

図1 体重と基礎代謝量の関係

被験者各個人の基礎代謝量（絶対値：kcal/日）と体重（kg）を散布図にプロットした。また、全被験者（83名）に関する基礎代謝量と体重の間の回帰直線（実線）と平均値±推定標準誤差（点線）を加えた。

$$n=83, y=11.24x+527, r=0.58, p<0.001$$

平均値±推定標準誤差

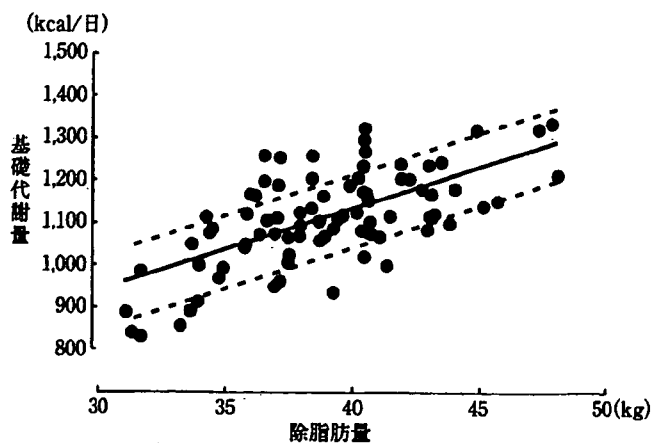


図2 除脂肪量と基礎代謝量の関係

被験者各個人の基礎代謝量（絶対値：kcal/日）と除脂肪量（kg）を散布図にプロットした。また、全被験者（83名）に関する基礎代謝量と除脂肪量の間の回帰直線（実線）と平均値±推定標準誤差（点線）を加えた。

$$n=83, y=19.6x+341, r=0.66, p<0.001$$

平均値±推定標準誤差

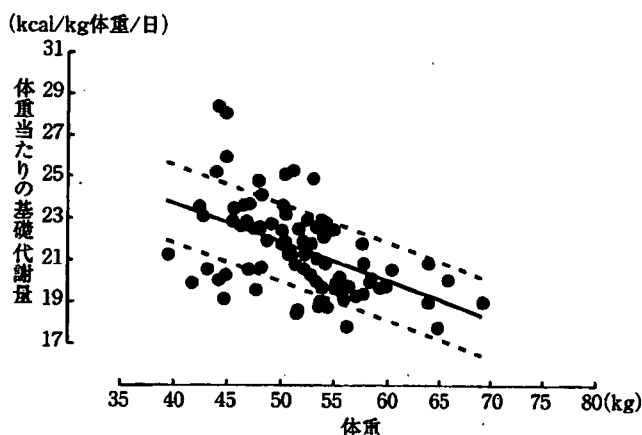


図3 体重と体重当たりの基礎代謝量の関係

被験者各個人の基礎代謝量（体重当たり：kcal/kg体重/日）と体重（kg）を散布図にプロットした。また、全被験者（83名）に関する基礎代謝量と除脂肪量の間の回帰直線（実線）と平均値±推定標準誤差（点線）を加えた。

$$n=83, y=-0.19x+31.2, r=-0.51, p<0.001$$

平均値±推定標準誤差

った（表3）。

BMR (kcal/日) は3群間に有意な差はなかった。% LBMの高値群は、体重当たりのBMR (kcal/kg体重/日) が中間値群、低値群と比較して有意に大きかった。

先行研究¹³⁾の被験者における1日当たりのBMRの平均値は1,132kcal/日、体重当たりのBMRは23.1kcal/kg体重/日であった。BSA当たりのBMRは32.4±2.4kcal/m²BSA/時であり、本研究の被験者の値(31.3±2.6kcal/m²BSA/時)のほうが有意に小さかった。

3. 最大酸素摂取量

本研究の被験者における体重当たりの最大酸素摂取

量は34.2±4.9 ml/kg/minであり、19歳以上の最大酸素摂取量 (ml/kg/min) の体力評価区分の基準値¹⁴⁾のAverage (29.8～37.0) の範囲内であり、平均的な体力をもつ集団であったと考えられる。

4. 血液検査結果

ヘモグロビン（女性基準値11.5～15.0g/dl（以下同じ））、ヘマトクリット（34.8～45.0%）はそれぞれ13.0±0.8g/dl、39.9±2.0%であった。総コレステロール（120～219mg/dl）、HDLコレステロール（45～75mg/dl）、中性脂肪（30～149mg/dl）の濃度はそれぞれ176±29mg/dl、66±12mg/dl、62±25mg/dlであり、全被験者におけるすべての項目において正常範囲内であった。甲状腺機能の指標であるT₃（76～177ng/dl）についても、108±17ng/dlであり、基準値内であった。

考 察

本研究で測定した被験者のBMR (kcal/日)、体重当たりのBMR (kcal/kg体重/日) は、それぞれ1,110±112kcal/日、21.5±2.1kcal/kg体重/日であり、これらの値はDRIs-Jで使用されている18～29歳女性のBMR (1,180kcal/日) および基礎代謝基準値 (23.6kcal/kg体重/日) よりそれぞれ、70kcal/日、2.1kcal/kg体重/日、小さいことが明らかとなった。

本研究の被験者の身長、体重 (159.6±5.8cm、51.9±5.8kg) とともにDRIs-Jの20歳代の基準体位 (157.7cm、50.0kg) より大きいので、それから推定されるBMRも大きいと推測される。しかし、本研究の被験者のBMR (kcal/日) および体重当たりのBMR (kcal/kg体重/日)

表3 除脂肪率の平均値±1/2標準偏差での分類による身体組成と基礎代謝量

除脂肪率 (%LBM)		低値群 (n=30)	中間値群 (n=29)	高値群 (n=24)
除脂肪率 (%LBM)	(%)	71.7 ± 2.0	76.0 ± 1.0 ^a	80.8 ± 2.3 ^{a, b}
年齢	(歳)	22.6 ± 2.1	22.7 ± 1.7	23.4 ± 2.0
身長	(cm)	159.1 ± 4.1	158.2 ± 7.1	161.4 ± 5.5
体重	(kg)	54.6 ± 5.7	52.0 ± 5.6	48.3 ± 4.0 ^{a, b}
脂肪量	(kg)	16.1 ± 2.7	13.3 ± 1.6 ^a	10.1 ± 1.8 ^{a, b}
LBM	(kg)	39.1 ± 3.6	39.5 ± 4.3	39.0 ± 3.2
BMR	(kcal/日)	1,113 ± 102	1,093 ± 124	1,126 ± 106
	(kcal/kg 体重/日)	20.5 ± 1.4	21.1 ± 1.8	23.4 ± 2.2 ^{a, b}
	(kcal/kg LBM/日)	28.5 ± 1.9	27.7 ± 2.3	29.0 ± 2.6

若年成人女性 (83名) の除脂肪率の平均値±1/2標準偏差の値で3群に分けた身体的特徴と基礎代謝量を平均値±標準偏差で示したものを。

LBM: 除脂肪量, BMR: 基礎代謝量

a; 低値群との差, b; 中間値群との差: $p < 0.05$

は DRIs-J の値よりも小さかった。したがって、本研究、つまり現代若年女性の BMR が、DRIs-J で採用されている値よりも小さいことは、身長、体重という体格の差では説明できない。

次に、図3にも示すように、体重当たりの BMR (kcal/kg 体重/日) は体重が大きくなるほど低い値を示すことが知られている¹⁵⁾。中村¹⁶⁾は、対象者の体重が、当時の基準体重 (51.3kg) より 10kg 大きくなれば、体重当たりの BMR は、その基準値より約 2 kcal/kg 体重/日、低くなると報告している。しかし、本研究の被験者の体重は基準体重 (50.0kg) と比較して、1.9kg しか大きくないにもかかわらず、体重当たりの BMR は基礎代謝基準値 (23.6kcal/kg 体重/日) より、2.1kcal/kg 体重/日も小さかった。つまり体重がほぼ同じであるのに、本研究の被験者における体重当たりの BMR (kcal/kg 体重/日) は、DRIs-J の基準値よりも小さいということである。したがって、体重当たりの BMR の差も体重の差では説明できない。

これまで多くの研究報告によって、LBM (kg) が BMR (kcal/日) に大きな影響を与えることが知られている⁶⁻⁹⁾。本研究の被験者においてもステップワイズ重回帰分析を行った結果、LBM が BMR に最も寄与する因子であり、LBM で 43% 説明できることが示された。また、LBM と BMR の相関係数は $r = 0.66$ であり、体重と BMR の相関係数 ($r = 0.58$) よりも高く、SEE も LBM のほうが小さかった (91.9kcal/日 vs 85.4kcal/日)。したがって、BMR (kcal/日) には体重よりも LBM がより多く影響を与えていると考えられる。

そこで、LBM という観点から、本研究の 20 歳代女性の BMR が、DRIs-J で示されている基礎代謝基準よ

りも小さい理由を明らかにするために、本研究と、DRIs-J の基礎代謝基準値策定の基となった基礎代謝量測定⁹⁻¹¹⁾ と同時期に行われた若年女性の BMR と LBM を測定している先行研究¹²⁾ を比較・検討した。

先行研究¹²⁾ は 1958 ~ 1960 年にかけて若年成人男女 208 名を対象として水中体重秤量法により身体組成を、ダグラスバッグ法により BMR を測定し報告している。この先行研究¹²⁾ で用いた水中体重秤量法と本研究で用いた DXA 法とは測定法が異なる。一般的に水中体重秤量法と比較して DXA 法は、機種により体脂肪率を過大評価する傾向がある¹⁷⁾ という報告があるが、我々の使用した Hologic 社製 QDR の機器で得られた値は、水中体重法と、ほとんど差はないことも報告されている^{18, 19)}。したがって、身体組成に関して両研究の値は比較できると考えられる。

一方、BMR の測定方法は両実験ともダグラスバッグ法を用いており同じであった。しかし、この先行研究¹²⁾ の論文には計算式に関する記載はなかった。我々は Weir¹³⁾ の基礎代謝量の式を用いた。当時、Weir¹³⁾ の式と同様に一般的によく用いられる方法として、呼吸商による熱量換算表²⁰⁾ による BMR の計算法があり、先行研究¹²⁾ ではこの方法を用いた可能性がある。そこで、本研究の値をこの呼吸商による熱量換算表を用いて計算したところ、Weir¹³⁾ の式を用いた値と有意差は認められなかった ($p = 0.86$)。したがって、BMR の計算方法が異なる可能性は考えられるが、どちらにしても両研究の値を比較することが可能であると考えられる。

表2に示したように、本研究の BMR (kcal/日) は 1,110kcal/日、先行研究の BMR は 1,132kcal/日 (BSA 当たりの BMR の値より計算した値) であり、差がない

と思われる。本研究の被験者の身長、体重は先行研究¹²⁾と比較して有意に高い値であった。したがって、身長、体重では、BMRに差がないことを説明できない。一方、LBMは両群に有意な差がなかった。したがって、両群のBMRに差がないのは、BMRに対して大きな影響を与えるLBMが両群に差がないことから説明することができると思われる。

体重当たりのBMR (kcal/kg 体重/日)も先行研究¹²⁾の値に比べて本研究の値が低いように見える。しかし先行研究では、BSA当たりのBMRのみしか記載がなく、そのほかのBMRの値は統計的な比較はできない。一方、本研究の被験者におけるBSA当たりのBMR (kcal/m²BSA/時)は先行研究¹²⁾の値より有意に低かった。したがって、統計的には未確定であるが、体重当たりのBMRも先行研究¹²⁾の値に比べて本研究の値が低いと推測される。BMRにLBMが大きな影響を与えることを示したが、体重当たりのBMRは%LBMが影響を与える可能性がある。一般的に身体組成を論じる場合、%Fatが用いられる。ここで論じる%LBMは身体組成という観点からは、%Fatと対比される指標であり、身体組成を論じる場合に使われることは少ない。しかし、本研究ではBMRに最も影響を与えている因子としてステップワイズ重回帰分析の結果、BMRに寄与している因子は脂肪量ではなくLBMであった。したがって、ここでは%LBMを用いて議論する。

本研究と先行研究¹²⁾のBMRの差を議論することを目的として、本研究の被験者を%LBMの値で3群に分け、その体重当たりのBMR (kcal/kg 体重/日)の値を検討した。その結果、表3に示すように、%LBMの高値群における体重当たりのBMRは、ほかの2群の値よりも有意に大きく、基礎代謝基準値 (kcal/kg 体重/日)とはほぼ同じであることが明らかとなった。一方、それよりも%LBM低値群の体重当たりのBMRは、基礎代謝基準値と比較して小さい。先行研究¹²⁾の%Fatが19.9%であり、%LBMに換算すると、80.1%となる。また、本研究の%LBM高値群の%LBMは80.8%であり、ほぼ等しい。一方、%LBM中間値群と%LBM低値群の%LBMは、それぞれ76.0%、71.7%であり、先行研究¹²⁾の%LBMよりも小さい。これらの結果は、%LBMが基礎代謝基準値策定当時の値と同じであるなら、現代若年女性の体重当たりのBMR (kcal/kg 体重/日)に差がなく、%LBMが当時の値よりも小さいことにより、現代若年女性の体重当たりのBMRが小さいということを示唆していると考えられる。

以上2つの検討結果から、BMR (kcal/日)、および体重当たりのBMR (kcal/kg 体重/日)がDRIs-Jの基礎代謝基準値と比較して小さかった理由として、%

LBMの値が基礎代謝基準値策定当時と比べて小さいことが主たる原因であることが示唆された。

しかし、LBMには様々な組織が含まれており、各組織によってエネルギー代謝率が著しく異なっている。たとえば、Elia²¹⁾によれば、肝臓は440kcal/kg 肝臓重量/日、骨格筋においては13kcal/kg 筋重量/日と報告されている。つまり1958～1960年と現在までに、各臓器を含めたLBM当たりのエネルギー代謝率が異なっている可能性も考えられる。そこで、LBM当たりのBMRを算出した。その結果、LBM当たりのBMRは29.0kcal/kgLBM/日であり、本研究の結果 (28.4 ± 2.3kcal/kgLBM/日)と差がないと思われた。つまり、LBM当たりのBMRは基礎代謝基準値策定時と比較して変化しておらず、変化がみられたのは%LBMであることが明らかになった。

ま と め

現代若年成人女性の体重当たりのBMR (kcal/kg 体重/日)はDRIs-Jに記されている値よりも、小さかった。その理由として、基礎代謝基準値策定当時 (1958～1960年)の20歳代女性に比べて、現代の若年女性は%LBMが少ないことが影響していると考えられた。

謝 辞

本研究を実施するに当たり、被験者の招集にご協力いただいた、共立女子大学、実践女子大学、東京農業大学、早稲田大学ほか、多くの皆様にご心より感謝いたします。また貴重なご意見、ご助言をいただきました(独)国立健康・栄養研究所のエネルギー代謝プロジェクトリーダーの田中茂穂博士と早稲田大学スポーツ科学学術院助手の薄井澄子氏に心から感謝いたします。最後に、研究を遂行するに当たり多大な協力をくださった同研究所運動ガイドラインプロジェクトリーダーの宮地元彦博士をはじめとする健康増進プログラムの皆様にご心より厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 厚生労働省：日本人の食事摂取基準 [2005年版], p.29 (2005) 第一出版, 東京
- 2) Tataranni, P. A. and Ravussin, E.: Variability in metabolic rate: biological sites of regulation, *Int. J. Obes.*, 19, 102-106 (1995)
- 3) 健康・栄養情報研究会：第六次改定日本人の栄養所要量 食事摂取基準, p.35 (1999) 第一出版, 東京
- 4) 厚生省公衆衛生局栄養課監修：昭和44年改定日本人の栄養所要量と解説, pp.26-27 (1970) 第一出版, 東京

- 5) 健康・栄養情報研究会編：厚生労働省平成16年国民健康・栄養調査報告, p.146 (2006) 第一出版, 東京
- 6) Cunningham, J. J. : Body composition as a determinant of energy expenditure, a synthetic review and a proposed general prediction equation, *Am. J. Clin. Nutr.*, 54, 963-969 (1991)
- 7) Luke, A. and Schoeller, D. A. : Basal metabolic rate, fat free mass and body cell mass during energy restriction, *Metabolism*, 41, 450-456 (1992)
- 8) Young, V. R. : Energy requirements in the elderly, *Nutr. Rev.*, 50, 95-101 (1992)
- 9) 古川大典：発育期日本人の基礎代謝の研究, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 5, 80-99 (1956)
- 10) 中村勝秀：日本人女子(20歳代)の基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, 12, 13-24 (1959)
- 11) 浦松金吉：日本人の基礎新陳代謝の研究, 四国医学会雑誌, 22, 461-467 (1966)
- 12) Nagamine, S. and Suzuki, S. : Anthropometry and Body Composition of Japanese young men and women, *Hum. Biol.*, 36, 8-15 (1964)
- 13) Weir, J. B. : New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism, *J. Physiol.*, 109, 1-9 (1949)
- 14) 山地啓司：最大酸素摂取量の科学, p.123 (1992) 杏林書院, 東京
- 15) 薄井澄誉子, 金子香織, 岡 純, 田畑 泉, 樋口 満：中高年男女スポーツ愛好者の身体組成と基礎代謝量, 栄養学雑誌, 63, 21-25 (2005)
- 16) 中村 正：体重当たり基礎代謝値の体重の大小による変動の補正についての解説, 栄養学雑誌, 38, 53-61 (1980)
- 17) Lukaski, H. C. : Methods for the assessment of human body composition : traditional and new, *Am. J. Clin. Nutr.*, 46, 537-556 (1987)
- 18) Fogelholm, M. and van Marken Lichtenbelt, W. : Comparison of body composition methods : a literature analysis, *Eur. J. Clin. Nutr.*, 51, 495-503 (1997)
- 19) Jebb, S. A. and Elia, M. : Techniques for the measurement of body composition. A practical guide, *Int. J. Obes.*, 17, 611-621 (1993)
- 20) 沼尻幸吉：活動のエネルギー代謝, p.283 (1987) 労働科学研究所, 東京
- 21) Elia, M. : Organ and tissue contribution to metabolic rate. *In Energy Metabolism : Tissue Determinants and Cellular Corollaries*/Kinney, J. M. and Tucker, H. N. eds., pp.61-80 (1992) Raven Press, New York

(受付：平成19年1月26日, 受理：平成19年6月16日)

原著

若年女性の基礎代謝量は除脂肪量から 簡便に高い精度で推定できる —スポーツ選手と運動習慣のない女性を対象とした研究—

高橋 恵理*, 薄井澄誉子*,**, 田畑 泉***, 樋口 満**

Basal metabolic rate can be easily and accurately estimated by measuring of LBM in young female

Eri Takahashi*, Chiyoko Usui**, Izumi Tabata***, Mitsuru Higuchi**

要 約

若年スポーツ選手及び定期的な運動習慣のない健康な若年女性の基礎代謝量 (Basal metabolic rate : BMR) と身体組成の測定を行い, 除脂肪量 (Lean body mass : LBM) からBMRを高い精度で推定可能かどうかを検討した. 被験者は, 大学体育会に所属する女性42名 (運動群) と運動群と身長を合わせた定期的な運動習慣のない健康な若年女性42名 (非運動群) であった. BMRはダグラスバッグ法にて, LBMは二重エネルギーX線吸収法により測定した. 運動群は非運動群よりもLBMが有意に高かった. 実測されたBMRは運動群が非運動群よりも有意に高かった (1311 ± 138 vs. 1146 ± 81 kcal/日) が, LBM当たりで見ると, BMRは両群間に有意な差が認められなかった (平均値はいずれも 27.8 kcal/kgLBM/日). 国立スポーツ科学センター (JISS) が提示している推定式 [28.5 (kcal/kgLBM/日) \times LBM (kg)] により求めた運動群と非運動群のそれぞれの推定BMR (kcal/日) は, 実測BMRとよく一致していた. 本研究によって, 若年女性においては, スポーツ選手ばかりでなく運動習慣のない若年女性に対しても, JISS推定式によってLBMからBMRを簡便に高い精度で推定できることが明らかとなった.

キーワード: 女性スポーツ選手, 運動習慣のない若年女性, 基礎代謝量, 除脂肪量

* 早稲田大学大学院 人間科学研究科
Graduate School of Human Sciences, Waseda University
〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15
2-579-15, Mikajima, Tokorozawa, Saitama, 359-1192, Japan.

** 早稲田大学 スポーツ科学学術院
Faculty of Sport Sciences, Waseda University
〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15
2-579-15, Mikajima, Tokorozawa, Saitama, 359-1192, Japan.

*** 独立行政法人国立健康・栄養研究所
National Institute of Health and Nutrition
〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1
1-23-1 Toyama, Shinjuku-ku, 162-8636, Tokyo, Japan.

受付日: 2007年5月2日
受諾日: 2007年11月7日

Abstract

The basal metabolic rate (BMR) and lean body mass (LBM) were measured in well trained and height-matched untrained young women. The subjects were 42 female collegiate athletes and 42 untrained women. BMR was measured by using indirect calorimetry. LBM was assessed by dual-energy X-ray absorptiometry. While LBM (47.2 ± 4.2 kg) and BMR (1311 ± 138 kcal/day) in trained women were significantly heavier and higher than in untrained (LBM 41.3 ± 2.7 kg, BMR 1146 ± 81 kcal/day), no significant difference of BMR in terms of kcal/kgLBM/day was observed between the two groups (trained 27.8 ± 2.5 vs. untrained 27.8 ± 2.0 kcal/kgLBM/day). Estimated BMRs obtained by the equation of Japan Institute of Sports Sciences [28.5 (kcal/kgLBM/day) \times LBM(kg)] in trained (1346 ± 121 kcal/day) and untrained (1178 ± 77 kcal/day) were well coincident to measured BMRs, respectively. These results suggest that BMR can be easily and accurately estimated by measuring of LBM in both trained and untrained young women.

Kew words : Female athletes, Untrained young women, Basal metabolic rate, Lean body mass

I. 緒言

食事から適切にエネルギーや各種栄養素を摂取する基準として、厚生労働省が策定している「日本人の食事摂取基準 [2005年版]」⁸⁾ (以下, DRIs-Jと略す) が用いられている。そのなかで、エネルギーの不足のリスク及び過剰のリスクの両者が最も小さくなる摂取量として、推定エネルギー必要量 (Estimated energy requirement : EER) の概念が適用されている。EERとは、確率論的な考え方を適用し、健康で通常の生活活動を営んでいる日本人の大部分を対象として策定されたものである。そして、その基準となる基礎代謝量 (Basal metabolic rate : BMR) は主に脳、および心臓、肝臓、腎臓などの内臓諸器官、さらには骨格筋が生命の維持のために要する代謝エネルギー量であり、消化吸収や筋の緊張のない状態で測定される。多くの研究によって様々な推定式が提案されており、その多くは傾きと切片を用いた一次方程式 ($Y=aX+b$) が主流である¹⁰⁾。

しかし、我が国では、栄養指導やスポーツ栄養の現場でより簡便にBMRを推定できるように、体重に基礎代謝基準値をかけて求める方法が用いられている⁸⁾。この方法は簡便であるが、身体組成が考慮されていないため、精度に問題があると考えられる。BMRに影響を及ぼす因子としても、体重ばかりでなく、身体組成、特に除脂肪量 (Lean body mass : LBM) がBMRに大きな影響を及ぼしていることはよく知られている^{3,12)}。

国立スポーツ科学センター (Japan Institute of Sports Sciences : JISS) で行われたプロジェクト研究報告では、DRIs-Jで提示されている基準となるBMRと標準的な身体組成を考慮するために、LBMを用いてスポーツ選手を対象としたBMRの推定法が提示されている⁷⁾。この推定式は、スポーツのフィールドにおいて、簡便にBMRを推定することを目的として提示されたものである。この推定式を用いてBMRを求め、さらに、身体活動量 (Physical activity level : PAL) を用いてスポーツ選手のエネルギー消費量を求めることにより、推定エネルギー必要量を見積もることができる。これは、スポーツ選手の食事量を検討する際に役立ち、コンディショニングやパフォーマンスの向上につながると考えられる。しかし、JISSで行われたプロジェクトでは、DRIs-Jで提示されている基準値を用いてBMRを推定しており、実測値を用いたものではない。そのため、BMR推定の精度について検討する必要があると思われる。

そこで、本研究では、以上の先行研究を踏まえ、若年女性スポーツ選手と運動習慣のない若年女性のBMRと身体組成の測定を行い、それぞれのグループのBMR (kcal/日, kcal/kg体重/日, kcal/kgLBM/日) を明らかにして、JISS方式による簡便なBMRの推定式が若年女性スポーツ選手および運動習慣のない若年女性のBMR推定にとって妥当かどうかを検討することを目的とした。

II. 方法

A. 被験者

対象とした被験者は大学体育会に所属し、持久性トレーニングや筋力トレーニングを日常的に行っている女性42名(運動群)と、過去の運動習慣に関しても事前にアンケート調査を行い、1年以上定期的な運動習慣がなく、やせ(Body mass index: BMI < 18.5)や肥満(BMI ≥ 25.0)と判定されない健康な若年女性42名(非運動群)の合計84名である。運動群に分類された被験者はサッカー部、ラクロス部、チアリーディング部、バスケットボール部、ボート部に所属する選手であり、非運動群の被験者は高橋ら¹³⁾の先行研究で対象となった運動習慣のない若年女性のなかから、運動群と身長に差が出ないように選抜した人々である。

本研究は、独立行政法人国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。測定に当たって、対象者に測定の目的、利益、不利益、危険性、データ管理や公表について説明を行い、書面による同意を得た。

B. 体格と身体組成の測定

身長、体重は排尿を済ませた早朝空腹時に測定し、BMIを算出した。体脂肪量、除脂肪量の測定には、二重エネルギーX線吸収法(Dual-energy X-ray absorptiometry: DXA法, QDR-4500, Hologic社製)を用いて^{4, 5)}、軟部組織のうちLBM(骨塩量を除いた)と骨塩量(kg)の和として求めた。

C. 基礎代謝量(BMR)の測定

測定は月経周期の事前の聞き取りを行い、実験日を調節し、月経第1日目から起算して第5~14日の卵胞期に実施した。各被験者には測定前日は激しい運動を避け、前夜の午後9時までに通常通りの夕食を摂り、その後は水以外の飲食はしないように指示した。被験者は、測定日当日には朝食を食べずに被験者室に8時に来所し、9時から測定を開始した。室温は平均23 ± 2℃の条件下において、覚醒・仰臥安静状態で基礎体温と心拍数を計測した後に、BMRを測定した。BMRの測定はルドルフマスクを装着後30分以上仰臥させた後、仰臥位のまま、ダグラスバッグに10分間の呼気を5分間のインターバル

をおいて2回採取した。

基礎体温は覚醒・安静状態で、25分経過したときに5分間、基礎体温計を用いて測定を行い、36℃前後であることを確認してからBMRの測定を行った。また、心拍数は手首の内側に人差し指を当て、15秒間拍動を数え4倍し、60拍前後であることを確認してからBMRの測定を行った。

呼気は採取後、直ちにガスメーター(DC-50, 品川製作所製)にて換気量を測定するとともに、質量分析計(ARCO-1000, アルコシステム社製)を用いて酸素および二酸化炭素の濃度を分析して酸素摂取量(L/分)を算出し、Weir¹⁶⁾の式により1分当たりのBMR(kcal/分)を求めた。さらに1440(分)を積算し、1日当たりのBMRとした。

D. 血液検査

採血は早朝空腹時に実施し、ヘモグロビン濃度、ヘマトクリット値、トリヨードチロニン(Triiodothyronine: T₃)濃度を測定した。血液分析は(株)三菱化学ビーシーエルに委託した。ヘモグロビン濃度およびヘマトクリット値は自動血球分析装置を使用し、T₃濃度はECLIA法を用いて分析した。

E. 最高酸素摂取量(Vo₂peak)

モナーク社製自転車エルゴメーターを用いて、ペダルの回転数を60rpmに設定し、漸増負荷法によりVo₂peakを測定した。60Wで5分間のウォーミングアップを行わせ、その後1分毎に、15Wずつ負荷を増加し、疲労困憊に至らしめた。酸素摂取量を求めるための呼気ガスの採取は、ダグラスバッグにて行い、呼気ガスの分析は、基礎代謝測定と同様に質量分析計およびガスメーターによって行った¹⁴⁾。

F. JISS方式によるBMRの推定

実測されたLBMからのBMRの推定はJISSによって提示されている以下の推定式を用いて行った⁷⁾。

$$\text{BMR(kcal/日)} = 28.5(\text{kcal/kgLBM/日}) \times \text{LBM(kg)}$$

G. 統計処理

すべてのデータは平均値と標準偏差(mean ± SD)で表した。本研究で得られた各指標の統計処理は、

Microsoft Excel XP (Microsoft社), Sigma stat 2.0 (SPSS社) にて行った。各項目における2群間の平均値の差の検定は、対応のないt-testを用いた。また、相関関係は、回帰分析を行い、Pearsonの相関係数を求めた。2群間の回帰直線の差の検定は、傾きの差の検定およびy切片の差の検定を用いて分析した。さらに、実測BMRと推定BMRにおける平均値の差の検定には、対応のあるt-testを用い、それら2項目の関係性については、Bland-Altmanの分析法を用いた。有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結果

A. 被験者の特徴

本研究で対象とした被験者の特徴を表1に示した。運動群は非運動群よりも体重が重く、BMIも高かった。運動群のLBM、そしてVo₂peakは非運動群よりも有意に高く、体脂肪率は有意に低かった。

B. 実測BMR

本研究で測定した被験者のBMRを表2に示した。実測されたBMR (kcal/日) は運動群が非運動群よりも有意に高かった。体重当たりのBMR (kcal/kg体重/日) も運動群が非運動群よりも有意に高かった。しかし、LBM当たりでみたBMR (kcal/kgLBM/日) は両群間に有意な差が認められなかった。

C. 実測BMRとLBMの関係

非運動群と運動群のそれぞれについて、まず、BMR (kcal/日) と体重 (kg) との関係を検討したところ、いずれの群においても有意な正の相関関係が認められた (運動群: n=42, Y=14.3X+466, r=0.60, P<0.001, 非運動群: n=42, Y=6.72X+780, r=0.35, P<0.05)。次に、BMR (kcal/日) とLBM (kg) との関係を検討したところ、いずれの群でも有意な正の相関関係が認められた (運動群: n=42, Y=19.8X+375, r=0.61, P<0.001, 非運動群: n=42, Y=14.2X+558, r=0.47, P<0.01)。また、

表1 被験者の身体的特徴
運動群と非運動群の身体的特徴を平均値±標準偏差で示したもの。

		運動群		非運動群	
年齢	(歳)	21.3 ± 1.7	(19.1-29.5)	23.5 ± 2.1	(20.8-29.8)
身長	(cm)	164.9 ± 5.9	(149.8-181.0)	163.6 ± 3.6	(158.1-172.6)
体重	(kg)	58.9 ± 5.8	(48.8-72.1)	54.4 ± 4.2 ^{***}	(47.1-64.8)
BMI	(kg/m ²)	21.6 ± 1.6	(18.8-24.9)	20.3 ± 1.5 ^{***}	(18.5-23.7)
LBM	(kg)	47.2 ± 4.2	(38.8-55.1)	41.3 ± 2.7 ^{***}	(39.9-43.5)
FM	(kg)	12.5 ± 2.8	(7.6-18.6)	13.9 ± 2.7 [*]	(8.2-19.4)
体脂肪率	(%)	20.8 ± 3.4	(15.3-27.8)	25.0 ± 3.7 ^{***}	(14.3-33.3)
最高酸素摂取量	(ml/kg/分)	42.2 ± 6.2	(26.5-52.1)	34.5 ± 5.0 ^{***}	(25.4-44.3)

運動群 n=42, 非運動群 n=42

平均値±標準偏差(範囲), BMI: body mass index, LBM: 除脂肪量, FM: 脂肪量

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

表2 基礎代謝量

運動群と非運動群の基礎代謝量とJISS方式を用いて推定したBMR (kcal/日) を平均値±標準偏差で示したもの。

		運動群	非運動群
実測基礎代謝量	(kcal/日)	1311 ± 138	1146 ± 81 ^{***}
	(kcal/kg体重/日)	22.3 ± 2.1	21.1 ± 1.8 ^{**}
	(kcal/kgLBM/日)	27.8 ± 2.5	27.8 ± 2.0
推定基礎代謝量	(kcal/日)	1346 ± 121	1178 ± 77 ^{***}

運動群 n=42, 非運動群 n=42

平均値±標準偏差, LBM: 除脂肪量

推定基礎代謝量: JISS方式 = 28.5(kcal/kgLBM/日) × LBM(kg)

* p<0.05, ** p<0.01, *** p<0.001

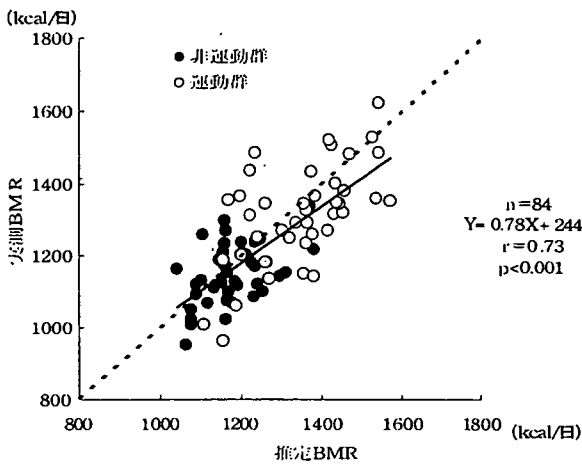


図1 実測BMRとJISS方式を用いた推定BMRの関係

被験者各個人の実測BMR(kcal/日)とJISS方式を用いて推定BMR(kcal/日)を散布図にした。また、全被験者(84名)に関する基礎代謝量と推定基礎代謝量との回帰直線と式を加えた。

JISS:国立スポーツ科学センター, BMR:基礎代謝量

非運動群と運動群の回帰式における切片と傾きのそれぞれに有意な差は認められなかった。そこで、両群を合わせた全被験者を対象として検討したところ、BMR(kcal/日)とLBM(kg)との間に有意な相関関係が認められた(n=84, Y=22.2X+244, r=0.73, P<0.001)。

D. 実測BMRと推定BMRの関係

BMR推定式(JISS方式)から求めた運動群と非運動群のそれぞれの推定BMR(kcal/日)は、実測BMRと有意な差がみられなかった(表2)。

全被験者の実測BMRと推定BMRの関係を検討したところ、図1に示すように、有意な正の相関関係が認められた。また、Bland-Altmanの分析によっても、実測BMRと推定BMRの値の差は、BMRの大小による偏りがないことが確認された(図2)。

E. 血液指標

運動群と非運動群の血液指標は、ヘモグロビン(成人女性の基準値:11.5~15.0g/dl, 以下同様)がそれぞれ12.9±0.8g/dl, 13.0±0.8g/dl, ヘマトクリット(34.8~45.0%)が39.9±2.5%, 39.8±2.0%であり、いずれの被験者もこれらの項目において正常範囲内であった。また、甲状腺機能の指標であるT₃(76-177ng/dl)についても、運動群(104±13ng/dl), 非運動群(109±17ng/dl)の

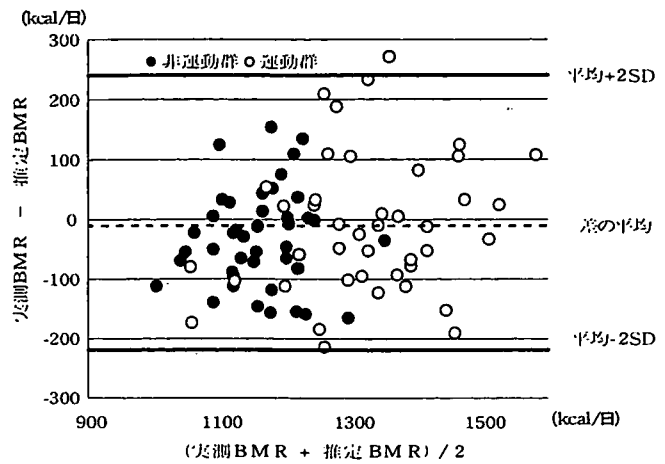


図2 Bland-Altman の分析

被験者各個人の基礎代謝量(実測BMR:kcal/日)とJISS方式による、推定BMR(kcal/日)の平均値と、その差を散布図にした。

JISS:国立スポーツ科学センター, BMR:基礎代謝量

すべての被験者が基準値内であった。なお、いずれの血液指標も運動群と非運動群の間に有意な差はみられなかった。

IV. 考察

一般的に、スポーツ選手は一般人よりも体格の大きな人が多い傾向であり、本研究で対象となったボート競技やバスケットボール競技を行っている選手に、そのような傾向が顕著にみられた。そこで、本研究では体格を規定する一要素である身長について、運動群に合わせて非運動群を選抜し、BMRとLBMの関連について検討した。

表1に示されているように、運動群、非運動群の体位はDRIs-Jに示されている20歳代女性の基準体位(身長:157.7cm, 体重:50.0kg)よりも明らかに大きかった。また、運動群は非運動群と比較してLBMが著しく多かったが、体脂肪量はやや少ないだけであり、体脂肪率が有意に低くなっていた。さらに、体重当たりで示したVo₂peakも、運動群が非運動群よりも平均値で22%高かった。これらのデータから、運動群に属するほとんどの被験者が日常的にエアロビックとレジスタンスの両要素を含むトレーニングを行っていることが確認された。

実測した運動群のBMR(kcal/日)は非運動群よりも高く、体重当たりでも同様な傾向が認められた(表2)。その理由としては、運動群に属する被験者は、非運動群よりも、エネルギー代謝率が低い脂肪組織がやや少

なく、エネルギー代謝率が高いLBMが著しく多いという、両群の身体組成の違いによるものと考えられる。本研究のBMR測定においては、測定前24時間以上の身体運動を制限し、12時間以上の絶食を行っている。したがって、実測されたBMRには、一過性の運動や食事などの刺激による各組織・器官のエネルギー代謝率の亢進の影響がないと考えられる。

表2に示されているように、運動群、非運動群いずれも、体重当たりで示したBMR (kcal/kg体重/日)はDRIs-Jの20歳代基準女性の基礎代謝基準値(23.6kcal/kg体重/日)よりも低くなっていた。このように、本研究の被験者において運動群、非運動群いずれでも、BMR (kcal/kg体重/日)が基準値よりも低くなっていた理由としては体格や身体組成の影響が考えられる。一般的な傾向として、体格の大きい人々では、体重当たりやLBM当たりで示したBMR (kcal/kg体重/日, kcal/kgLBM/日)は、体格の小さい人々よりも低くなる傾向があることが、中高年者で報告されている¹⁰⁾。また、現代の若年女性は体脂肪率が増加し、DRIs-Jで示されている基礎代謝基準値よりも低くなっていることも報告されている¹⁰⁾。本研究において、実測されたBMR (kcal/kg体重/日)は、非運動群では運動群よりもさらに低くなっていたが、それは非運動群の体脂肪率が運動群よりも高かったことが反映されていると考えられる。

JISSより、DRIs-Jで示されている基礎代謝基準値(18~29歳)と日本人の一般的な体格を参考に、LBM当たりのBMRが算出され、BMRの推定式(BMR(kcal/日) = 28.5(kcal/kgLBM/日) × LBM(kg))が提案されている⁷⁾。本研究では、BMRとLBMの実測によって、 $Y = aX + b$ (Y: 推定BMR, X: 実測LBM)の式を導くことができたが、より多くのスポーツ場面で、栄養・食事指導に活用するためには、より簡便な推定式が有用であると思われる。そこで、簡便にBMRを推定することのできる方式として提示されているJISS方式について、精度の検証を行った。

本研究において実測したBMRをLBM当たりでみると、運動群、非運動群とも平均値で27.8kcal/kgLBM/日であった。この値はJISS方式で採用されているLBM当たりのBMR値(28.5kcal/kgLBM/日)よりもやや低くなっており、この値を用いた推定BMR(kcal/日)は実測値より、それぞれの群で約2.5%高くなっていた。こ

の理由としては、JISS方式を策定する際に用いたDRIs-Jの基礎代謝基準値が実際よりも少し高かった可能性が考えられる。しかし、統計的には有意な差ではなかった。そして、実測BMRと推定BMRの間には非常に強い正の相関関係が認められた(図1)。また、Bland-Altmanの分析手法(図2)によっても、BMRの大小による実測BMRと推定BMRの差の偏りは認められなかった。

本研究の結果から、JISS方式によるスポーツ選手のBMRの推定式は、若年女性スポーツ選手のBMRをかなりよく推定できるばかりでなく、運動習慣のない健康な若年女性のBMRの推定においても適用可能であることが示唆された。つまり、本研究で得られた結果は、健康な若年女性において、BMR(kcal/日)は体格や心肺体力の差、さらに運動習慣の有無に関係なく、個人のLBMを適正に測定・評価することができれば、高い精度でBMRを推定できることが示唆された。

しかし、体重当たりやLBM当たりで示したBMRが体格の大きい人々では体格の小さい人々よりも低くなる傾向があることはよく知られている^{6, 10)}。成人を対象としてBMRと組織・器官について検討した先行研究⁶⁾から、高エネルギー代謝率を示す組織と低エネルギー代謝率を示す組織の割合が、LBMとBMR(kcal/kgLBM/日)の関係に影響すると報告されているので、LBMが極端に多い、あるいは極端に少ない場合については、今後さらに検討する必要があると思われる。

先行研究により、安静状態における各組織のエネルギー代謝率が報告されており、LBMのなかでも、心臓や腎臓(440kcal/kg/日)、肝臓(200kcal/kg/日)など内臓諸器官は高いエネルギー代謝率を持つが、LBMのなかで最も重量が多い骨格筋(13kcal/kg/日)は、内臓諸器官に比べてエネルギー代謝率が低くなっており、脂肪組織(4.5kcal/kg/日)は骨格筋よりもさらにエネルギー代謝率が低いことが報告されている⁹⁾。これら内臓諸器官や組織の安静時エネルギー代謝率に、それぞれの重量を見積もり、掛け合わせることによって、各組織のエネルギー代謝量が評価されている⁹⁾。

本研究で対象となった若年女性スポーツ選手は非運動群に属する若年女性よりも、平均LBMが5.9kgも多くなっていた。もし、この差がすべて比較的エネルギー代謝率が低い組織である骨格筋の重量であったと仮定すれば、以下のような計算になる。

$$13\text{kcal/kg/日} \times 5.9\text{kg} = 77\text{kcal/日} \text{--- (1)}$$

また、エネルギー代謝率が非常に低い脂肪組織の重量は、運動群が非運動群よりも平均で1.4kg少なかったため、脂肪組織のエネルギー代謝量の差は以下のような値になる。

$$4.5\text{kcal/kg/日} \times -1.4\text{kg} = -6.3\text{kcal/日} \text{--- (2)}$$

したがって、運動群と非運動群のLBMの差をすべて筋肉組織量の差とし、脂肪組織量の差も考慮すれば、BMRの差は以下のようになる。

$$(1) + (2) = 71\text{kcal/日} \text{--- (3)}$$

つまり、BMR (kcal/日)は運動群が非運動群よりも71kcal/日だけ高くなっているはずである。

一方、本研究で実測されたLBM 1kg当たりのエネルギー代謝率は運動群、非運動群いずれも、ほぼ28 kcal/kgLBM/日であった。

表1からも分かるように、運動群と非運動群の実測BMRの平均値の差は173kcal/日であり、(3)の値とは約100kcalの差が認められた。この事実は、運動群と非運動群の間のLBMの差が、骨格筋量の差のみでは説明できないことを間接的に示唆している。

今回の研究では組織・器官レベルまでの検討は行っていないので、断定的なことは言えないが、本研究で得られた運動群と非運動群のBMRとLBMの結果は、緑川らの研究^{9, 10)}で報告されているように、日常的な運動トレーニングによる身体組成の変化に対応したBMR (kcal/日)の上昇は、LBMを構成する低エネルギー代謝組織である骨格筋の重量増加のみによってエネルギー代謝が増加するわけではなく、高エネルギー代謝組織である内臓諸器官の重量増加に伴うエネルギー代謝 (BMR)の上昇も影響している可能性が考えられる。

以上に示したように、本研究によって、スポーツ選手を含む若年女性においては、JISS 推定式であるBMR (kcal/日)=28.5(kcal/kgLBM/日)×LBM(kg)を用いることによって、実測値に近いBMRを推定できることが明らかとなった。

参考文献

- 1) Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*. 8:307-310. 1986.
- 2) Elia M: Organ and tissue contribution to metabolic rate. In: Kinney JM, Tucker HN eds. *Energy Metabolism: Tissue determinants and cellular corollaries*. pp. 61-80. New York: Raven Press. 1992.
- 3) Fukagawa NK, Bndini LG, Young JB: Effect of age on body composition and resting metabolic rate. *Am. J. Physiol.* 259:E233-238. 1990.
- 4) Haarbø J, Gotfredsen A, Hassager C, Christiansen C: Validation of body composition by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). *Clin. Physiol.* 11:331-341. 1991.
- 5) Hansen NJ, Lohman TG, Going SB, Hall MC, Pamerter RW, Bare LA, Boyden TW, Houtkooper LB: Prediction of body composition in premenopausal females from dual-energy X-ray absorptiometry. *J. Appl. Physiol.* 75:1637-1641. 1993.
- 6) Heymsfield SB, Gallagher D, Kotler DP, Wang Z, Allison DB, Heshka S: Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to nonenergetic homogeneity of fat-free mass. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 282:E132-138. 2002.
- 7) 小清水孝子, 柳沢香絵, 樋口満: スポーツ選手の推定エネルギー必要量, *トレーニング科学* 17:245-250. 2005.
- 8) 厚生労働省策定: 日本人の食事摂取基準 (2005年版), 第一出版, 2005.
- 9) Midorikawa T, Sekiguchi O, Beekley MD, Bembem MG, Abe T: A comparison of organ-tissue level body composition between college-age male athletes and nonathletes. *Int. J. Sports Med.* 27:1-6. 2006.
- 10) Midorikawa T, Kondo M, Beekley MD, Koizumi K, Abe T: High REE in Sumo wrestlers attributed to large organ-tissue mass. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39:688-693. 2007.
- 11) Miyachi M, Tanaka H, Yamamoto K, Yoshioka A, Takahashi K, Onodera S: Effect of one-legged endurance training on femoral arterial and venous size in health humans. *J. Appl. Physiol.* 90:2439-2444. 2001.
- 12) Ravussin E, Bogardus C: Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am. J. Clin. Nutr.* 49:968-975. 1989.
- 13) 高橋恵理, 樋口満, 細川優, 田畑泉: 若年成人女性の基礎代謝量と身体組成. *栄養学雑誌* 65:241-247. 2007.
- 14) 薄井澄登子, 金子香織, 岡純, 田畑泉, 樋口満: 中高年男女スポーツ愛好者の身体組成と基礎代謝量. *栄養学雑誌* 63:21-25. 2005.
- 15) Wang Z, Heshka S, Gallagher D, Boozer CN, Kotler DP, Heymsfield SB: Resting energy expenditure-fat-free mass relationship: new insights provided by body composition modeling. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 279:E539-545. 2000.
- 16) Weir JB: New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J. Physiol.* 109:1-9. 1949.

Effects of age on ventilatory threshold and peak oxygen uptake normalised for regional skeletal muscle mass in Japanese men and women aged 20–80 years

Kiyoshi Sanada · Tsutomu Kuchiki · Motohiko Miyachi · Kelly McGrath · Mitsuru Higuchi · Hiroshi Ebashi

Accepted: 30 November 2006 / Published online: 22 December 2006
© Springer-Verlag 2006

Abstract Ventilatory threshold (VT) is an important predictor of cardiorespiratory fitness, such as peak oxygen uptake ($\dot{V}_{O_{2peak}}$), and is a valuable index of aerobic exercise intensity. However, little is known about the role of skeletal muscle (SM) mass in the age-associated decline of VT. Therefore, the present study was performed to investigate the effects of age on cardiopulmonary fitness normalised for regional SM mass in 1,463 Japanese men and women, and to determine the relevance of VT normalised to SM mass based on age and gender. Total, trunk and thigh SM mass were measured using an ultrasound method,

while $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and VT were determined during treadmill walking. $\dot{V}_{O_{2peak}}$ was estimated using the predicted maximum heart rate (HR) and the HR- \dot{V}_{O_2} relationship for sub-maximal treadmill walking. There were significant negative correlations between VT normalised for body mass and age in men and women ($P < 0.001$). Age-associated declines were also observed in VT normalised for body mass in both men and women; however, VT normalised for SM mass was not significantly different with age. Significant correlations were also observed between thigh SM mass and VT in both men and women. These results suggest that thigh SM mass is closely associated with $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and/or VT in both men and women, and the decrease in VT with age is predominantly due to an age-related decline of SM mass. Moreover, this study provides normative cardiorespiratory fitness data regarding VT normalised SM mass in healthy men and women aged 20–80 years.

K. Sanada (✉)
Consolidated Research Institute for Advanced Science
and Medical Care, Waseda University,
513 Wasedaturumaki-cho, Shinjuku-ku,
Tokyo 162-0041, Japan
e-mail: sanada@waseda.jp

T. Kuchiki
Division of Integrated Humanistic and Cultural Studies,
Graduate School of Integrated Science and Art,
University of East Asia, Shimonoseki, Japan

M. Miyachi
National Institute of Health and Nutrition, Tokyo, Japan

K. McGrath
Department of Physiological Sciences and Sports
Performance, National Institute of Fitness and Sports,
Kanoya, Japan

M. Higuchi
Faculty of Sport Sciences, Waseda University, Tokorozawa,
Japan

H. Ebashi
Faculty of Integrated Cultures and Humanities,
University of East Asia, Shimonoseki, Japan

Keywords Age · Anaerobic threshold · Gender · Skeletal muscle mass · Ultrasound · $\dot{V}_{O_{2peak}}$

Introduction

Low levels of cardiorespiratory fitness, such as peak oxygen uptake ($\dot{V}_{O_{2peak}}$), are risk factors for future cardiovascular mortality, as well as mortality of all causes in middle-aged and elderly men and women (Blair et al. 1995, 1989; Fletcher et al. 1996). Although measurement of $\dot{V}_{O_{2peak}}$ is important to classify an individual's health risk, the accurate determination of $\dot{V}_{O_{2peak}}$ requires a maximum graded exercise test (GXT) performed on a treadmill or cycle ergometer. However, GXT are accompanied by a certain degree

of risk, such as myocardial infarction, and the need to consider the subject's motivation even in healthy middle-aged and older individuals (American College of Sports Medicine 1995). Therefore, predicted maximal heart rates (HR), such as 220 minus age, are commonly used to estimate $\dot{V}_{O_{2peak}}$ using the HR- \dot{V}_{O_2} relationship during sub-maximal exercise (McArdle 2001). The ventilatory threshold (VT) has been defined as the point when the changes in ventilation (VE) are disproportionately greater than the changes in \dot{V}_{O_2} with increasing workloads which occurs at the lactate acidosis threshold (Wasserman et al. 2005). The VT can be used directly and accurately as a measure of cardiorespiratory fitness (Gaskill et al. 2001), and is also useful for evaluating the training effect in low to moderate intensity physical exercise (Zhang et al. 2003). Furthermore, it has been shown that the changes in VT in low to moderate exercise are associated with cardiac autonomic nervous function, which may be used clinically as a predictor of cardiovascular morbidity and mortality (Tuomainen et al. 2005). Thus, when studying the effects of aging on cardiorespiratory fitness, both $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and VT are key factors.

The age-related decline of $\dot{V}_{O_{2peak}}$ has been attributed to changes in body composition, especially a loss of skeletal muscle (SM) mass, or sarcopenia (Fleg and Lakatta 1988; Frontera et al. 2000; Proctor and Joyner 1997). SM mass is important for understanding the decline in $\dot{V}_{O_{2peak}}$ with age, because the arterial-venous difference for oxygen in SM is one of the determinant factors of $\dot{V}_{O_{2peak}}$ according to the Fick principle. Previously, we reported that lower body SM mass measured by magnetic resonance imaging (MRI) was strongly correlated with $\dot{V}_{O_{2peak}}$ during running (Sanada et al. 2005), independent of body mass and fat-free body mass (FFM). However, to our knowledge, there is no evidence supporting the relationship between VT and total or regional SM mass as a function of age in a large population. Therefore, it is necessary to clarify what factors are important for normalisation (i.e., body mass, FFM, SM mass) in order to accurately evaluate VT.

It is difficult to accurately quantify total and regional SM mass because it requires the use of MRI or computerised tomography (the gold standard), which are costly and time-consuming for analysis. Recently, our laboratory developed several regression-based prediction equations (Sanada et al. 2006) of SM mass based on B-mode ultrasound of muscle thickness (MTH). We have further demonstrated that use of these equations are a valid method for predicting SM mass in healthy Japanese adults, and a viable alternative to costly MRI measurements. Ultrasound has been widely employed

for measuring SM size in vivo (Abe et al. 1994; Kubo et al. 2003; Reimers et al. 1998). This method is practical for large-scale studies, most notably because of its portability (~10 kg) and ease of taking measurements in the field.

The purpose of the present study was twofold: (1) to investigate the effects of age on cardiorespiratory fitness normalised for regional SM mass, and (2) to determine the relevance of VT normalised to SM mass based on age and gender.

Methods

Subjects

Fourteen hundred and sixty-three healthy Japanese men and women aged 20–80 years participated in this study (807 men and 656 women, 49.3 ± 13.5 years). None of the subjects were taking any medications known to affect the study variables, such as beta-blockers or hormone replacement therapy, and all subjects were members of a fitness club. Most of the subjects routinely performed moderate aerobic and/or resistance exercises. The purpose, procedures and risks were explained to each participant, and all subjects gave their written informed consent before participating in the study approved by the Ethical Commission of Waseda University. Subjects with any of the following conditions were excluded from the study: significant cardiovascular or pulmonary disease, uncontrolled metabolic disease (diabetes, anaemia, or thyroid disease), or electrolyte abnormalities.

Measurement of $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and VT

We measured the body mass, height and waist circumference of all subjects before measurement of $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and VT. \dot{V}_{O_2} during a treadmill walking test was measured using an automated breath-by-breath mass spectrometry system (Aeromonitor AE-280S; Minato Medical Science, Tokyo, Japan). Subjects warmed-up at 40 m min^{-1} on a 4% grade for 3 min. Then, the treadmill speed and grade were increased by 15 m min^{-1} or 5% alternately for each successive minute of walking until subjects reached approximately 85% of their maximum HR (220 minus age). We developed this protocol based on the metabolic equations for gross \dot{V}_{O_2} (American College of Sports Medicine 1990). Previously, we validated this protocol in 104 healthy middle-aged and older men and women (Sanada et al. 1997). Lehmann et al. (1997) confirmed that the treadmill exercise protocol designed on a

theoretical basis to span a range of 0–200 W in increments of approximately 25 W by alteration of either speed or grade from one stage to the next should correspond to a standard bicycle protocol consisting of 25-W steps. $\dot{V}O_2$ during walking was calculated every 30 s. The electrocardiograph was monitored constantly during the exercise session and was also used to measure HR at intervals of 30 s. Ratings of perceived exertion (RPE) were also recorded every minute during exercise. $\dot{V}O_{2peak}$ was estimated from maximum HR using the HR- $\dot{V}O_2$ relationship for sub-maximal exercise. VT was estimated from ventilatory equivalents for oxygen ($\dot{V}E/\dot{V}O_2$) and carbon dioxide ($\dot{V}E/\dot{V}CO_2$) as described previously (Caiozzo et al. 1982). VT was determined from $\dot{V}O_2$ as the point of inflection where the $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ ratio was at its lowest and then increased progressively with further increments in treadmill work rate, while at the same time $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ reached a plateau or declined. The modified V-slope method where $\dot{V}CO_2$ was plotted against $\dot{V}O_2$ was also used to support the estimate of VT by ventilatory equivalents (Beaver et al. 1986). In this study, 1,367 (755 men and 612 women) subjects met the criteria for attainment of VT. The VT was similar with a small (< 2%) and not significant difference between the observers. The $\dot{V}O_2$ should be proportional to L^2 or $M^{2/3}$, where L is length and M is body mass (Astrand and Rodahl 1977). We applied this calculation for VT and $\dot{V}O_{2peak}$.

Ultrasound MTH and measurements

Ultrasound has been widely employed for accurate measurement of the SM size in vivo, and this method has been shown to be highly reliable and valid in previous studies involving measurement of muscle thickness—MTH (Abe et al. 1994; Fukunaga et al. 2001; Reimers et al. 1998). The MTH determined by B-mode ultrasound was assessed at six sites on the anterior and posterior surfaces of the body, as described previously (Abe et al. 1994). The sites included: the anterior and posterior upper arm, a point 60% distal between the lateral epicondyle of the humerus and the acromial process of the scapula; the abdomen, 2–3 cm to the right of the umbilicus; subscapula, 5 cm directly below the inferior angle of the scapula; anterior and posterior thigh surfaces, midway between the lateral condyle of the femur and the greater trochanter.

Ultrasonographic evaluation of MTH was performed using a real-time linear electronic scanner with a 5 MHz scanning head (SSD-500; Aloka, Tokyo, Japan). The scanning head with water-soluble transmission gel, which provided acoustic contact without depression of the skin surface, was placed perpendicular to the tissue

interface at the marked sites. The MTHs were measured directly from the screen with electronic callipers, and determined as the distance from the adipose tissue-muscle interface to the muscle-bone interface. Total and regional SM mass were estimated using the equations of Sanada et al. (2005). The MTHs were converted to mass units in kilograms by ultrasound-derived prediction equations using site-matched MTH \times height, which were then used to calculate arm, trunk, thigh and lower leg SM mass. Strong correlations were observed between the site-matched SM mass (total, arm, trunk body, thigh and lower leg) for the MRI measurement and MTH \times height (in metres) in the model development group ($r = 0.83$ – 0.96 in men, $r = 0.53$ – 0.91 in women). In addition, the SM mass prediction equations were applied to the validation group, significant correlations were also observed between the MRI-measured and predicted SM mass in vivo (Sanada et al. 2006). Moreover, in another study the reliability of image reconstruction and distance measurements were confirmed by comparing the ultrasonic and manual measurements of tissue thickness in human cadavers, and the coefficient of variation for the MTH measurements was 1% (Kawakami et al. 1993).

Measurement of FFM

FFM was estimated from body density using the subcutaneous fat measurements from B-mode ultrasound, as described previously (Abe et al. 1994). Body density was estimated from measurements at the six subcutaneous fat layer sites, as described in the previous section. The standard error of these estimates using the ultrasound equations was -0.006 g ml^{-1} ($\pm 2.5\%$ body fat) for men and women. Body fat percentage was then calculated from body density using the equation described by Brozek et al. (1963) and FFM was the difference between body mass and fat mass.

Statistical analysis

All measurements and calculated values are expressed as the mean \pm standard deviation. One-way ANOVA was used to compare age decade and gender differences for the following physical characteristics: total or regional SM mass and VT or $\dot{V}O_{2peak}$, body mass, BMI, percent body fat, FFM, waist circumference, total SM mass, trunk SM mass, thigh SM mass and absolute or normalised VT and $\dot{V}O_{2peak}$ (Tables 1, 2, 3, 4). In cases where a significant F value was obtained, Scheffe's post hoc test was performed to identify significant differences among mean values. Pearson's product correlations were calculated between SM mass and $\dot{V}O_{2peak}$ or

Table 1 Physical characteristics of subjects

Gender and age range (years)	<i>n</i>	Body mass (kg)	Fat-free body mass (kg)	Body mass index (kg m ⁻²)	Percent body fat (%)	Waist circumference (cm)
Men						
20–29	55	73.2 ± 10.7 [†]	60.3 ± 5.9 [†]	24.3 ± 3.3	18.2 ± 6.4	73.7 ± 6.7
30–39	110	72.0 ± 9.3 [†]	58.2 ± 6.2 [†]	24.3 ± 2.8	18.8 ± 5.4	75.2 ± 7.8
40–49	205	71.6 ± 9.6 [†]	58.3 ± 6.8 [†]	24.5 ± 3.1	18.2 ± 6.2	77.5 ± 7.2
50–59	205	70.5 ± 9.3 [†]	57.7 ± 6.1 [†]	24.7 ± 2.8	18.0 ± 5.3	80.1 ± 7.8
60–69	167	67.1 ± 7.3	55.3 ± 5.1	24.0 ± 2.2	17.4 ± 3.9	83.3 ± 9.3
70+	65	63.6 ± 5.8	52.9 ± 4.1	23.1 ± 1.7	16.6 ± 3.4	88.1 ± 5.6
All	807	69.9 ± 9.2	57.1 ± 6.2	24.3 ± 2.7	17.9 ± 5.3	87.4 ± 7.7
Women						
20–29	61	53.4 ± 5.8	40.6 ± 3.6	20.6 ± 2.3	23.5 ± 7.1	82.8 ± 9.8 [†]
30–39	158	52.4 ± 7.0	40.1 ± 3.9	20.5 ± 2.5	22.9 ± 6.8	85.7 ± 7.6 [†]
40–49	173	53.3 ± 6.6	40.0 ± 4.1	21.0 ± 2.4	24.2 ± 7.2	87.4 ± 8.3 [†]
50–59	150	53.0 ± 6.7	40.3 ± 3.8	21.4 ± 2.4	23.3 ± 5.8	89.3 ± 7.3
60–69	101	54.0 ± 6.6	40.0 ± 4.4	22.4 ± 2.6	25.8 ± 5.0	87.6 ± 6.6
70+	13	55.4 ± 5.0	41.5 ± 3.5	22.8 ± 2.2	24.9 ± 4.8	86.9 ± 5.9
All	656	53.2 ± 6.6*	40.2 ± 4.0*	21.2 ± 2.5*	23.9 ± 6.4*	78.4 ± 8.4*

[†] Significant difference in the 70- to 79-year-old group ($P < 0.05$)

*Significant difference in all male subjects ($P < 0.05$)

Table 2 Total and regional SM mass in men and women

Gender and age range (years)	<i>n</i>	Total SM mass (kg)	Trunk SM mass (kg)	Thigh SM mass (kg)
Men				
20–29	55	28.1 ± 3.3 [†]	11.6 ± 1.7 [†]	10.5 ± 1.3 [†]
30–39	110	26.5 ± 3.6 [†]	10.8 ± 1.8 [†]	9.9 ± 1.5 [†]
40–49	205	25.7 ± 3.1 [†]	10.4 ± 1.5 [†]	9.6 ± 1.4 [†]
50–59	205	24.8 ± 3.2 [†]	9.9 ± 1.4	9.2 ± 1.4 [†]
60–69	167	23.2 ± 2.5	9.3 ± 1.2	8.6 ± 1.1 [†]
70+	65	21.4 ± 2.1	9.2 ± 1.3	7.8 ± 1.0
All	807	24.8 ± 3.5	10.0 ± 1.6	9.2 ± 1.5
Women				
20–29	61	15.3 ± 2.1	6.3 ± 0.8	5.8 ± 0.8
30–39	158	14.6 ± 2.0	6.0 ± 0.8	5.6 ± 0.8
40–49	173	15.0 ± 2.5	6.1 ± 0.9	5.6 ± 0.9
50–59	150	14.6 ± 2.3	5.9 ± 0.8	5.4 ± 0.8
60–69	101	14.4 ± 2.6	5.9 ± 0.9	5.2 ± 0.9
70+	13	13.9 ± 2.7	5.8 ± 0.7	4.9 ± 1.0
All	656	14.7 ± 2.3*	6.0 ± 0.8*	5.5 ± 0.9*

[†] Significant difference in the 70- to 79-year-old group ($P < 0.05$)

*Significant difference in all male subjects ($P < 0.05$)

VT (Table 5). Quadratic regression was performed on $\dot{V}_{O_{2peak}}$ normalised for body mass and linear regression was performed on VT normalised for body mass in men and women (Fig. 1). The alpha level for testing significance was set at $P < 0.05$. All statistical analyses were completed using Stat View v5.0 for windows (SAS Inc., Cary, NC, USA).

Results

The physical characteristics of the male and female subjects are listed in Table 1. Subjects varied in age

from 20 to 80 years and body mass index (BMI) from 15.0 to 36.0. The waist circumference increased with age in both genders, but not the % body fat. These results suggest that the accumulation of body fat occurs in abdominal area with age. The reference values for SM mass using the ultrasound method are shown in Table 2. The men had significantly higher SM ($P < 0.001$) in comparison with the women in total, trunk and thigh. Age-associated declines were observed in total, trunk and thigh SM mass in men, but not in women. Tables 3 and 4 show the values for $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and VT in each gender and age group. Age-associated declines were observed for $\dot{V}_{O_{2peak}}$ normalised for body mass as well as normalised for SM mass (Table 3) in both men and women. Age-associated decline of the absolute VT was observed in men, but not in women. This result is associated with gender differences in SM mass (Table 4). Despite the age-associated declines in VT normalised for body mass in both men and women, VT normalised for SM mass was not significantly different with age.

Table 5 shows simple correlation coefficients among age, and aerobic power in men and women. There were significant negative correlations between age and $\dot{V}_{O_{2peak}}$ normalised for body mass in men and women, and between age and VT normalised for body mass in men and women. Moreover, there were significant negative correlations between age and SM mass in both men and women.

Significant negative quadratic regression was observed between age and absolute $\dot{V}_{O_{2peak}}$, while there was a significant negative correlation between age and absolute VT in both men and women (Fig. 1). Signifi-

Table 3 Absolute and normalised $\dot{V}_{O_{2peak}}$ in various age groups

Gender and age range (years)	n	Absolute value (L)	Normalised values					
			Body mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Body mass ^{2/3} (ml kg ^{-2/3} min ⁻¹)	Fat-free body mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Total SM mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Trunk SM mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Thigh SM mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)
Men								
20–29	55	3.44 ± 0.66 [†]	47.2 ± 7.9 [†]	197.1 ± 32.4 [†]	58.7 ± 7.6 [†]	125.9 ± 15.3 [†]	308.5 ± 50.6 [†]	336.4 ± 40.1 [†]
30–39	110	3.15 ± 0.49 [†]	44.3 ± 7.5 [†]	183.3 ± 28.0 [†]	54.1 ± 6.7 [†]	119.8 ± 17.1 [†]	296.8 ± 47.5 [†]	322.2 ± 55.2 [†]
40–49	205	3.04 ± 0.52 [†]	42.6 ± 5.8 [†]	176.3 ± 23.9 [†]	52.3 ± 8.3 [†]	118.7 ± 16.6 [†]	296.7 ± 55.7 [†]	319.9 ± 48.2 [†]
50–59	205	2.71 ± 0.45 [†]	38.7 ± 5.7 [†]	159.7 ± 22.6 [†]	47.2 ± 6.6 [†]	110.6 ± 17.3 [†]	279.2 ± 52.7 [†]	298.6 ± 47.3 [†]
60–69	167	2.39 ± 0.38 [†]	35.7 ± 5.3 [†]	144.8 ± 21.0 [†]	43.2 ± 6.3 [†]	103.7 ± 16.0	260.4 ± 48.2 [†]	280.6 ± 48.0 [†]
70+	65	1.94 ± 0.32	30.7 ± 4.9	122.1 ± 19.5	36.8 ± 5.8	90.9 ± 13.6	214.4 ± 42.4	251.0 ± 41.4
All	807	2.78 ± 0.61	39.8 ± 7.4	163.6 ± 30.9	48.4 ± 9.0	116.6 ± 18.8	315.7 ± 74.2	301.5 ± 53.1
Women								
20–29	61	2.15 ± 0.34 [†]	40.5 ± 6.1 [†]	153.2 ± 22.5 [†]	52.4 ± 8.3 [†]	139.6 ± 22.7 [†]	340.1 ± 65.4 [†]	369.6 ± 66.4 [†]
30–39	158	2.06 ± 0.37 [†]	39.6 ± 6.5 [†]	147.6 ± 23.5 [†]	51.9 ± 7.6 [†]	144.1 ± 24.0 [†]	354.6 ± 75.3 [†]	376.0 ± 60.6 [†]
40–49	173	1.90 ± 0.36	35.9 ± 6.3 [†]	134.3 ± 23.2 [†]	47.6 ± 8.4 [†]	128.5 ± 25.6	317.8 ± 73.1	345.8 ± 66.5
50–59	150	1.76 ± 0.32	33.5 ± 5.7 [†]	125.3 ± 20.8	43.7 ± 6.7 [†]	122.1 ± 21.0	303.5 ± 60.1	332.0 ± 57.5
60–69	101	1.57 ± 0.30	29.1 ± 4.8	109.6 ± 18.0	39.3 ± 6.9	110.8 ± 21.6	270.5 ± 63.6	304.2 ± 63.1
70+	13	1.39 ± 0.26	25.3 ± 5.0	95.2 ± 18.7	33.6 ± 5.7	101.4 ± 28.0	242.6 ± 60.0	297.2 ± 86.4
All	656	1.87 ± 0.39*	35.4 ± 7.2*	132.5 ± 26.2*	46.5 ± 9.0*	128.2 ± 26.1*	278.2 ± 56.5*	343.8 ± 67.6*

[†] Significant difference in the 70- to 79-year-old group ($P < 0.05$)

*Significant difference in all male subjects ($P < 0.05$)

cant correlations were observed between the thigh SM mass and absolute $\dot{V}_{O_{2peak}}$ (Fig. 2) or VT (Fig. 3).

Discussion

To our knowledge, the present study is the first to normalise cardiorespiratory fitness values, including $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and VT, for SM mass using a large population sample. The most notable findings of this study were that absolute $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and VT were closely associated with thigh SM mass independent of age, and the study provided normative cardiorespiratory fitness data based on normalised SM mass in healthy men and women aged 20–80 years. Age-associated declines were also observed in VT normalised for body mass in both men and women; however, VT normalised for SM mass was not significantly different with age. Thus, this cross-sectional study showed that the age-associated declines in VT are markedly blunted if normalised for SM mass rather than body mass. These results suggest that SM mass is closely associated with $\dot{V}_{O_{2peak}}$ or VT in both men and women, and the decrease in VT with age is primarily due to an age-related decline of SM mass.

In cross-sectional studies, the rates of age-related decline in $\dot{V}_{O_{2peak}}$ normalised for body mass using treadmill walking or running were in the range of 0.28–0.46 ml kg⁻¹ min⁻¹ year⁻¹ in men and 0.25–0.57 ml kg⁻¹ min⁻¹ year⁻¹ in women (Fleg and Lakatta 1988; Jackson et al. 1995, 1996; Paterson et al. 1999;

Talbot et al. 2000; Tanaka and Seals 2003; Toth et al. 1994); values for this study were 0.32 and 0.31 ml kg⁻¹ min⁻¹ year⁻¹ in men and women, respectively (Fig. 1). In addition, previous studies have indicated that the rate of decline in VT is approximately one-third of the rate of decline in $\dot{V}_{O_{2peak}}$ (Babcock et al. 1992; Cunningham et al. 1985; Posner et al. 1987). Posner et al. (1987) found the rates of decline in VT were 0.08 and 0.07 ml kg⁻¹ min⁻¹ year⁻¹ in men and women, respectively, which are similar to the values from this study (0.09 and 0.10 ml kg⁻¹ min⁻¹ year⁻¹ Fig. 1). However, there is little scientific information about the effect of age on these cardiorespiratory fitness parameters normalised for regional SM mass. A previous study using dual energy X-ray absorptiometry (DXA) to estimate muscle mass showed some variation with a significant decrease in the $\dot{V}_{O_{2peak}}$ even after normalisation for appendicular muscle mass (Proctor and Joyner 1997). On the other hand, there was no evidence of a decline in VT with age, even when normalised for SM mass. However, in the present study, age-associated declines were also observed for VT normalised for body mass in both men and women. Theoretically, the \dot{V}_{O_2} should be proportional to L^2 or $M^{2/3}$, where L is length and M is body mass. We applied this calculation to VT, and showed that there was an age-related decline in \dot{V}_{O_2} /body mass^{2/3} similarly to \dot{V}_{O_2} /body mass. These results suggest that $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and \dot{V}_{O_2} at VT decrease with age even when taking body dimensions in consideration. This is despite this study showing VT, normalised for SM mass, did not vary

Table 4 Absolute and normalised VT in various age groups

Gender and age range (years)	n	Percentage of $\dot{V}_{O_{2peak}}$ (%)	Absolute value (L)	Normalised values							
				Body mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Body mass ^{2/3} (ml kg ^{-2/3} min ⁻¹)	Fat-free body mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Total SM mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Trunk SM mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	Thigh SM mass (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)		
Men											
20–29	47	48.7 ± 7.8†	1.71 ± 0.34†	23.1 ± 4.2†	97.5 ± 16.9†	28.4 ± 4.9†	60.8 ± 9.8	150.2 ± 30.1	162.4 ± 26.7		
30–39	98	47.4 ± 8.1†	1.48 ± 0.30†	20.6 ± 3.6†	85.6 ± 15.1†	25.5 ± 4.5†	56.4 ± 10.7	139.5 ± 28.1	151.7 ± 32.2		
40–49	195	48.9 ± 7.4†	1.47 ± 0.28†	20.6 ± 3.3†	85.5 ± 13.5†	25.2 ± 4.2†	57.4 ± 8.8	143.8 ± 28.6	154.6 ± 24.4		
50–59	185	51.7 ± 8.2†	1.40 ± 0.28†	19.8 ± 3.3	81.6 ± 14.1†	24.2 ± 4.0†	56.6 ± 10.2	142.7 ± 30.1	153.0 ± 28.5		
60–69	165	53.3 ± 9.3	1.26 ± 0.22†	18.8 ± 3.2	76.1 ± 12.6	22.8 ± 3.8	54.8 ± 10.5	137.2 ± 30.3	148.2 ± 30.0		
70+	65	58.0 ± 10.6	1.11 ± 0.19	17.4 ± 2.3	70.0 ± 9.7	20.9 ± 2.9	51.7 ± 7.5	122.7 ± 25.3	142.8 ± 22.9		
All	755	51.1 ± 8.9	1.39 ± 0.31	19.9 ± 3.5	81.9 ± 15.0	24.3 ± 4.4	56.2 ± 9.9	140.1 ± 29.7	151.9 ± 28.1		
Women											
20–29	47	51.3 ± 8.0	1.09 ± 0.20	20.5 ± 3.4†	76.9 ± 13.0†	27.2 ± 4.8†	71.6 ± 10.7	174.1 ± 34.8	190.5 ± 30.9		
30–39	144	50.4 ± 7.9	1.00 ± 0.22	19.9 ± 3.3†	74.4 ± 12.8†	25.9 ± 4.6†	71.9 ± 13.1	176.9 ± 40.0	187.8 ± 35.2		
40–49	161	54.5 ± 7.9	1.03 ± 0.20	19.4 ± 3.5	72.5 ± 13.2	25.7 ± 4.9†	69.4 ± 14.7	171.4 ± 41.2	186.9 ± 39.1		
50–59	148	55.4 ± 8.0	0.97 ± 0.18	18.4 ± 3.2	68.5 ± 12.1	24.1 ± 4.1	67.0 ± 12.0	165.8 ± 33.2	182.3 ± 32.9		
60–69	100	58.7 ± 9.0	0.90 ± 0.16	16.8 ± 2.5	63.1 ± 9.6	22.7 ± 3.7	63.9 ± 12.3	155.8 ± 34.2	175.3 ± 36.1		
70+	12	60.8 ± 9.9	0.86 ± 0.23	15.4 ± 3.2	55.6 ± 10.9	20.6 ± 4.1	58.6 ± 11.2	139.6 ± 31.8	180.8 ± 68.4		
All	612	54.3 ± 8.6*	1.00 ± 0.21*	18.8 ± 3.5*	70.5 ± 13.1*	24.9 ± 4.7*	68.5 ± 13.3*	168.4 ± 38.1*	183.9 ± 35.7*		

† Significant difference in the 70- to 79-year-old group ($P < 0.05$)* Significant difference in all male subjects ($P < 0.05$)

with age. These results suggest that the age-related decline of VT, defined by treadmill walking is mainly due mainly to a decline of SM mass.

This could be accounted for by the understanding that $\dot{V}_{O_{2peak}}$ is limited by central circulatory capacity, while changes in VT reflect peripheral/metabolic alterations with age, such as a loss of mitochondrial content for oxidative phosphorylation (Coggan et al. 1992b). It has been reported that subjects with a higher lactate threshold (LT) have a higher muscle respiratory capacity (Coggan et al. 1992a), and LT is associated with volume density of mitochondria and the surface density of mitochondrial cristae (Drexler et al. 1992) in human SM in vivo. Moreover, in rat SM, LT is determined by peripheral factors, such as mitochondrial oxidative capacity (Hepple et al. 2003). Paterson et al. (1999) suggested that the lower rate of age-associated decline in VT (compared with $\dot{V}_{O_{2peak}}$) may reflect preserved metabolic function of muscle oxidation and may more closely define endurance capacity, while a greater decline of $\dot{V}_{O_{2peak}}$ may be due to a loss of oxygen delivery capacity. Since it is well known that slow-twitch fibres have a high mitochondrial density and mitochondrial enzyme activity, these findings suggest that the age-related decline in VT defined by treadmill walking may be associated with an age-related decline of SM mass, reflecting a decrease in active tissue, especially a loss of slow-twitch fibres.

Little information is available on the age-related decline of SM mass (*i.e.*, sarcopenia) using direct measurements, such as MRI or CT, the latter of which is the gold standard. In a cross-sectional study using MRI, Janssen et al. reported an age-related decrease of total body SM mass of 0.18 kg year⁻¹ in men and 0.08 kg year⁻¹ in women (Janssen et al. 2000); these values were notably higher than those obtained by ultrasound in the present study (0.12 and 0.01 kg year⁻¹ in men and women, respectively). Despite these variations, both studies showed the same trend with a greater decrease in total SM mass in men compared to women, and both studies had almost identical differences of -0.1 kg year⁻¹ between men and women. In contrast, a longitudinal study by Song et al. indicated that sarcopenia in total SM mass was 0.37 kg year⁻¹ for African American women (Song et al. 2004). In addition to possible ethnic differences, it has been suggested that cross-sectional studies may underestimate actual rates of change in SM mass with age, because these losses may not be linear and could accelerate with age.

The observations of this study are tempered by the limitations inherent to cross-sectional studies. Sta-

Table 5 Simple correlation coefficients among age, body composition, and aerobic power in men and women

	Age (years)	Body mass (kg)	Total SM (kg)	Trunk SM (kg)	Thigh SM (kg)	$\dot{V}O_{2peak}$ (l min ⁻¹)
In men						
Body mass (kg)	-0.28					
Total SM (kg)	-0.49	0.76				
Trunk SM (kg)	-0.42	0.55	0.77			
Thigh SM (kg)	-0.47	0.72	0.91	0.55		
$\dot{V}O_{2peak}$ (l min ⁻¹)	-0.64	0.55	0.66	0.49	0.63	
VT (l min ⁻¹)	-0.45	0.57	0.59	0.43	0.58	0.68
In women						
Body mass (kg)	NS					
Total SM (kg)	-0.09	0.68				
Trunk SM (kg)	-0.11	0.42	0.69			
Thigh SM (kg)	-0.20	0.57	0.85	0.37		
$\dot{V}O_{2peak}$ (l min ⁻¹)	-0.51	0.34	0.41	0.16	0.48	
VT (l min ⁻¹)	-0.30	0.44	0.45	0.20	0.47	0.67

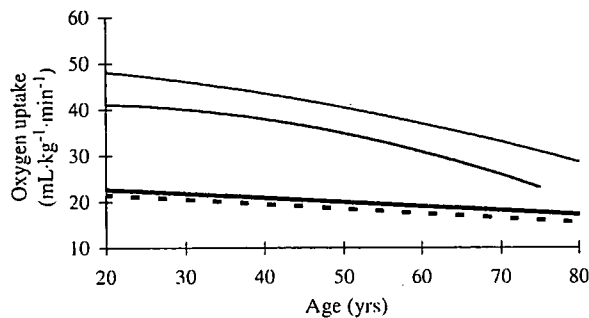


Fig. 1 Relationship between age and cardiorespiratory fitness ($\dot{V}O_{2peak}$ and VT) are shown for men and women. The *thin line* indicates $\dot{V}O_{2peak}$ and the *heavy line* VT. The *solid line* indicates men and the *dashed line* women. Significant quadratic age declines were observed in $\dot{V}O_{2peak}$ in men ($n = 807$, $R^2 = 0.34$, $Y = 50.989 - 0.096x - 0.002x^2$, $P < 0.001$) and women ($n = 656$, $R^2 = 0.32$, $Y = 40.605 - 0.122x - 0.005x^2$, $P < 0.001$). On the other hand, VT declined linearly with age in men ($n = 755$, $R^2 = 0.12$, $Y = 24.549 - 0.091x$, $P < 0.001$) and women ($n = 612$, $R^2 = 0.13$, $Y = 23.623 - 0.102x$, $P < 0.001$)

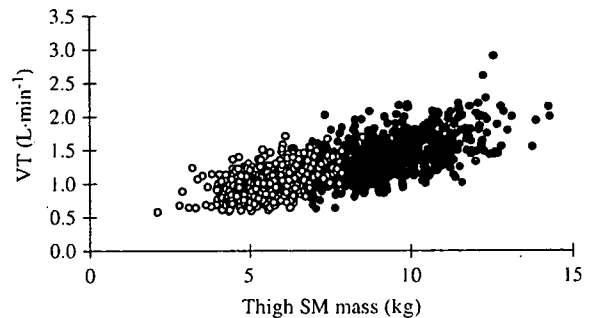


Fig. 3 Relationship between thigh SM mass and VT values in men (closed circles) and women (open circles). Significant correlations were observed between the thigh SM mass and VT. Men; $n = 755$, $y = 0.119x + 0.297$, $r = 0.58$, $P < 0.001$. Women; $n = 612$, $y = 0.112x + 0.382$, $r = 0.47$, $P < 0.001$

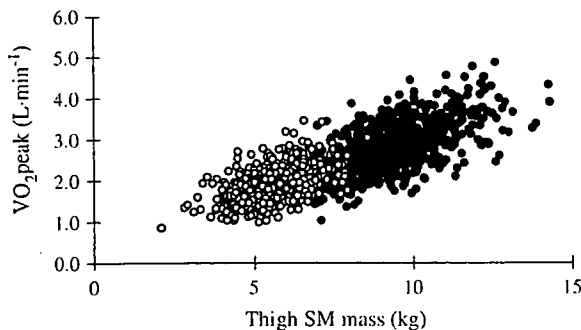


Fig. 2 Relationship between thigh SM mass and $\dot{V}O_{2peak}$ values in men (closed circles) and women (open circles). Significant correlations were observed between the thigh SM mass and $\dot{V}O_{2peak}$. Men; $n = 755$, $y = 0.265x + 0.332$, $r = 0.63$, $P < 0.001$. Women; $n = 620$, $y = 0.215x + 0.681$, $r = 0.48$, $P < 0.001$

thokostas et al. (2004) investigated longitudinal data versus cross-sectional analysis, and showed a greater decline in VT for men ($0.14 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ year}^{-1}$) and women ($0.11 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1} \text{ year}^{-1}$). Second, this study assessed the total or regional SM mass by ultrasound. MTH measurements using ultrasound may not be accurate as compared to MRI, and the measurement of SM size by B-mode ultrasound has limitations because it cannot exclude non-contractile tissue, such as the connective and intra-muscular fat tissue. Third, $\dot{V}O_{2peak}$ was estimated at sub-maximal effort, which may introduce substantial error. However, this study had a large sample size including many middle-aged and older men and women, and there is a certain degree of risk with graded exercise tests (GXT) in subjects with low fitness levels or in the elderly (American College of Sports Medicine 1995). We configured the end point of the GXT to prevent such risks. In addition, Wasserman et al. (1995) noted that in calculating using the V-slope method, the data

above the \dot{V}_{O_2} at which VE/\dot{V}_{CO_2} starts to increase (respiratory compensation point) should not be included. Since we calculated the VT by this method, VT could be estimated at sub-maximal GXT. Moreover, the \dot{V}_{O_2} values at VT in the present study correspond to those reported in previous studies (Posner et al. 1987; Thomas et al. 1985). Finally, the treadmill protocol in this study which alternates the speed and grade has the potential to give a non-linear increase in estimated work rate, because it uses rather large steps to increase the grade. However, we ensured a linear increase in \dot{V}_{O_2} during this protocol in the majority of subjects. Therefore, we might as well to evaluate the ventilatory threshold using our protocol.

In conclusion, we have demonstrated that absolute $\dot{V}_{O_{2peak}}$ and VT were closely associated with thigh SM mass independent of age, body mass and FFM. Age-associated declines were observed in VT normalised for body mass in both men and women, but not VT normalised for SM mass. These results suggest that thigh SM mass was closely associated with $\dot{V}_{O_{2peak}}$ or VT in both men and women, and the decrease in VT with age is due, in part, to an age-related decline of SM mass. Moreover, this study provides normative cardiorespiratory fitness data regarding VT normalised SM mass in healthy men and women aged 20–80 years.

References

- Abe T, Kondo M, Kawakami Y, Fukunaga T (1994) Prediction equations for body composition of Japanese adults by B-mode ultrasound. *Am J Hum Biol* 6:161–170
- American College of Sports Medicine (1995) Guidelines for exercise testing and prescription, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
- American College of Sports Medicine (1990) 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* 22:265–274
- Astrand PO, Rodahl K (1977) Textbook of work physiology. Physiological bases of exercise, McGraw-Hill, NY
- Babcock MA, Paterson DH, Cunningham DA (1992) Influence of ageing on aerobic parameters determined from a ramp test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 65:138–143
- Beaver WL, Wasserman K, Whipp BJ (1986) A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 60:2020–2027
- Blair SN, Kohl HW III, Paffenbarger RS, Jr, Clark DG, Cooper KH, Gibbons LW (1989) Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA* 262:2395–2401
- Blair SN, Kohl HW III, Barlow CE, Paffenbarger RS, Jr, Gibbons LW, Macera CA (1995) Changes in physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy and unhealthy men. *JAMA* 273:1093–1098
- Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A (1963) Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci* 110:113–140
- Caiozzo VJ, Davis JA, Ellis JF, Azus JL, Vandagriff R, Prietto CA, McMaster WC (1982) A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J Appl Physiol* 53:1184–1189
- Coggan AR, Kohrt WM, Spina RJ, Kirwan JP, Bier DM, Holloszy JO (1992a) Plasma glucose kinetics during exercise in subjects with high and low lactate thresholds. *J Appl Physiol* 73:1873–1880
- Coggan AR, Spina RJ, King DS, Rogers MA, Brown M, Nemeth PM, Holloszy JO (1992b) Histochemical and enzymatic comparison of the gastrocnemius muscle of young and elderly men and women. *J Gerontol* 47:B71–B76
- Cunningham DA, Nancekivell EA, Paterson DH, Donner AP, Rechnitzer PA (1985) Ventilation threshold and aging. *J Gerontol* 40:703–707
- Drexler H, Riede U, Munzel T, Konig H, Funke E, Just H (1992) Alterations of skeletal muscle in chronic heart failure. *Circulation* 85:1751–1759
- Fleg JL, Lakatta EG (1988) Role of muscle loss in the age-associated reduction in $V_{O_{2max}}$. *J Appl Physiol* 65:1147–1151
- Fletcher GF, Balady G, Blair SN, Blumenthal J, Caspersen C, Chaitman B, Epstein S, Sivarajan Froelicher ES, Froelicher VF, Pina IL, Pollock ML (1996) Statement on exercise: benefits and recommendations for physical activity programs for all Americans. A statement for health professionals by the Committee on Exercise and Cardiac Rehabilitation of the Council on Clinical Cardiology, American Heart Association. *Circulation* 94:857–862
- Frontera WR, Suh D, Krivickas LS, Hughes VA, Goldstein R, Roubenoff R (2000) Skeletal muscle fiber quality in older men and women. *Am J Physiol Cell Physiol* 279:C611–C618
- Fukunaga T, Miyatani M, Tachi M, Kouzaki M, Kawakami Y, Kanehisa H (2001) Muscle volume is a major determinant of joint torque in humans. *Acta Physiol Scand* 172:249–255
- Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS (2001) Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc* 33:1841–1848
- Heppele RT, Hagen JL, Krause DJ, Jackson CC (2003) Aerobic power declines with aging in rat skeletal muscles perfused at matched convective O_2 delivery. *J Appl Physiol* 94:744–751
- Jackson AS, Beard EF, Wier LT, Ross RM, Stuteville JE, Blair SN (1995) Changes in aerobic power of men, ages 25–70 years. *Med Sci Sports Exerc* 27:113–120
- Jackson AS, Wier LT, Ayers GW, Beard EF, Stuteville JE, Blair SN (1996) Changes in aerobic power of women, ages 20–64 years. *Med Sci Sports Exerc* 28:884–891
- Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R (2000) Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18–88 years. *J Appl Physiol* 89:81–88
- Kawakami Y, Abe T, Fukunaga T (1993) Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *J Appl Physiol* 74:2740–2744
- Kubo K, Kanehisa H, Azuma K, Ishizu M, Kuno SY, Okada M, Fukunaga T (2003) Muscle architectural characteristics in women aged 20–79 years. *Med Sci Sports Exerc* 35:39–44
- Lehmann G, Schmid S, Ammer R, Schomig A, Alt E (1997) Evaluation of a new treadmill exercise protocol. *Chest* 112:98–106
- McArdle W, Katch FI, Katch VL (2001) Exercise physiology: energy, nutrition, and human performance. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia

- Paterson DH, Cunningham DA, Koval JJ, St Croix CM (1999) Aerobic fitness in a population of independently living men and women aged 55–86 years. *Med Sci Sports Exerc* 31:1813–1820
- Posner JD, Gorman KM, Klein HS, Cline CJ (1987) Ventilatory threshold: measurement and variation with age. *J Appl Physiol* 63:1519–1525
- Proctor DN, Joyner MJ (1997) Skeletal muscle mass and the reduction of $V_{O_{2max}}$ in trained older subjects. *J Appl Physiol* 82:1411–1415
- Reimers CD, Harder, T, Saxe H (1998) Age-related muscle atrophy does not affect all muscles and can partly be compensated by physical activity: an ultrasound study. *J Neurol Sci* 159:60–66
- Sanada K, Kuchiki T, Takao Y, Horii M, Kyuunou, S, Hatori Y (1997) References of exercise prescription in ideal old aged that considered to individual differences in fitness levels (in Japanese). *Ono Sports Sci* 5:71–86
- Sanada K, Kearns CF, Kojima K, Abe T (2005) Peak oxygen uptake during running and arm cranking normalized to total and regional skeletal muscle mass measured by magnetic resonance imaging. *Eur J Appl Physiol* 93:687–693
- Sanada K, Kearns CF, Midorikawa, Abe T (2006) Prediction and validation of total and regional skeletal muscle mass by ultrasound in Japanese adults. *Eur J Appl Physiol* 96:24–31
- Song MY, Ruts E, Kim J, Janumala I, Heymsfield S, Gallagher D (2004) Sarcopenia and increased adipose tissue infiltration of muscle in elderly African American women. *Am J Clin Nutr* 79:874–880
- Stathokostas L, Jacob-Johnson S, Petrella RJ, Paterson DH (2004) Longitudinal changes in aerobic power in older men and women. *J Appl Physiol* 97:781–789
- Talbot LA, Metter EJ, Fleg JL (2000) Leisure-time physical activities and their relationship to cardiorespiratory fitness in healthy men and women 18–95 years old. *Med Sci Sports Exerc* 32:417–425
- Tanaka H, Seals DR (2003) Invited review: dynamic exercise performance in Masters athletes: insight into the effects of primary human aging on physiological functional capacity. *J Appl Physiol* 95:2152–2162
- Thomas SG, Cunningham DA, Thompson J, Rechnitzer PA (1985) Exercise training and “ventilation threshold” in elderly. *J Appl Physiol* 59:1472–1476
- Toth MJ, Gardner AW, Ades PA, Poehlman ET (1994) Contribution of body composition and physical activity to age-related decline in peak V_{O_2} in men and women. *J Appl Physiol* 77:647–652
- Tuomainen P, Peuhkurinen K, Kettunen R, Rauramaa R (2005) Regular physical exercise, heart rate variability and turbulence in a 6-year randomized controlled trial in middle-aged men: the DNASCO study. *Life Sci* 77:2723–2734
- Wasserman K, Hansen JE, Sue DY, Stringer WW, Whipp BJ (2005) Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia
- Zhang JG, Ohta T, Ishikawa-Takata K, Tabata I, Miyashita M (2003) Effects of daily activity recorded by pedometer on peak oxygen consumption ($V_{O_{2peak}}$), ventilatory threshold and leg extension power in 30- to 69-year-old Japanese without exercise habit. *Eur J Appl Physiol* 90:109–113