エリート男性競技者の高い基礎代謝量は身体組成に起因する

辰田 和佳子¹, 横田 由香里^{1,3}, 亀井 明子¹, 俵 紀行¹, 川原 貴¹, 田口 素子², 樋口 満²

High basal metabolic rate/fat-free mass ratio in Japanese elite male athletes can be attributed to body composition

Wakako Tatsuta¹, Yukari Yokota^{1,3}, Akiko Kamei¹, Noriyuki Tawara¹,
Takashi Kawahara¹, Motoko Taguchi² and Mitsuru Higuchi²

¹ 国立スポーツ科学センター, 〒115-0056 東京都北区西が丘3-15-1 (*Japan Institute of Sports Sciences, 3-15-1 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo 115-0056, Japan*)

² 早稲田大学スポーツ科学学術院, 〒369-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 (*Faculty of Sports Sciences, Waseda University, 2-579-15 Mikajima, Tokorozawa-city, Saitama 369-1192, Japan*)

³ 大阪体育大学大学院, 〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1 (*Graduate School of Sport Sciences, Osaka University of Health and Sport Sciences, 1-1 Asashirodai, Kumatori-cho, Sennan-gun Osaka 590-0496, Japan*)

Received: January 26, 2012 / Accepted: June 13, 2012

Abstract The aim of the present study was to evaluate the relation between basal metabolic rate (BMR) and body composition in 29 Japanese elite male athletes (age 25.6±3.7y, height 175.6±7.0cm, body weight 74.7±12.8kg, fat-free mass (FFM) 64.9±9.3kg). The subjects were classified into three groups according to their FFM. There was a significant difference in BMR/FFM between S-group (less than 0.5SD of average FFM) and L-group (more than 0.5SD). The percentage of RM to body weight in S-group was significantly higher than in L-group. In conclusion, high basal metabolic rate/fat-free mass ratio in Japanese elite male athletes can be attributed to body composition.

Jpn J Phys Fitness Sports Med, 61(4): 427-433 (2012)

Keywords : basal metabolic rate, male athletes, body composition

緒 言

競技者のコンディショニングにとって、身体活動量に見合う適切なエネルギー摂取は重要な要素となる。また、増量や減量といったウエイトコントロールには、個人に見合ったエネルギー消費量を推定することが、栄養補給量を決定し、栄養計画を立案するために重要となる¹⁻³⁾。競技種目やトレーニング状況によりエネルギー消費量が大きく異なる競技者にとって、食事管理の基準となる推定エネルギー必要量の過小評価は摂取エネルギーの不足を、過大評価は摂取エネルギーの過剰を生じさせる可能性があり、誤差が大きいほどウエイトコントロールや体調の維持を困難とする。

健康な個人または集団については、2010年に厚生労働省より「日本人の食事摂取基準 (2010年度版)」⁴⁾ (dietary reference intake: DRIs) が公表され、基礎代謝量 (basal metabolic rate: BMR) に身体活動レベル (physical activity level: PAL) を乗じて推定エネルギー消費量を算出する方法が用いられている。DRI s では、体重 1 kg あたりのBMR基準値が提示されているが、この基準値

は、各年齢性別の中央値を示す基準体位において実測値に一致するよう決定されているため、基準から大きく外れた体位では推定誤差が大きくなる。競技者のBMRの最も高い説明力を持つ規定因子は、除脂肪量 (fat-free Mass: FFM) であることが報告されていることから⁵⁻⁸⁾、特に身体組成に幅がある競技者については、体重を基準とした推定よりもFFMを基準としてBMRを推定することが、より高い精度での予測を可能にすると考えられる。このため国立スポーツ科学センター (Japan Institute of Sports Sciences: JISS) によって日本人の食事摂取基準 (2005年度版) に示された基礎代謝基準値と日本人の一般的な体格をもとにFFMを基準とした基礎代謝量推定式 (JISS式: $BMR = 28.5kcal \times FFM$) が作成されている^{9,10)}。また田口ら¹¹⁾は、競技者の基礎代謝量はFFMを変数として推定することによりバイアスがなくなることから、大学生女性競技者の実測値に基づいたFFMを変数とした日本人女性競技者向けの式 ($BMR = 27.5kcal \times FFM + 5$) を提示している。日本人女性競技者を対象とした研究⁶⁾では、BMRは体格に関わらずFFMにより評価出来ることを示している。また日本人

男性競技者を対象としたOhshimaら¹²⁾の研究でも, 体格に関係なくFFMあたりのBMRには差がないことが報告されていることから, FFMを変数とした推定式の使用により, 競技者にとってより高い精度でのBMR推定が可能であると考えられる.

しかし, 一般人を対象とした研究では, 骨格筋が大きくFFMの大きい人ではBMR/FFMが小さくなり, FFMの小さい人ではBMR/FFMが大きくなることが報告されている^{13,14)}. また, 日本人を対象とした先行研究^{6,12)}の対象者は大学生競技者であり, 日本人エリート競技者を対象として体格によるBMR/FFMの違いを検討した研究はない. 男子長距離ランナーの体組成を比較した報告¹⁵⁾では, 大学生の体脂肪率16.8%, 除脂肪量47.3kgに対し実業団選手は13.6%, 48.4kgとなっておりわずかではあるが違いがみられる.

そこで本研究では, エリート競技者のBMRとFFMの関係を検討するとともに, FFMの小さい日本人男性エリート競技者に焦点を当て, FFMあたりのBMRと体組成について, 体格との関連を検討することを目的とした.

方 法

対象者 対象者は, 日本オリンピック委員会もしくは各競技団体の強化指定選手, またはプロ選手および実業団等に所属する健康な男性競技者29名(8競技12種目: 競泳1名, サッカー1名, ボクシング1名, テコンドー1名, 陸上短距離2名, 陸上ハードル1名, 陸上投擲2名, 陸上長距離・競歩5名, カヌースプリント・スラローム4名, ソフトテニス2名, アメリカンフットボール9名)であった. 事前に行った血液検査, 尿検査結果から, 健康に問題がないこと, エネルギー代謝に関与する甲状腺ホルモン(triiodothyronin: T_3)が基準値内であることを確認した.

対象者には, 測定に先立ち, 研究概要, 測定項目および方法を十分に説明し書面にて実験参加の同意を得た. なお, 本研究は, 「国立スポーツ科学センター倫理審査会」の承諾を得て実施した.

また, 体格による検討を行うため, 先行研究^{6,12)}の分類に従い平均FFM-0.5SD以下をS群, 平均FFM+0.5SD以上をL群, 平均FFM $\pm$ 0.5SDの範囲をM群とし対象者を3群に分類した. S群($\sim$ 60.2kg)は陸上長距離5名, ボクシング1名, ソフトテニス1名, カヌー1名, M群(60.3-69.5kg)はアメリカンフットボール6名, カヌー3名, 陸上短距離3名, ソフトテニス1名, サッカー1名, L群(69.6kg $\sim$)はアメリカンフットボール3名, 陸上投擲2名, テコンドー1名, 競泳1名であった.

測定項目

身体計測・身体組成 身長および体重は, 早朝空腹時に

測定した. 体脂肪率およびFFMは二重X線吸収法(dual energy X-ray absorptiometry: DXA)(Discovery, HOLOGIC, USA)により測定した. 体重から体脂肪量を差し引いてFFMを算出した. 得られた骨塩量, 脂肪量(Fat Mass: FM), 各部位の筋量より, 以下の式を用いて4つの構成要素に分類した¹⁶⁻¹⁹⁾.

BM (bone mass, 骨量) = BMC (bone mineral content, 骨塩量) (g) $\times$ 1.85/1000

AT (adipose tissue, 脂肪組織) = FM (kg) $\times$ 1.18

SM (skeletal muscle, 骨格筋量) = $1.13 \times$ 四肢除脂肪軟組織量 (kg) $- 0.02 \times$ 年齢 (歳) + 0.97

RM (residual mass, その他器官組織の重量) = BW - (BM + AT + SM)

BMRの測定 対象者は, 測定前日は通常のトレーニングを中止し, 20時までに夕食をとらせ, 室温23 $\sim$ 25度に保たれた宿泊施設に宿泊させた. 夕食後は, 水以外の飲食はせず, 安静に過ごさせた. 測定当日は7時に起床させ, 検温, 採尿後, BMRを測定した. BMRの測定はルドルフマスクを装着し, 30分仰臥させた後, 心拍数を測定し安静であることを確認し, 仰臥位のままダグラスバッグに10分間の呼吸を3分のインターバルをとり2回採取した.

呼吸は直ちに乾式ガスメーター(VD-1, アルコシステム, 千葉)にて換気量を測定するとともに, 呼吸ガス分析装置(ARCO-2000, アルコシステム, 千葉)を用い酸素および二酸化炭素濃度を分析した. これらのデータから酸素摂取量と二酸化炭素排泄量を算出し, Weirの式²⁰⁾を用いてBMR(kcal/min)を算出した. さらに1,440(分)に換算し, 1日当たりのBMRとした. BMRは, 2回の測定値の平均を分析データとして採用した. また, 2回の測定値に10%以上の誤差がある場合は, 分析データに含めなかった. さらに測定後の聞き取りにより, 十分な睡眠が確保できなかったと自己申告があったものを除いた29名のデータを採用した.

血液検査 採血はBMR測定後, 早朝空腹状態で実施し, 貧血指標としてヘモグロビン, 血清鉄, 総鉄結合能およびフェリチン, エネルギー代謝異常の指標として T_3 を測定した. 血液分析は(株)三菱化学ビーシーエルに依頼した. ヘモグロビン量はSLS-Hb法, 血清鉄および総鉄結合能は比色法, フェリチンおよび T_3 はCLIA法により分析した.

食事調査 BMR測定前日までの7日間に, 自己記入式の食事調査を実施した. 配布した食事記録用紙に飲食したもののすべての料理名と使用食材名, 重量または個数を記入, 同時に食事前後にデジタルカメラ(COOLPIX2200,

Nikon, 東京)での写真撮影を行うよう依頼した。外食については店名とメニュー名を記録し、掲載されているエネルギーおよび栄養素量を記録または撮影するよう指示した。記録終了後、管理栄養士が対象者と一緒にデジタルカメラの映像と記録を照合しながら、詳細な確認を行った。この記録から各食品重量を推定し、5訂増補日本食品標準成分表に準拠した栄養計算システムe-diary(国立スポーツ科学センター, 東京)を用いて計算し、調査期間中における1日あたりのエネルギーおよび各栄養素摂取量を求めた。

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。本研究で得られたデータの統計処理はSPSSVer.14.0(SPSS Inc., USA)にて行った。BMRとFFMとの関係およびFFMとFFMあたりのBMRとの関係はPearson単相関係数および回帰式を求めた。

全てのデータが正規分布していたため、群間の平均の比較は一元配置の分散分析を行い、その後TukeyのHSD検定を用いて分析した。

すべての統計処理について、危険率5%未満を有意水準とした。

結 果

対象者の身体的特徴およびBMRをTable 1に示した。体重、FFMともにM群L群に比較しS群で有意に低く、体脂肪率も低い傾向であった。BMRは、全対象者では、1日当たり1896±235kcalであった。FFM量により群分けした3グループを比較すると、BMR/dayはL群がS群

に比較して有意に高値であった($p<0.01$)。FFMあたりのBMRは、S群がL群に比較し有意差に高値を示した($p<0.05$)。

FFMと1日当たりのBMRの関係をFig.1に示した。FFMとBMRの間には有意な正の相関関係が認められた($r=0.83$, $p<0.01$)。FFMとFFMあたりのBMRの関係をFig.2に示した。両者の間には、有意な負の相関関係がみられた($r=0.53$, $p<0.01$)。

各群の体組成を4つの構成要素別に、Fig.3およびFig.4に示した。重量では、BM, AT, SM, RMすべてにおいて、S群に比較しL群間が有意に大きかったが、体重に占める割合を比較すると、RMのみがL群に比較しS群で有意に高かった。

各群のエネルギーおよび3大栄養素摂取状況をTable 2に示した。1日当たりの摂取エネルギー量に有意差は認められなかったが、体重1kgあたりでみた場合、S群が58±13kcalとM群(45±8kcal)、およびL群(42±14kcal)と比較し有意に高値を示した($p<0.05$)。

考 察

本研究の結果から、FFMの小さいエリート競技者ではBMR/FFMが高いことが示され、体重に占める4つの構成要素の割合の違いに起因していることが明らかになった。

国立スポーツ科学センターでは2002～2007年3月までに3640名の競技者の身体組成測定を行っている²¹⁾。そのうち男性競技者2334名(50種目83競技)のFFMは64.8±9.3kgであり、本研究同様に平均値±0.5に基づき3群

Table 1. Characteristics of subjects

		All (n=29)	S (n=8)	M (n=14)	L (n=7)
年齢	(歳)	25.6±3.7	27.5±4.2	24.3±2.7	26.0±4.4
身長	(cm)	175.6±7.0	172.0±4.5	174.8±6.5	181.6±7.6 ^{ab}
体重	(kg)	74.7±12.8	60.3±4.2	74.7±5.6 ^a	91.1±9.0 ^a
体脂肪率	(%)	12.7±4.2	10.4±2.9	12.8±4.6	15.2±3.5
FFM	(kg)	64.9±9.3	54.1±3.9	64.9±2.9 ^a	77.1±6.1 ^{ab}
FM	(kg)	9.8±4.6	6.3±1.9	9.7±4.4	14.0±4.1 ^b
BMR	(kcal/day)	1896±235	1719±139	1883±183	2123±249 ^{ad}
	(kcal/kg BW/day)	25.7±3.2	28.6±2.5	25.3±2.6 ^c	23.4±2.9 ^a
	(kcal/kg FFM/day)	29.4±3.0	31.9±2.6	29.0±2.7	27.6±2.6 ^c

Mean±SD

FFM : fat-free mass, FM : fat mass, BMR : basal metabolic rate

a) Significantly different vs S group $p<0.01$, b) Significantly different vs M group $p<0.01$,

c) Significantly different vs S group $p<0.05$, d) Significantly different vs M group $p<0.05$

Fig. 1 Relationship between fat-free mass and BMR

Fig. 2 Relationship between fat-free mass and BMR/FFM ratio

Weight of four organ tissue components

BM : bone mass, AT : Adipose Tissue, SM : Skeletal Muscle, RM : Residual Mass

- a) Significantly different vs S group $p < 0.01$,
 b) Significantly different vs M group $p < 0.01$,
 c) Significantly different vs S group $p < 0.05$

Fig. 3 Four organ tissue components in the subjects expressed as a body weight

Proportion of four organ tissue components to body weight

BM : bone mass, AT : Adipose Tissue, SM : Skeletal Muscle, RM : Residual Mass

- c) Significantly different vs S group $p < 0.05$

Fig. 4 Four organ tissue components in the subjects expressed as their respective fractional contributions to body weight

に分類すると, S群は60.1kg以下, M群は60.2~69.4kg, L群は69.5kg以上となる. 本研究の対象者の分類値も, この値と類似しており, 多くの競技者の体組成の分布を反映していると考えられる.

FFMとBMRとの相関関係をみると, 相関係数は高値であった ($r=0.83$, $p<0.01$). またFFMとFFMあたりのBMRにバイアスがないことから, 田口ら⁵⁾, Ohshimaら¹²⁾はFFMを用いれば競技者のBMRを体格に関係なく推定出来ると報告している. しかし, 本研究ではFFMとFFMあたりのBMRとの関係をみると, 負の相関がみられ ($r=0.53$, $p<0.01$), FFMの大きい対象者ほど, FFMあたりのBMRが小さくなる傾向がみられた. 本研究では, おおよそFFM50kgでこの傾向を示している.

先行研究¹²⁾のS群は体重 67.1 ± 4.8 kg, FFM 58.4 ± 4.1 kgであり, 本研究のS群は, 先行研究の大学生男子競技者のS群と比較して体重およびFFMが低く, この点が先行研究と異なっている. 安静状態での各組織のエネルギー代謝率は, 心臓, 腎臓, 肝臓などの内臓器官で200~440kcal/kg/day, 骨格筋で13kcal/kg/dayと組織ごとに差があることが報告されている²²⁾. 本研究で用いた4つの構成要素のうち, エネルギー代謝率が低いのはBM (2.3kcal/kg) およびAT (4.5kcal/kg), 高いのはSM (13.0kcal/kg) および脳や腎臓などを含むRM (54.0kcal/kg) である. 本研究の被験者は, 代謝率の高いSMとRMの体重に占める割合が先行研究の大学生男子競技者と比較して, 2~3%とわずかなではあるが高くなっており,

Table 2. Comparison of estimated energy and nutrient intake per day among groups

		All (n=29)	S (n=8)	M (n=14)	L (n=7)
Energy	(kcal)	3520±902	3524±924	3362±638	3809±42
	(kcal/BW kg)	48±13	58±13	45±8 ^a	42±14 ^a
Protein	(g)	133.6±38.4	131.3±39.1	128.6±27.2	145.2±56.4
	(g/BW kg)	1.8±0.5	2.2±0.6	1.7±0.4	1.6±0.6
Fat	(g)	104.7±37.7	100.0±21.4	96.5±19.2	124.7±65.8
Carbohydrate	(g)	489.8±147.1	508.3±191.3	480.4±129.4	488.8±151.9
	(g/BW kg)	6.6±2.1	8.4±2.7	6.4±1.6	5.3±1.5 ^a
P	(%)	15.2±2.1	15.0±2.1	15.4±2.1	15.3±2.4
F	(%)	26.7±5.4	26.7±6.3	26.2±4.7	27.9±6.5
C	(%)	58.0±5.6	58.3±6.6	58.5±4.9	56.8±6.5

Mean±SD BW : body weight

a) Significantly different vs S group p<0.05

これがBMR/FFMが高くなった要因と考えられる。

Heymsfieldら¹³⁾は、年代の異なる男女289人の測定結果からBM, AT, SM, RMによる4つの構成要素との違いがREE/FFMの違いに影響することを示唆している。また、相撲選手を対象としたMidorikawaら²³⁾の研究では、アスリートの高い安静時代謝量が臓器の重量の増加によるものか代謝率が高まることによるものか検討し、MRIによる臓器重量の測定結果から、肝臓と腎臓のFFMに占める割合は、FFMが大きくなってほぼ変わらず、日常的にトレーニングを行っている選手の身体組成の変化に伴うBMRの変化は、骨格筋の重量増加だけでなく、高い代謝率をもつ臓器等の重量も増加していることを示唆している。いくつかの研究²⁴⁻²⁶⁾により、RMRの変化は各組織の重量の変化によるものであり、年齢や人種による違いはFFMに含まれる代謝率の高い組織と低い組織の割合により説明が出来ることが報告されている。このことから、本研究においても先行研究^{6,12)}に比較しS群のBMR/FFMが 31.9 ± 2.6 kcalと高値を示したのは、代謝率の高い構成要素の割合が高いこと、すなわちRMの体重に占める割合がL群と比較してS群で有意に高かったことが影響していると推察できる。

Midorikawaら²³⁾は、肝臓および腎臓増加が、たんぱく質摂取量の増加に起因する可能性を挙げている。本研究のS群の平均エネルギー摂取量は 58 ± 13 kcal/BW kgであり、M群(45 ± 8 kcal/BW kg)およびL群(42 ± 14 kcal/BW kg)と比較して有意に高値を示した。また、たんぱく質摂取量もS群では 2.2 g/BW kg/dayとM群やL群よりも高い傾向であった。競技者のたんぱく質摂取については、持久系競技者で $1.2 \sim 1.4$ g/BW kg/day²⁷⁾、瞬発系競技者で $1.6 \sim 1.7$ g/BW kg/day²⁸⁾がそれぞれ推奨されている

が、本研究の被験者のたんぱく質摂取は、これに比較し高い摂取量であった。

動物実験では、たんぱく質の摂取増加に伴い肝臓量および腎臓量の増加が報告されている^{29,30)}。また、Chevalierらは、同様の動物実験で臓器重量の変化はみられたものの、骨格筋には影響が及ばなかったことを示した³¹⁾。さらにSkovら³²⁾は、人を対象にした6か月の介入研究から、食事からのたんぱく質摂取量の長期的な変化が腎臓量の変化を誘発することを報告している。

本研究のS群は、ボクシング選手1名、陸上長距離・競歩選手5名、ソフトテニス選手1名、カヌー選手1名から構成されている。陸上長距離などの長時間にわたり身体を移動させるような競技では、体重が軽く体脂肪量が少ない方が有利とされる。体重は低いが1日の総エネルギー消費量は多く³³⁾、そのためエネルギー摂取量および各栄養素摂取量も多くなることから、栄養素の代謝量の増加に伴い、肝臓などの臓器重量も増加している可能性が考えられる。そのため、S群ではM群、L群の選手に比較し、FFMは低値を示すものの、臓器を含むRMの割合が高くなった可能性が考えられる。

本研究の結果から、日本人エリート男性競技者のうち、FFMの小さい対象者ほど、FFMあたりのBMRが大きくなる傾向がみられた。すなわち、体脂肪率が低くFFMに占める筋肉量の比率が低く、高代謝率の組織・臓器の比率が高い選手の場合には、一律のBMR推定式(JISS式： $28.5 \text{ (kcal)} \times \text{FFM (kg)}$)を用いてBMRを推定した場合、S群(FFM 54.1 kg)では 1540 kcal/dayとなり、実測で得られた 1720 kcal/dayに対し、おおよそ 180 kcal/dayの過小評価となる。このように、一律の式を用いてFFMの小さいエリート選手のBMRを推定する

際には、過小評価の可能性を考慮する必要があると考えられ、栄養サポートの実施にあたっては、体重・体組成変動、推定摂取エネルギーと消費エネルギー量などのアセスメント項目を十分にモニタリングしていくことにより栄養供給量を評価することが重要である。

本研究の限界として人数や競技種目が限られていること、臓器重量の実測は行っていないことがあげられる。近年、各器官の重量を考慮することにより、BMRへの説明力が増すことが報告されている。Mullerら³⁴⁾のレビューでは、MRIやCTにより得られた各器官量が個人間の変動の5~10%程度を説明出来ることを示唆している。本研究では、詳細な器官重量の把握は行っておらず、実際に本研究のS群の選手の各臓器が他の選手に比較し相対的重量が大きいことは確認できていない。また、この結果がFFMの小さい選手の特徴であるのか、競技に適した体格や、エネルギーおよびたんぱく質摂取量などを含めた競技特性によるものかも本研究の結果のみでは、確認できなかった。今後、エリート競技者を対象に競技特性の異なるFFM小さい選手を対象とし、FFMの構成要素とBMRについての関連およびその要因について検討することが必要である。

結 論

日本人エリート男性競技者29名(25.6±3.7歳、身長175.6±7.0cm、体重74.7±12.8kg、FFM64.9±9.3kg)を体格により3群に分類しBMR/FFMの比較を行ったところ、S群はL群に比較し有意に高値を示した(p<0.05)。また4つの構成要素による体組成の比較を行ったところ、代謝率の高い器官を含むRM要素の体重に占める割合が、S群はL群と比較して有意に高かった。以上よりFFMがおおよそ50kg以下の競技者ではBMR/FFMが高くなる可能性があり、体重に占める4つの構成要素の割合の違いに起因していることが示唆された。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、対象者として測定にご協力くださいました各競技団体スタッフ、選手の皆様、測定に協力をいただきました国立スポーツ科学センタースポーツ医学研究部スタッフに心より感謝いたします。

文 献

- 1) American College of Sports Medicine. American dietetic association and Dietitians of Canada: Joint Position Statement Nutrition and Athletic Performance. *Med Sci Sports Exerc* 41: 709-731, 2009.
- 2) Pasman W, Saris W, Westerterp-Plantenga M. Predictors of weight maintenance. *Obes Res* 7: 43-50, 1999.
- 3) Thompson J, Manore M, Skinner J, Ravussin E, Spraul M. Daily energy expenditure in male endurance athletes with differing energy intakes. *Med Sci Sports Exerc* 27: 347-354, 1995.
- 4) 厚生労働省策定, 日本人の食事摂取基準 [2010年版], 第一出版, 東京, 43-61, 2010.
- 5) Taguchi M, Ishikawa-Takata K, Tatsuta W, Katsuragi C, Usui C, Sakamoto S, Higuchi M. Resting Energy Expenditure Can Be Assessed by Fat-Free Mass in Female Athletes Regardless of Body Size. *J Nutr Sci Vitaminol* 57: 22-29, 2011.
- 6) 田口素子, 辰田和佳子, 樋口満: 競技特性の異なる女子スポーツ選手の安静時代謝量, 栄養学雑誌, 68: 289-297, 2010.
- 7) 高橋恵理, 薄井澄誉子, 田畑泉, 樋口満: 若年女性の基礎代謝量は除脂肪体重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—, トレーニング科学, 17: 245-250, 2005.
- 8) Usui C, Taguchi M, Ishikawa-Takata K, Higuchi M. The validity of body composition measurement using dual energy X-ray absorptiometry for estimating resting energy expenditure. In: Teck Book.
- 9) 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.
- 10) 小清水孝子, 柳沢香絵, 横田由香里: 「スポーツ選手の栄養調査・サポート基準値策定および評価に関するプロジェクト」報告, 栄養学雑誌, 64: 205-298, 2006.
- 11) 田口素子, 高田和子, 大内志織, 樋口満: 除脂肪量を用いた女性競技者の基礎代謝量推定式の妥当性, 体力科学, 60: 423-432, 2011.
- 12) Ohshima S, Miyauchi S, Kawano H, Ishijima T, Asaka M, Taguchi M, Torii S, Higuchi M. The fat-free mass can be utilized to assess resting energy expenditure for male athletes of different body size. *J Nutr Sci Vitaminol* 57: 394-400, 2011.
- 13) Heymsfield S, Gallagher D, Kotler D, Wang Z, Allison D, 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: 132-138, 2002.
- 14) Weinsier R, Schutz Y, Bracco D. Reexamination of the relationship of resting metabolic rate to fat-free mass and to the metabolically active components of fat-free mass in humans. *Am J Clin Nutr* 55: 790-794, 1992.
- 15) 満園良一: 長距離ランナーの身体組成, 久留米大学健康スポーツ科学センター紀要, 11: 1-11, 2004.
- 16) Snyder W, Cook M, Nasset E, Karhausen LR, Howells GP, Tipton IH: Report of the Task Group of Reference Man, Pergamon Press, Oxford, 1975.
- 17) Heymsfield S, Smith R, Aulet M, Bensen B, Lichtman S, Wang J, Pierson RN. Appendicular skeletal muscle mass measurement by dualphoton absorptiometry. *Ame J Clin Nutr* 52: 214-218, 1990.
- 18) Heymsfield S, Gallagher D, Kotler D, Wang Z, Allison D, 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: 132-138, 2002.
- 19) Kim J, Wang Z, Heymsfield S, Baumgartner R, Gallagher D. Total-body skeletal muscle mass: Estimation

- by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *Am J Clin Nutr* 76: 378-383, 2002.
- 20) Weir J. New method for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 109: 1-9, 1949.
 - 21) 国立スポーツ科学センター 形態・体力測定データ集 2007, 1-3, 2007.
 - 22) Elia M. Organ and tissue contribution to metabolic rate. In: Kinney J, Tucker H eds.: *Energy Metabolism - Tissue determinants and corollaries*, Raven Press, New York, 61-80, 1992.
 - 23) Midorikawa T, Kondo M, Beekley M, Koizumi K, Abe T. High REE in Sumo Wrestlers Attributed to LArge Organ-Tissue. *Mass Med Sci Sports Exerc* 39: 688-693, 2007.
 - 24) Jones A, Shen W, St-Onge M, Gallagher D, Heshka S, Wang Z, Heymsfield S. Body-composition differences between African American and white women: Relation to resting energy requirements. *Am J Clin Nutr* 79: 780-786, 2003.
 - 25) Gallagher D, Albu J, He Q, Boxt L, Krasnow N, Elia M. Small organs with a high metabolic rate explain lower resting energy expenditure in African American than in white adults. *Am J Clin Nutr* 83: 1062-1067, 2006.
 - 26) Javed F, He Q, Davidson LE, Thornton JC, Albu J, Boxt L, Krasnow N, Elia M, Kang P, Heshka S, Gallagher D. Brain and high metabolic rate organ mass: Contributions to resting energy expenditure beyond fat-free mass. *Am J Clin Nutr* 91: 907-912, 2010.
 - 27) Phillips SM. Protein requirements and supplementation in strength sports. *Nutrition* 20: 689-95, 2004.
 - 28) Tarnopolsky MA, Atkinson SA, MacDougall JD, Chesley A, Phillips S, Swartz HP. Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J Appl Physiol* 73: 1986-95, 1992.
 - 29) Oscat LB, Mole PA, Krusack LM, Holloszy JO. Detailed body composition analysis on female rats subjected to a program of swimming. *J Nutr* 103: 412-418, 1973.
 - 30) Chevalier L, Bos C, Azzout-Marniche D, Dardevet D, Tomé D, Gaudichon C. Dietary protein regulates hepatic constitutive protein anabolism in rats in a dose-dependent manner and independently of energy nutrient composition. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 299: R1720-30, 2010.
 - 31) Chevalier L, Bos C, Gryson C, Luengo C, Walrand S, Tomé D, Boirie Y, Gaudichon C. High-protein diets differentially modulate protein content and protein synthesis in visceral and peripheral tissues in rats. *Nutrition* 25: 932-9, 2009.
 - 32) Skov AR, Toubro S, Bulow J, Krabbe K, Parving HH, Astrup A. Changes in renal function during weight loss induced by high vs. low-protein low-fat diets in overweight subjects. *Int J Obes Relat Metab Disord* 23: 1170-1177, 1999.
 - 33) Fudge BW, Westerterp KR, Kiplamai FK, Onywera VO, Boit MK, Kayser B, Pitsiladis YP. Evidence of negative energy balance using doubly labelled water in elite Kenyan endurance runners prior to competition. *Br J Nutr* 95: 59-66, 2006.
 - 34) Müller MJ, Bosy-Westphal A, Kutzner D, Heller M. Metabolically active components of fat-free mass and resting energy expenditure in humans: Recent lessons from imaging technologies. *Obes Rev* 3: 113-122, 2002.