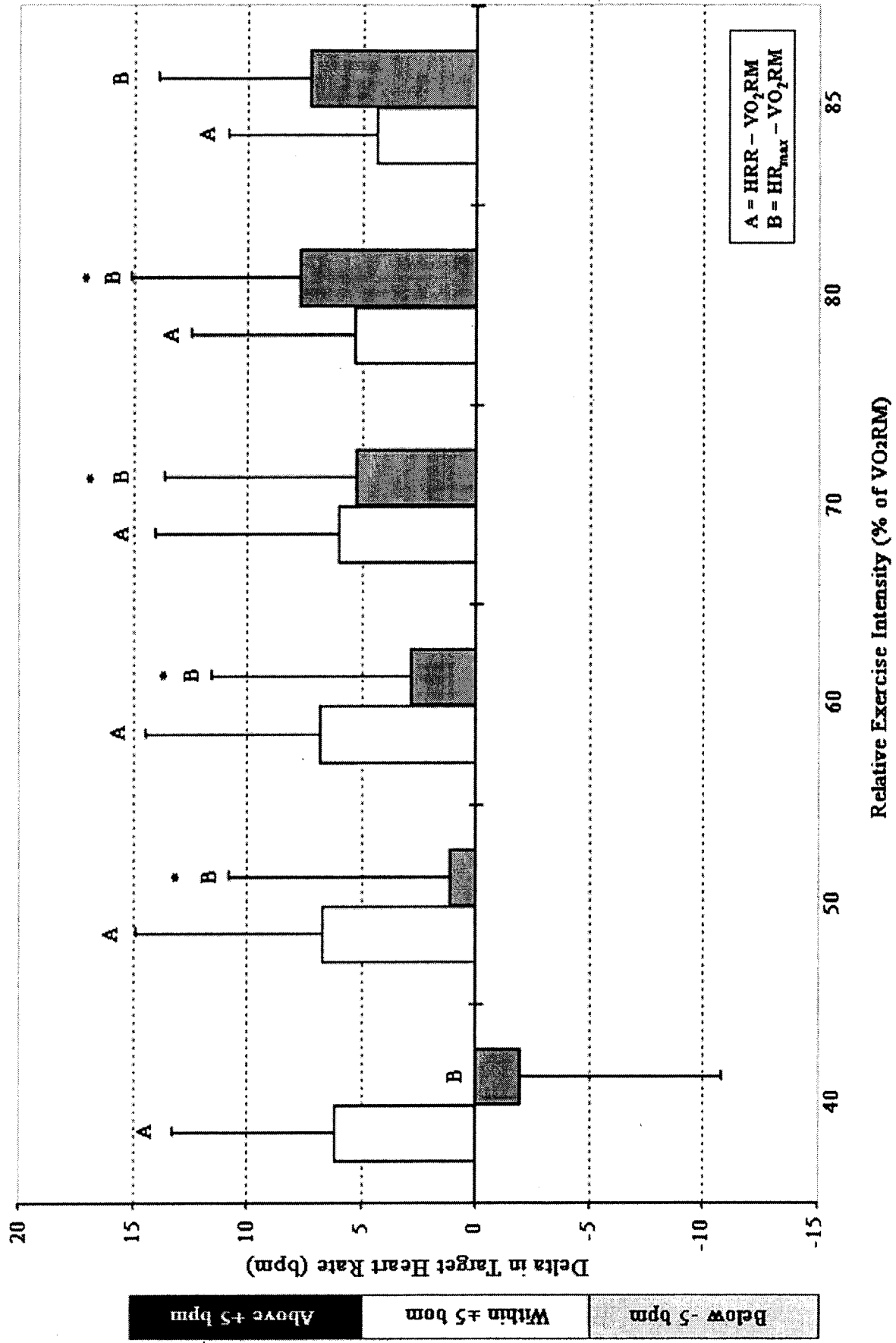


Figure 6.1 Pinet, Boulay, Prud'homme

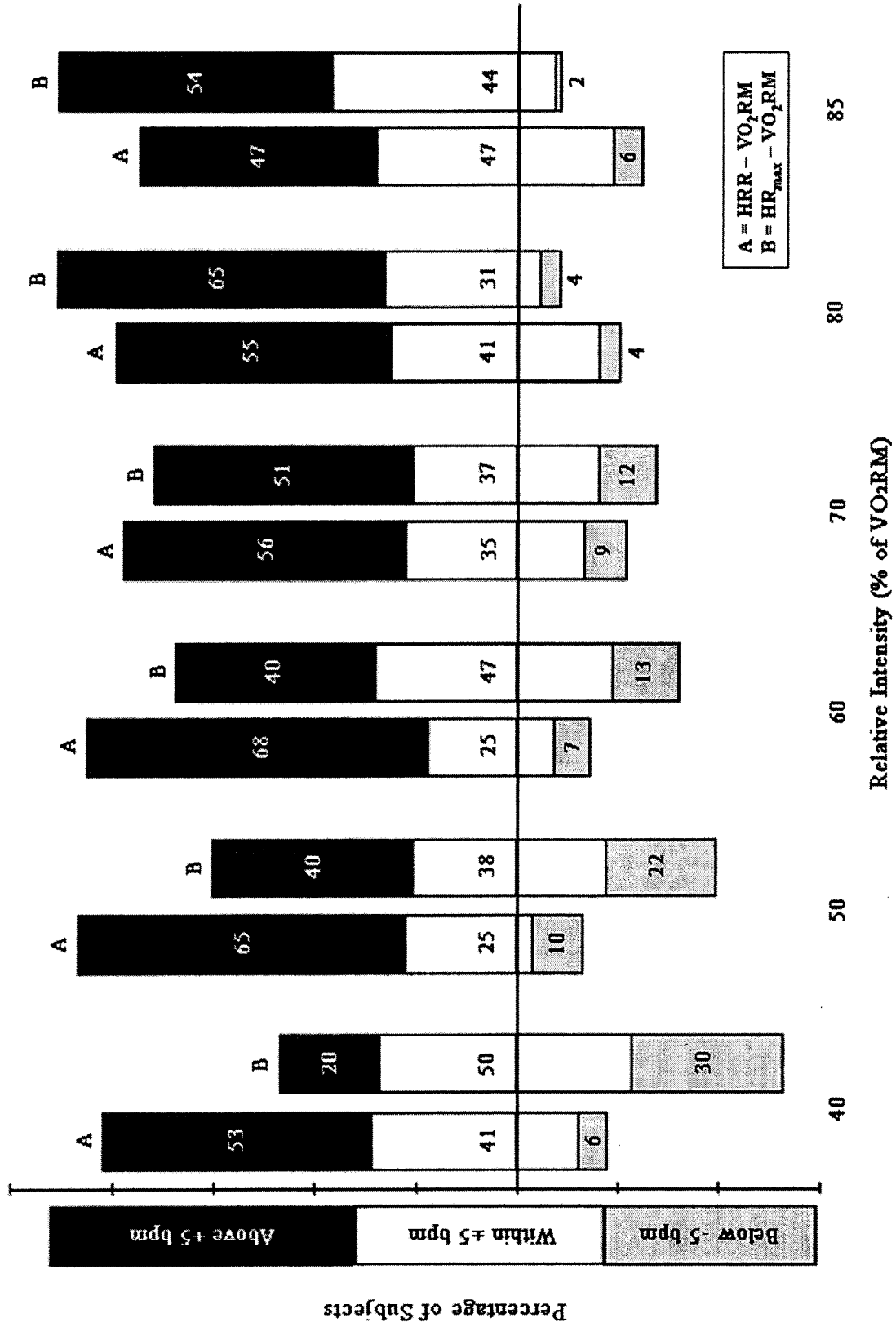


Figure 6.2 Pinet, Boulay, Prud'homme

Chapitre 7 – Discussion Générale

Les deux principaux objectifs de cette thèse étaient 1) de déterminer si les recommandations émises par l'ACSM en termes d'intensité d'exercice relative sont équivalentes entre les méthodes de la VO_2R , de la FCR et de la FC_{max} et 2) de déterminer si ces trois méthodes permettent de prescrire des FC cibles d'exercice équivalentes chez des individus obèses. Un second objectif était d'investiguer si l'équivalence des intensités relatives et des FC cibles entre les méthodes de la VO_2R , de la FCR et de la FC_{max} était affectée par le degré d'obésité. Deux procédés analytiques distincts ont été effectués pour répondre aux présents objectifs.

7.1 Premier article

La technique d'analyse utilisée dans le premier article est celle traditionnellement retrouvée dans la littérature et consiste à calculer les régressions des intensités relatives entre les méthodes de la FCR ou de la FC_{max} à celle de la VO_2R (VO_2RM ou VO_2RE) à partir des résultats obtenus lors d'une épreuve à l'effort (Swain et Leutholtz, 1997; Swain et coll., 1998; Brawner et coll., 2002; Byrne et Hills, 2002; Colberg et coll., 2003). Avec tous les sujets obèses regroupés, les résultats démontrent que le pourcentage de la FCR doit être environ 6% inférieur à celui de la VO_2RM pour obtenir une intensité relative d'exercice équivalente alors que les pourcentages de la FCR comparés aux pourcentages de la VO_2RE sont sensiblement équivalents. De plus, les résultats indiquent que le degré d'obésité explique environ 15% de la variation entre le %FCR et le % VO_2RM alors qu'il

explique moins de 10% de la variation entre le %FCR et le %VO₂RE. Cliniquement, ceci signifie que le % de la FCR doit être inférieur d'environ 10% et 6% pour obtenir une intensité d'exercice cible équivalente à 40 à 60% de la VO₂RM et de la VO₂RE respectivement chez les individus avec un degré d'obésité supérieur. Par ailleurs, la régression moyenne des intensités relatives entre les méthodes de la FC_{max} et de la VO₂RM n'était aucunement affectée par le degré d'obésité mais divergeait fortement de la ligne d'identité définie par l'ACSM. De plus, la FC de repos explique de 35 à 39% de la variation entre les % de la FC_{max} et de la VO₂RM, suggérant ainsi l'importance d'inclure la FC de repos dans l'établissement de la prescription d'intensité d'exercice cible chez les individus obèses.

7.2 Second article

Le second article avait une connotation plus clinique dans la mesure où la technique d'analyse est plus appliquée mais rarement utilisée dans la littérature. Ainsi, les FC cibles déterminées par les méthodes de la FCR et de la FC_{max} ont été comparées aux FC cibles déterminées par la méthode de la VO₂RM à 6 intensités relatives équivalentes à 40, 50, 60, 70, 80 et 85% de la VO₂RM. En somme, la méthode de la FCR prescrit des FC cibles en moyenne de 6±7 bpm plus élevée que celle de la VO₂RM et ce, indépendamment de l'intensité relative. Alors que les FC cibles prescrites par la méthode de la FC_{max} sont en moyenne très similaire à celles prescrites par la méthode de la VO₂RM aux intensités relatives faibles à modérées (40 à 60% de la VO₂RM), l'écart des FC cibles entre ces 2 méthodes s'accroît avec l'augmentation de l'intensité relative de l'exercice. Par ailleurs,

les sujets ont été classifiés selon les écarts de FC cibles entre les méthodes de la FCR ou de la FC_{max} avec celle de la VO₂RM dans les catégories suivantes : ± 5 bpm, plus de +5 bpm et moins de -5 bpm. Une analyse non-paramétrique d'association a démontré que l'écart des FC cibles entre les méthodes de la FCR ou de la FC_{max} avec celle de la VO₂RM n'était pas associé de façon significative au degré d'obésité. De plus, même si une plus grande proportion de sujet ont été catégorisé dans la zone optimale de ± 5 bpm avec la méthode de la FC_{max} qu'avec celle de la FCR aux intensités relatives faibles à modérées, une analyse plus approfondie a démontré que la méthode de la FC_{max} détermine une FC cible nettement insuffisante (moins de 10 bpm supérieur à la FC de repos) chez 4 sujets alors qu'aucun cas ne fut observé avec la méthode de la FCR.

7.3 Généralité

Un résultat surprenant de la présente étude est qu'un effet du degré d'obésité considérable fut observé sur les régressions individuelles moyennes entre le %FCR et le %VO₂RM alors qu'aucune association du degré d'obésité avec les écarts de FC cibles entre les méthodes de la FCR et de la VO₂RM ne fut observé pour chacune des intensités relatives analysées. Ces résultats à première vue contradictoire pourraient en parti s'expliquer par la nature même des deux procédés analytiques utilisés. Les comparaisons entre FC cibles ont été effectuées à des intensités relatives précises et nettement supérieures à l'état de repos, soit à partir de 40% de la VO₂RM. De plus, la FC cible déterminée avec la méthode de la VO₂RM fut « associée » et non « régressée » à la VO₂ cible. L'analyse par régression comprend quant à elle, des valeurs de VO₂ et de FC

provenant de la première minute de l'épreuve à l'effort pouvant équivaloir à des intensités relatives aussi faibles que 10% de la VO_2RM et/ou de la FCR. Or, les adaptations cardiorespiratoires à l'effort sont plus ou moins stables à des intensités relatives aussi faibles (Hiilloskorpi, Pasanen, Fogelholm, Laukkanen et Mänttari, 2003; Keytel et coll., 2005). Il est donc possible d'émettre l'hypothèse que le degré d'obésité affecte davantage la relation entre la FC et la VO_2 en début d'effort ce qui se reflète sur les résultats des régressions moyennes.

7.4 Limitation et pistes de recherche

Un fait important à noter est que la FC de repos et la VO_2 de repos n'ont pas été mesurés simultanément. Par contre, ces deux paramètres ont été mesurés dans les mêmes conditions pour tous les sujets. Une seconde limitations de la présente étude au point de vu pratique est que les analyses des intensités relatives et des FC cibles en fonction des méthodes de la VO_2R , FCR et FC_{max} furent effectuées dans un contexte d'effort progressif alors que les sessions d'entraînement sont effectuées dans un contexte d'effort constant. Ainsi, de futures études sont nécessaires afin d'investiguer si les relations entre intensité relative et méthodes de la VO_2R , FCR et FC_{max} observées lors d'une épreuve à l'effort sont également présentes lors d'une session d'entraînement. Ceci permettrait entre autre, de préciser jusqu'à quel point une prescription d'intensité d'exercice déterminée à partir d'une épreuve à l'effort peut estimer la dépense énergétique lors d'un effort constant selon la méthode utilisée. De plus, l'effet de l'entraînement sur les

relations entre les intensités relatives et les méthodes utilisées est également un élément manquant dans la littérature.

7.4. Conclusion

La prescription de l'intensité d'exercice demeure un art pratiqué sur une base individualisé. Les résultats de cette étude ont démontré qu'il existe une grande variation individuelle entre les méthodes utilisées pour prescrire une FC cible d'exercice chez des obèses sédentaires. Malgré le fait que l'analyse par régression entre les méthodes de la FCR et de la VO_2R suggère un certain effet du degré d'obésité, l'analyse des écarts entre les FC cibles suggère le contraire. Ceci dit, en prenant pour acquis que la méthode de la VO_2R demeure celle de référence, nos résultats démontrent que la méthode de la FCR reflète mieux celle-ci que la méthode de la FC_{max} dans son ensemble chez un groupe d'obèses sédentaires. Cependant, le spécialiste de l'exercice se doit d'être conscient que l'écart en terme de FC cible d'exercice entre les méthodes peut être considérable chez certains individus obèses et sédentaires.

8. Références

- Achten, J., and Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring: Applications and limitations. *Sports Medicine*, 33 (7), 517-538.
- American College of Sports Medicine. (1978). Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults. *Medicine and Science in Sports*, 10 (3), vii-x.
- American College of Sports Medicine. (1990). Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22 (2), 265-274.
- American College of Sports Medicine (1994). Position Stand: Exercise for patients with coronary artery disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (3), i-v.
- American College of Sports Medicine. (1998). Position Stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (6), 975-991.
- American College of Sports Medicine. (2000)a. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing & Prescriptions*, (6th Ed.) Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- American College of Sports Medicine. (2000)b. Position stand: Exercise and type 2 diabetes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32 (7), 1345-1360.
- American College of Sports Medicine. (2004). Position Stand: Exercise and hypertension. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (3), 533-553.
- American College of Sports Medicine. (2005). *ACSM's Guidelines for Exercise Testing & Prescriptions*, (7th Ed.) Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Bebout, D. E., Story, D., Roca, J., Hogan, M. C., Poole, D. C., Gonzalez-Camarena, R., Ueno, O., Haab, P., and Wagner, P. D. Effects of altitude acclimatization on pulmonary gas exchange during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 67 (6), 2286-2295.
- Bernard, T., Falgairette, G., Gavarry, O., Bermon, S. et Marconnet, P. (1996). Intérêt de la fréquence cardiaque pour évaluer la consommation d'oxygène en situation non stable d'exercice et au cours de la récupération. *Science & sports*, 11, 96-103.

- Brawner, C. A., Keteyian, S. J., and Ehrman, J. K. (2002). The relationship of heart rate reserve to VO₂ reserve in patients with heart disease. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (3), 418-422.
- Byrne, N. M., and Hills, A. P. (2002). Relationships between HR and VO₂ in the Obese. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34 (9), 1419-1427.
- Byrne, N. M., Hills, A. P., Hunter, G. R., Weinsier, R. L., and Schutz, Y. (2005) Metabolic equivalent: one size does not fit all. *Journal of Applied Physiology*, 99, 1112-1119.
- Colberg, S. R., Swain, D. P., and Vinik, A. I. (2003). Use of heart rate reserve and rating of perceived exertion to prescribe exercise intensity in diabetic autonomic neuropathy. *Diabetes Care*, 26 (4), 986-990.
- Davis, J. A., and Convertino, V. A. (1975). A comparison of heart rate methods for predicting endurance training intensity. *Medicine and Science in Sports*, 7 (4), 295-298.
- Gledhill, N., Cox, D., and Jamnik, R. (1994). Endurance athlete's stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (9), 1116-1121.
- Gustafson, A. B., Farrell, P. A., Kalkhoff, R. K. (1990). Impaired plasma catecholamine response to submaximal treadmill exercise in obese women. *Metabolism*, 39 (4), 410-417.
- Hiilloskorpi, H. K., Pasanen, M. E., Fogelholm, M. G., Laukkanen, R. M., and Mänttari, A. T. (2003). Use of Heart Rate to Predict Energy Expenditure from Low to High Activity Levels. *International Journal of Sports Medicine*, 24, 332-336.
- Howley, E. T. (2001). Type of activity: resistance, aerobic and leisure versus occupational physical activity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (Suppl. 6), S364-S369.
- Hulens, M., Vansant, G., Lysens, R., Claessens, A. L., and Muls, E. (2001). Exercise capacity in lean versus obese women. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 11, 305-309.
- Karvonen, M. J., Kentala, E., and Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate. *Annales Medicinae Experimentalis et Biologiae Fenniae*, 35, 307-315.
- Kesaniemi, Y. A., Danforth JR., E., Jensen, M. D., Kopelman, P. G., Lefebvre, P., and Reeder, B. A. (2001). Dose-response issues concerning physical activity and health: an evidence-bases symposium. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 (Suppl.) S351-S358.

- Keytel, L. R., Goedecke, J. H., Noakes, T. D., Hiiloskorpi, H., Laukkanen, R., Van Der Merwe, L., and Lambert, E. V. (2005). Prediction of energy expenditure from heart rate monitoring during submaximal exercise. *Journal of Sports Sciences*, 23 (3), 289-297.
- Lepretre, P.-M., Koralsztejn, J.-P., and Billat, V. (2004). Effect of exercise intensity on relationship between VO₂max and cardiac output. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36 (8), 1357-1363.
- Londeree, B. R., and Ames, S. A. (1976). Trend analysis of the %VO₂ max – HR regression. *Medicine and Science in Sports*, 8 (2), 122-125.
- Mazzeo, R. S., and Tanaka, H. (2001). Exercise prescription for the elderly: Current recommendations. *Sports Medicine*, 31 (11), 809-818.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., and Katch, V. L. (2001). *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance*, (5th Ed.) Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- McLaren, P. F., Nurhayati, Y., and Boutcher, S. H. (1997). Stroke volume response to cycle ergometry in trained and untrained older man. *European Journal of Applied Physiology*, 75, 537-542.
- Miller, W. C., Wallace, J. P., and Eggert, K. E. (1993). Predicting max HR and the HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25 (9), 1077-1081.
- Mittendorfer, B., Fields, D. A., and Klein, S. (2004). Excess body fat in men decreases plasma fatty acid availability and oxidation during endurance exercise. *American Journal of Physiology*, 286, E354-E362.
- Notarius, C. F., Rhode, B., MacLean, L. D., and Magder, S. (1998). Exercise capacity and energy expenditure of morbidly obese and previously obese subjects. *Clinical and Investigative Medicine*, 21 (2), 79-87.
- Ozcelik, O., Aslan, M., Ayar, A., and Kelestimur, H. (2004). Effect of body mass index on maximal work production capacity and aerobic fitness during incremental exercise. *Physiological Research*, 53, 165-170.
- Panton, L. B., Graves, J. E., Pollock, M. L., Garzarella, L., Carrol, J. F., Leggett, S. H., Lowenthal, D. T., & Guillen, G. J. (1996). Relative heart rate, heart rate reserve, and VO₂ during submaximal exercise in the elderly. *Journal of Gerontology*, 51A (4), M165-M171.

- Pate, R. R., Pratt, M., Blair, S. N., Haskell, W. L., Macera, C. A., Bouchard, C., Buchner, D., Ettinger, W., Heath, G. W., King, A. C., Kriska, A., Leon, A. S., Marcus, B. H., Morris, J., Paffenbarger, R. S. Jr., Patrick, K., Pollock, M. L., Rippe, J. M., Sallis, J., and Wilmore, J. H. (1995). Physical activity and public health: A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *Journal of the American Medical Association*, 273 (5), 402-407).
- Robergs, R. A., & Landwehr, R. (2002). The surprising history of the “HRmax = 220 - age” equation. *Journal of Exercise Physiologyonline*, 5 (2).
- Salvadori, A., Fanari, P., Mazza, P., Agosti, R., and Longhini, E. (1992). Work capacity and cardiopulmonary adaptation of obese subject during exercise testing. *Chest*, 101, 674-679.
- Salvadori, A., Fanari, P., Giacomotti, E., Palmulli, P., Bolla, G., Tovaglieri, I., Luzi, L., and Longhini, E. (2003). Kinetics of catecholamines and potassium, and heart rate during exercise testing in obese subjects: Heart rate regulation in obesity during exercise. *European Journal of Nutrition*, 42 (4), 181-187.
- Seebauer, M., Sidler, M-A., and Kohl, J. (2003). Gender differences in workload effect on coordination between breathing and cycling. *Medicine and Science in Sports and exercise*, 35 (3), 495-499.
- Skinner, J. S., Jaskólski, A., Jaskólska, A., Krasnoff, J., Gagnon, J., Leon, A. S., Rao, D. C., Wilmore, J. H., and Bouchard, C. (2001). Age, sex, race, initial fitness, and response to training: the HERITAGE family study. *Journal of Applied Physiology*, 90, 1770-1776.
- Skinner, J. S., Gaskill, S. E., Rankinen, R., Leon, A. S., Rao, D. C., Wilmore, J. H., and Bouchard, C. (2003). Heart rate versus %VO₂max: age, sex, race, initial fitness, and training response-heritage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (11), 1908-1913.
- Speed, C. A., and Shapiro, L. M. (2000). Exercise prescription in cardiac disease. *The Lancet*, 356 (9237), 1208-10.
- Swain, D. P. (2000). Energy cost calculations for exercise prescription. *Journal of Sports Medicine*, 30 (1), 17-22.
- Swain, D. P., Abernathy, K. S., Smith, C. S., Lee, S. J., and Bunn, S. A. (1994). Target heart rates for the development of cardiorespiratory fitness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 26 (1), 112-116.

- Swain, D. P., and Leutholtz, B. C. (1997). Heart rate reserve is equivalent to %VO₂Reserve, not to %VO_{2max}. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29 (3), 410-414.
- Swain, D. P., Leutholtz, B. C., King, M. E., Haas, L. A., and Branch, J. D. (1998). Relationship between % heart rate reserve and % VO₂reserve in treadmill exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (2), 318-321.
- United States Department of Health and Human Services. (1996). *Physical activity and health: a report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Center for Chronic Disease Prevention and Health.
- Vella, C. A., and Robergs, R. A. (2005). A review of the stroke volume response to upright exercise in healthy subjects. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 190-195.
- Wasserman, K., Hansen, J. E., Sue, D. Y., and Whipp, B. J. (1994). *Principles of exercise testing and interpretation*, (2nd Ed.) Philadelphia: Lea & Febiger.
- Wilmore, J. H., and Costill, D. L. (2004). *Physiology of Sports and Exercise*, (3rd Ed.) Champaign, IL: Human Kinetics.