

早稲田大学審査学位論文
博士(スポーツ科学)

女性競技者の基礎代謝量と身体組成との関連

The relation between basal metabolic rate and
body composition in Japanese female athletes

2011年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

田口 素子

Taguchi, Motoko

研究指導教員：樋口 満 教授

目 次

第 1 章 序論

1. 基礎代謝量の定義	2
2. 女性競技者における基礎代謝量測定の意義	3
3. 女性競技者の基礎代謝量測定に影響する諸条件	5
1) トレーニングの影響	
2) 月経周期の影響	
4. 女性競技者における基礎代謝量の研究小史	7
5. 基礎代謝量と身体組成に関する研究の発展	7
6. 本論文の目的と全体構成	10

第 2 章 基礎代謝量に及ぼす競技特性の影響

1. 緒言	16
2. 方法	17
3. 結果	19
4. 考察	21
5. 要約	25

第 3 章 基礎代謝量に及ぼす体格の影響

1. 緒言	35
2. 方法	36
3. 結果	40
4. 考察	41
5. 要約	44

第4章 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

1. 緒言	56
2. 方法	57
3. 結果	59
4. 考察	59
5. 要約	65

第5章 総括論議

1. 本研究の背景と目的	71
2. 研究の概要	72
3. 総括論議	74
4. 現場への応用に向けて	76
5. 今後の課題	77
謝辞	79
引用文献	80

掲載論文

第 1 章

序 論

1. 基礎代謝量の定義

1日のエネルギー消費量(Total energy expenditure : TEE)は、基礎代謝量(Basal metabolic rate : BMR)、食事誘発性熱産生(Diet induced thermogenesis : DIT)、活動時代謝量(Thermic effect of activity: TEA)の総和である^{1), 2)}。

基礎代謝量とは1920年代に考案された概念であり、「身体的・精神的な安静状態において代謝される最小のエネルギー代謝量であって、生きていくために必要な最小のエネルギー代謝量」と定義されており(第六次改定日本人の栄養所要量—食事摂取基準—1999)³⁾、生体の各種機能の維持、体温調節やエネルギーの貯蔵に用いられる。基礎代謝量は通常1日当たりの量を示し、単位時間当たりの基礎代謝量を基礎代謝率という。

基礎代謝量の測定は、代謝に影響を与えるような内外の諸条件をできるだけ除いて行わなければならない。健康な状態の被験者に対し、前日に激しい運動を避け、夕食後少なくとも12~14時間経過後の消化吸収が完了した状態であり、20~25℃の快適な温度条件下にて測定前30分以上安静にしたのち、仰臥位にて1回あたり15分の測定を15~20分間隔で数回行う(図1-1)。さらに、代表的な測定値を得るために同じ被験者に対して日を改めて2日分ないしはそれ以上の測定を繰り返すとされている。このようにして得られた値は、筋緊張、発熱、食物消化による影響を完全に排除したものとされている^{4), 5)}。

安静時代謝量(Resting energy expenditure : REE)は、基礎代謝量の測定条件を緩やかにしたもので、測定当日は自宅より測定室までの歩行を許可する代わりに、測定室到着後ベッドに仰臥して30分以上休息させてから測定を実施するとされている⁶⁾。1950年代から今日まで、安静時代謝量は基礎代謝量より10%ほど高いと考えられ、この計算方法が用いられてきた。しかしながら、基礎代謝量(BMR)と安静時代謝量(REE)の区別は、我国においても諸外国においても曖昧である。我国における

基礎代謝基準値策定のための中心的な資料である長崎大学の基礎代謝量測定値は、ほとんどが早朝空腹時の仰臥位安静時代謝量である⁷⁾。また、米国における REE(National Research Council 1989)⁸⁾は、1985年に国連機関(FAO/WHO/UNU)が基礎代謝と全く同じ算定式で求めたものである^{9), 10)}。すなわち、基礎代謝量、安静時代謝量、BMR、REE、RMR はいずれも同義として使用されている。これは、BMR と REE の差は 10%以内であり、現実の利用において同様に扱ってもよいと考えられているからである¹¹⁾。我国において、実際には“安静時代謝量”であるにも関わらず“基礎代謝量”と呼んだのは、すでに基礎代謝量という言葉が一般化しており、用語の混乱を避けるためとされている。一方、欧米では BMR より REE が一般的に定着して用いられている。

本論文における測定は、前掲した基礎代謝量の測定条件に極力近い形で実施している。夕食は早めに摂取させ、食後は飲食物の摂取を制限した。被験者宿泊施設に宿泊させ、翌早朝空腹時に排尿後、30分の仰臥安静をさせたのち、体温、心拍数及び呼吸状態が安静の状態であることを確認してから測定を実施した。したがって本論文において測定されたデータは「基礎代謝量」といってもよい値である。以上より本論文においては、基礎代謝量、安静時代謝量、BMR、REE を総称して「**基礎代謝量(BMR)**」という用語で統一して表記した。

2. 女性競技者における基礎代謝量測定の意義

日本人の食事摂取基準(2010年版)(Dietary Reference Intakes : DRIs)¹²⁾における 18~29 歳女性の基準体位は、身長 158.0cm, 体重 50.6kg とされており、この値は平成 17 年(2005)及び 18 年(2006)国民健康・栄養調査における当該性別・年齢階級における中央値である。日本人の新身体計測基準値(Japanese Anthropometric Reference Data : JARD 2001)¹³⁾では、18~24 歳の値は身長 159.3cm, 体重 51.6kg とされている。田口ら¹⁴⁾によれば、20.8±1.3 歳の日常的に運動習慣のない女

子大学生の身長は 160.3cm、体重 54.5kg であり、これらの基準値と大差がない平均的な体格であった。体脂肪率は $23.5 \pm 4.9\%$ であり、除脂肪量 (fat-free mass : FFM) は $41.4 \pm 5.2\text{kg}$ であった。一方、同年齢の持久系、瞬発系及び球技系の様々な種目を行う大学生女性競技者 81 名では、身長 162.3cm、体重 56.4kg であり、体脂肪率は $20.4 \pm 5.1\%$ 、FFM は $44.8 \pm 5.0\text{kg}$ であった。同年齢の女性競技者と一般女性では、身長及び体重には有意差は認められなかったが、体脂肪率は一般女性と比較して競技者で有意に低値であり、FFM は有意に高値を示した。また、国立スポーツ科学センターの形態・体力測定データ集(2007)¹⁵⁾では、エリート女性競技者の体脂肪率は、種目による違いはあるものの 10%~20%の範囲に分布しており、競技者は一般女性と身体組成が明らかに異なる集団であると言える。身体組成が BMR に影響する因子であることは古くからわかっているが¹⁾、身体組成の異なる集団の BMR や規定因子が競技者集団にも当てはまるかどうかは不明である。

また、女性競技者の身体活動量も一般女性とは大きく異なっている。DRIs における身体活動レベル(physical activity level: PAL)はレベル I (低い)で 1.5、II (ふつう)で 1.75、III (高い)で 2.0 が設定されているのに対し、二重標識水法を用いて我国の女性競技者を対象に測定した研究^{16),17)}では 2.0~2.6 と高値を示している。一日の総エネルギー消費量 (Total energy expenditure; TEE)は競技者で高く、一般人とは異なるエネルギー代謝状況下にあると言える。

以上より、身体組成や身体活動量が異なる競技者集団において、一般健康人集団における基準値を適用することが適切であるかどうかは不明である。競技者のエネルギー代謝特性を明らかにすることは、競技者のエネルギー栄養状態に関わるアセスメントの基礎データを提供することにつながる点で意義が大きい。さらに将来的には、BMR を元にして競技者の TEE を高い精度で見積もることができるようになれば、競技者のエネルギー摂取基準値の設定が容易となり、競技者の食事管理と

コンディショニング(体調管理)に大いに役立つ知見になるものと思われる。

3. 女性競技者の基礎代謝量(BMR)測定に影響する諸条件

一般的な BMR 測定条件に加え、日常的にトレーニングを実施している女性競技者では、さらに2つの測定条件について考慮しなくてはならない。それは、トレーニングの影響と月経との関連である。

1) トレーニングの影響

非常に激しい運動後は運動後過剰酸素消費 (Excess Post-Exercise Oxygen Consumption: EPOC)を引き起こし、翌日の BMR を増加させるとされており¹⁸⁾、その影響を除くために1日ないし2日(48時間)前からの運動は避けて測定を実施するとされている(WHO/FAO/UNU)。競技者の場合、どのくらい EPOC が持続するかは競技レベル、年齢、環境、トレーニング強度とトレーニングの持続時間などの要因により異なり、運動強度が高く持続時間が長いほど EPOC の影響は長時間になるとされている¹⁹⁾。また、最大酸素摂取量の50~65%の中強度運動を30~60分行う場合には EPOC の上昇はみられず、1時間以内に元のレベルまで回復するが、有酸素性運動でも筋力トレーニングでも運動時間が長く運動強度が高くなれば、運動後の EPOC 上昇は数時間続くと考えられている²⁰⁻²²⁾。

多くの競技者は、通常トレーニング期間中にはほぼ毎日トレーニングを行っており、測定前日ないし2日前からトレーニングを休止させることは実際的に困難である。また、トレーニングがオフの日であっても自主的にからだを動かすことが多く、完全休養日が少ない状況にある。継続的なトレーニングの結果として身体組成が変化し FFM を増加させた場合には、BMR は高くなることが報告されているが²³⁾、日常的なトレーニング後の EPOC の影響は短時間であり、一般人と比較して BMR に及ぼす運動後の EPOC 上昇の影響は小さいと考えられる。

本論文においては EPOC に配慮し、測定前日は高強度トレーニングを避けて体操やジョグなど低強度トレーニングのみにとどめてもらうよう依頼し、測定前夜から十分な安静を保った翌日の早朝空腹時に安静が確認された時点で測定を行った。

2) 月経周期及び月経状況の影響

一般的に、女性のエネルギー代謝は月経周期により異なり、卵胞期前期(月経周期開始時点)に最も低く、黄体期(月経周期終了時点)で最も高くなることが報告され^{24), 25)}、その差はおよそ 100~300kcal/day であるとされている。したがって、女性を対象とした BMR の測定は黄体期及び月経期を避け、月経後の卵胞期前期(月経後 1 週間以内)に実施するとされている。

女性競技者は継続的なトレーニングによる心身のストレスが加わることにより、エストロゲンやプロゲステロンなどの性ホルモンのバランスが変化し、エネルギー代謝に影響を及ぼすと考えられており²⁶⁻²⁸⁾、そのことはエネルギー摂取量が少なく負のエネルギーバランス状態の継続による影響であることが報告されている²⁹⁻³³⁾。したがって、このような競技者は、内分泌状態の変化から月経周期に乱れを引き起こす可能性もありうる。一方、Li et al.³⁴⁾および Piers et al.³⁵⁾は、女性選手の BMR は月経周期による影響を受けないと報告している。しかし、女性競技者における BMR に及ぼす月経周期の影響については先行研究が少なく、まだ不明な点も多い。

また、1991 年に Myerson et al.³⁶⁾が無月経となったランナーの BMR は正常月経ランナー及び非運動群(同年代の一般女性)の BMR と比較して低値を示すことを報告し、月経状況によるエネルギー代謝の変化について注目した。しかし、Taguchi et al.³⁷⁾が大学生および社会人の日本人競技者を対象に月経異常群と正常群の BMR を比較したところ、月経異常者の BMR の有意な低下は認められなかった。

以上より、本研究では一般女性を対象とした測定方法に則り、黄体期及び月経期を避け、卵胞期に測定を実施した。また、月経周期が安定しない競技者については、血液検査によりエストロゲンが卵胞期の基準値内にあることを確認したうえで被験者に含めた。

4. 女性競技者における基礎代謝量(BMR)の研究小史

一般女性を対象とした **BMR** の研究は古くから実施されていたものの、女性競技者を対象とした **BMR** の研究は 1990 年代以降になって報告されるようになったため、その歴史は浅く、先行研究は限られている。表 1-1 に女性競技者を対象とした **BMR** についての研究小史をまとめた。

1990 年代には、月経状況によるエネルギー代謝の変化について注目された^{36), 38)}。また、**BMR** に及ぼす身体組成の影響^{39), 40)}、エネルギー摂取量の影響²⁹⁻³¹⁾、エネルギーバランスの影響^{32), 33)}、内分泌状況の影響^{28), 41)}など、**BMR** に影響する諸因子についても報告されている。さらに、女子選手の **BMR** を推定する方法についての検討も行われている⁴²⁾。

これらのうち日本人競技者を対象とした原著論文は 2 報のみであり⁴¹⁾、⁴³⁾、利用可能なデータは極めて少ない。

5. 基礎代謝量(BMR)と身体組成に関する研究の発展

エネルギー代謝に関する早期の研究者の興味は、**BMR** の個人差に関連する因子を明らかにすることであった。**BMR** に影響する因子として体格(身長や体重)および体表面積があげられ、早期の研究では個人の **BMR** は体重と体表面積により標準化された^{10), 11)}。しかし重要な発見のひとつは、体重当たりの **REE** または体表面積当たりの値は一定でなく、体重が大きい人はより大きく減少することである¹¹⁾。

成人ではエネルギー的に不活発と考えられていた脂肪の割合が増えることにより体重が増加するため、その後の研究者は体重ではなく身体組成に注目し、代謝的活性組織である **FFM** や細胞重量を精度高く見積

もることができる身体組成の測定方法を進歩させ、エネルギー代謝との関連を検討してきた^{43), 44)}。図 1-2 に身体組成の測定法を示した。

スポーツ科学の分野においては、体重を脂肪量 (fat mass: FM) と脂肪以外の組織量 (fat-free mass: FFM) に大別する 2 コンパートメント法が用いられている。初期においては、精度が高いとされる水中体重秤量法 (Hydrostatic weighing) や、どこでも簡便に測定が実施できるキャリパーによる皮脂厚法 (Skinfold thickness measurement) が用いられていたが、1990 年代には操作が簡便で精度が高い空気置換法 (Air displacement plethysmography) がスポーツ現場で広く用いられるようになった。2 コンパートメント法 (空気置換法) により求めた身体組成を用いて田口ら⁴¹⁾及び高橋ら⁴⁵⁾は、BMR は FFM との相関が高く、FFM が女子選手の BMR の決定に重要な因子であることを報告した。

しかし、FFM はエネルギー代謝率が均一な組織ではなく、組織や器官により代謝率は異なる。表 1-2 に平均的な一般女性の各臓器・組織からの BMR をまとめた。ヒトの組織器官の代謝率に関するデータは限られており、陽電子放射型断層撮影法 (Positron emission tomography: PET) を用いて Holliday et al.⁴⁶⁾ や Elia⁴⁴⁾ が各組織器官の代謝率を報告している。たとえば、腎臓や心臓はおよそ 400kcal/kg/day と高く、次いで肝臓や脳がおよそ 200kcal/kg/day である。一方、筋肉は 13kcal/kg/day、脂肪は 4.5kcal/kg/day と低い。また、体格の異なる一般健康人において組織器官のエネルギー代謝率には差がないことが報告されている⁴⁷⁾。このように身体組成をより高い精度で求め、これまでよりも細分化して組織器官の重量を推定できれば、FFM 中のどの構成要素がどれだけエネルギー代謝に影響するかについての検討が可能となる。

近年、身体組成の測定方法も発展し、二重エネルギー X 線吸収法 (Dual energy X-ray absorptiometry: DXA 法) が用いられるようになった。DXA 法は骨量 (Bone mineral content)、四肢の除脂肪軟組織

(Appendicular lean soft tissue: ALST)、体脂肪及び体水分(Total body water: TBW)の4つに分類するという4コンパートメント法を採用しており、代謝活性の高い部分を含む全身及び各部位別(頭部、体幹、四肢)の軟部組織組成の高精度な測定を行うことができるようになった。また、磁気共鳴イメージ画像法(Magnetic resonance imaging: MRI法)は、各組織臓器の重量を評価することが可能であるが、機器が非常に高価で、スポーツ現場で容易に測定できる方法ではない。

Gallagher et al.⁴⁸⁻⁵⁰、Heymsfield et al.⁵¹)は、DXA法やMRI法を使用して求めたいいくつかの組織臓器別の重量に Elia⁴⁴)の報告した代謝率を乗じてBMRの評価を行っている。さらに、Bosy-Westphal et al.⁵²)も、さまざまな体格の被験者のBMRは体格の違いに関係なく組織臓器の重量から推定できることを報告している。同様の手法を用いて、Usui et al.⁵³)は健康な若年女性と閉経後中高年女性におけるBMRは、DXA法を用いて測定した4つの組織器官(脂肪組織、骨、骨格筋、その他の組織器官)の見積もられた重量より高い精度で推定できることを報告した。しかし、競技者を対象として組織器官量を精度高く評価しBMRとの関連を検討した研究は、我が国ではMidorikawa et al.⁵⁴)が大学相撲選手を対象として行った研究に限られている。彼らはMRIを用いて体格の大きい相撲選手の臓器量を測定し、求められた代謝率を一般人と比較したところ、代謝率はどちらも変わらず、相撲選手のBMR推定には組織臓器量を見積もることが重要であることを報告している。

また、一般人を対象としてBMRをFFMあたりでみた場合、その値は一定ではなく、FFMが大きい人ほど低くなるのかという根強い疑問がある。FFM量が小さい人は大きい人よりもFFM当たりのBMRは大きくなり⁵⁵)、相対的エネルギー消費量や要求量における体格の違いがあることが示唆されているが、競技者を対象とした検討はほとんど行われていないため、重要な検討課題である。

6. 本論文の目的と全体構成

以上のような背景から、我国の女子競技者を対象に一定の測定条件下にて測定された **BMR** の実測データは極めて少なく、対象となった競技や体格も限定されている。そこで本研究では、女性選手の **BMR** 及び身体組成を測定し、**BMR** に及ぼす競技特性や身体組成の影響について詳細に検討するとともに、女性競技者の **BMR** 推定方法についても検討することを目的とした。

本研究により得られたデータは女性競技者の推定エネルギー必要量算出における科学的根拠を示し、競技者の食事管理を行う上で必要な基礎データを提供することができる。

なお、本論文は以下の 3 つの研究課題より構成する。

研究課題 1 (第 2 章): 女性競技者の **BMR** が競技特性により異なるかどうかについて検討する。

研究課題 2 (第 3 章): 体格の異なる女性選手の **BMR** と身体組成を検討し、**BMR** に影響を及ぼす要因について検討する。

研究課題 3 (第 4 章): 女性選手の **BMR** 推定式の妥当性について検討する。

表1-1 女性競技者を対象とした基礎代謝量に関する原著論文一覧

著者	タイトル	雑誌名	発表年	巻、ページ	被験者の特性	備考
Myelson et al.	Resting metabolic rate and energy balance in amenorrheic and eumenorrheic runners	Med. Sci. Sports Exerc.	1991	23:15-22	20代女性ランナー17名(うち無月経群7名、正常月経群10名)、コントロール群10名	無月経ランナーは正常月経ランナー及びコントロール群と比較してBMRが低値であった。
Herring et al.	Effect of suspending exercise training on resting metabolic rate in women	Med. Sci. Sports Exerc.	1992	24:1	女性ランナー9名(25.9±2.4歳)	通常トレーニング期の方がオファ期と比較して基礎代謝量は高値であった。
Horton et al.	Energy balance in endurance-trained female cyclists and untrained controls	J. Appl. Physiol.	1994	76:1937-1945	女性自転車選手5名(31±6.6歳)、非運動群(33±5.4歳)5名	トレーニングがない日は1日のエネルギー代謝量は差はないが、トレーニングの多い日は基礎(睡眠時)代謝量、食事誘発性熱産生、活動時代量ともサイクリストで有意に上昇した。
Fogelholm et al.	Resting metabolic rate and energy intake in female gymnasts	Int. J. Sports Med.	1995	16:551-556	エリート選手・瘦身選手群(体操・フィギュア)12名、標準体重選手群(サッカー)12名及び非運動群10名	FFMとFMで調整後の基礎代謝量は群間で差がなかった。瘦身群ではエネルギーバランスが負の状態であった。
Beideman et al.	Energy balance in female distance runners	Am. Soc. Clin. Nutr.	1995	61:303-11.	正常月経の女性ランナー10名(21.5±0.6歳)、非運動群10名(24.1±1.1歳)	基礎代謝量はコントロール群と差がなかったが、エネルギーバランスは負の状態であった。
Sjodin et al.	The influence of physical activity on BMR	Med. Sci. Sports Exerc.	1996	28:85-91	FFMが等しいエリートクロスカントリー選手4名(25±2歳)及び非運動群4名(25±1歳)	選手の基礎代謝量は非運動群より13%高値であった。また、選手群はRQが10%低く、脂質酸化の割合が高かった。
Fogelholm et al.	Amenorrhea in ballet dancers in the Netherlands	Med. Sci. Sports Exerc.	1996	28:545-550	バレエダンサー24名(うち月経異常者5名)	月経状況による基礎代謝量、%fat、EDISコアの差は認められなかった。
Thompson et al.	Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes	J. Am. Diet. Assoc.	1996	96:30-34	持久性競技選手13名(31±5歳)	Cunningham式がアスリートのREE推定に最も適しており、女性ではエネルギー摂取量の影響が大きかった。
Lebenstedt et al.	Reduced resting metabolic rate in athletes with menstrual disorders	Med. Sci. Sports Exerc.	1999	31:1250-1256	標準体重の持久性競技者33名(18-35歳)	FFMで調整後の基礎代謝量は月経異常選手で低値であり、食事制限と関連していると考えられた。
田口素子ら	女性持久性競技者の基礎代謝量	栄養学雑誌	2001	59:127-134	大学生の女性ランナー16名、ボート選手8名、非運動群19名	FFMあたりの基礎代謝量には3群間で有意差は認められず、基礎代謝量はFFMと有意な相関関係が認められた。
Karen et al.	Energy balance and luteal phase progesterone level in elite adolescent aesthetic athletes	Int. J. Sports Nutr. and Exerc. Metab.	2002	12:93-104	シンクロナイズド体操、フィギュアスケートなどの選手・無月経群10名(15.7±0.7歳)、正常月経群11名(16.4±1.0歳)、非運動群8名(16.4±1.1)	エネルギー摂取量と基礎代謝量には群間で差は認められなかったが、無月経群のエネルギーバランスは負の状態であった。
Tomten et al.	Energy balance in weight stable athletes with and without menstrual disorders	Scand. J. Med. Sci. Sports	2006	16:127-133	正常月経のランナー10名(34.8±1.7歳)、月経異常のランナー10名(26.0±1.8歳)	月経異常群で基礎代謝量が低値であり、月経異常群の摂取エネルギー不足が甲状腺機能に影響を及ぼすためと考えられた。
高橋恵理ら	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—スポート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	2008	20:25-31	大学生選手42名(21.3±1.7歳)、非運動群42名(23.5±2.1歳)	FFM当たりでみると群間で基礎代謝量に差はなく、FFMを用いたJSS式により推定可能なことが示唆された。

表1-2 体重58kgの一般女性における各臓器・組織の基礎代謝量への寄与

	臓器・組織の重量(kg)	臓器・組織重量の体重に 対する比率(%)	臓器・組織の基礎代謝 率(kca/kg/day)	基礎代謝量に対する 割合(%)
肝臓	1.40	2.41	200	21
脳	1.20	2.07	240	21
心臓	0.24	0.41	440	8
腎臓	0.275	0.47	440	9
筋肉	17.00	29.31	13	16
脂肪	19.00	32.75	4.5	6
その他の組織 (骨・皮膚・腸・腺など)	18.85	32.58	12	19
計	58	100	100 (1340kcal/day)	

Eria, 1992 (文献44)より)



図 1-1 本研究における基礎代謝量の測定風景

前日は激しいトレーニングを避け、夕食は測定の 12 時間前までにすませ
て被験者宿泊施設に宿泊させる。翌早朝空腹時に快適な室内で 30 分以上
の仰臥安静を経て、10 分間の呼気をダグラスバッグに 2 回採取した。



A: 水中体重秤量法

(Hydrostatic weighing)



B: 皮脂厚法

(Skinfold thickness measurement)



C: 空気置換法(Air displacement plethysmography)



D: 二重エネルギーX線吸収法

(Dual energy X-ray absorptiometry)



E: 磁気共鳴イメージ画像法

(Magnetic resonance imaging)

図 1-2 さまざまな身体組成測定方法

A,B,C は 2-コンパートメント法、D は 4-コンパートメント法

本研究では C 及び D を使用した。

第 2 章

女性選手の基礎代謝量に及ぼす

競技特性の影響

Basal metabolic rate in Japanese female athletes
engaging in different type of sports

(栄養学雑誌 68(5), 289–297, 2010)

1. 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を食事から摂取することが重要であることは周知されている⁵⁶⁾。特に女性競技者においては、エネルギーおよび栄養素の不十分な摂取により月経障害、骨密度の低下、摂食障害などの諸問題を引き起こすことが報告されており^{57) 58)}、適切な栄養管理のためにエネルギー必要量を推定する必要がある。健康な個人または集団を対象としたエネルギーと各栄養素摂取の考え方とめやすは「日本人の食事摂取基準（2010年版）」⁵⁹⁾ (Dietary Reference Intakes : DRIs)にまとめられているが、DRIsは著しく身体活動量が多い競技者は対象とされていない。

そこで国立スポーツ科学センター (Japan Institute of Sports Sciences: JISS)では「スポーツ選手の食事摂取基準量に関する研究プロジェクト」を実施し、DRIsによる栄養摂取の基本的考え方を参考にしながら、除脂肪量 (fat-free mass: FFM)を用いて算出したBMRに身体活動レベル(Physical Activity level : PAL)を乗じて競技者の推定エネルギー必要量を算定する方法(JISS式)を提示した^{60), 61)}。しかし、ここで用いられている競技者のBMRやPALの値は、DRIsで示されている基礎代謝基準値およびBMR(18~29歳)を用いて、日本人の一般的な体格を参考にFFMあたりのBMRを算出して競技者向けに適用したものであり、実測データから得られたものではない。JISS式による推定方法の妥当性について検討した唯一の先行研究⁴⁵⁾では、サッカーやバスケットボール部に所属する大学生競技者を運動群とし、非運動群と比較したところFFMあたりのBMRに差がなく、FFMが適正に求められればBMRを高い精度で推定できることを報告している。しかし、FFMを用いてBMRを推定するJISS式が競技特性やトレーニング内容、身体組成の異なる競技者に対して一律に適用できるかについては、競技特性の異なる競技者を対象として実測したBMRのデータを収集し、さらなる検討をする必要がある。競技特性の異なる日本人競技者を対象とした利用可能なBMR実測データは極めて少なく、対象とされた種目も限られている^{16), 41), 45)}。

そこで本研究では競技特性の異なるスポーツ選手を対象とし、競技者の BMR は競技特性による差があるかどうかを検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は、体育系大学において競技特性の異なる種目の運動部またはチームに所属する健康な大学生女子選手 81 名であった。測定にあたり血液検査を行い、貧血ではなく、エネルギー代謝を亢進させるホルモンである甲状腺ホルモン(Triiodothyronin: T_3)が正常値を超えていないこと、測定 3 ヶ月以内に体重の増減を目的としたウエイトコントロールを実施した経験がないことを確認した。選手の競技レベルはいずれも全日本大学選手権大会または関東大学選手権大会に出場するレベルであった。また、いずれも通常のトレーニング期に測定を実施し、トレーニング内容により有酸素性の能力を高める持続的なトレーニングを中心に行う持久系種目、間欠的な運動形態であり無酸素性能力の向上を目指したトレーニング内容の多い瞬発系、各種ボールゲームである球技系の 3 つの競技特性群に分類し、持久系は 21 名(ボート選手 2 名、水泳選手 7 名、陸上中・長距離選手 9 名、競歩選手 3 名)、瞬発系は 40 名(陸上短距離選手 9 名、跳躍選手 6 名、投擲選手 8 名、フェンシング選手 6 名、競技チアリーディング選手 11 名)、球技系は 20 名(バレーボール選手 5 名、バスケットボール選手 9 名、ソフトテニス選手 4 名、卓球選手 1 名、ラグビー選手 1 名)であった。なお、事前に血液検査を行い、ヘモグロビン値が基準値 11.3g/dl 以下、血清鉄が $48 \mu\text{g/dl}$ 以下、フェリチンが 12ng/ml 以下及び総鉄結合能が $410 \mu\text{g/dl}$ より上昇した者を貧血と判断し⁶²⁾、分析対象から除外した。

被験者には、測定・調査に先立ち、研究の目的、測定項目およびその方法について十分に説明し書面にて同意を得た。なお、本研究は日本女子体育大学「人を対象とする実験・調査等に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。

2-2. 身体組成

身長および体重は、排尿を済ませた早朝空腹時に測定した。体脂肪率は、空気置換法体脂肪測定装置 BOD POD (Life Measurement Instruments 製) を用いて体密度を測定し、Brožek et al.の式⁶³⁾により推定した。また、体重から体脂肪量を差し引いて FFM を算出した。

2-3. BMR の測定

測定は月経期および黄体期を避けて実施し^{64), 65)}、運動群はそれぞれの種目の通常トレーニング期にあたる時期に測定を行った。被験者に測定前夜の午後 8 時まで通常通りの夕食をとらせ、被験者宿泊施設に宿泊させた。夕食後は安静を保ち、水またはお茶以外の飲食はしないように指示した。翌朝午前 6 時 30 分に起床させ、検温、採尿、体重測定をしたのち、23~25°C の快適な温度条件の室内でルドルフマスクを装着後 30 分以上仰臥させ、心拍数を計測して安静であることを確認し、仰臥位のままダグラスバックに呼気を 10 分間採取した。呼気は直ちに呼気ガス分析装置 AE-300 S R C (ミナト医科学 (株) 製) を用いて、酸素濃度および二酸化炭素濃度を分析するとともに、乾式ガスメーター DC-5 A ((株) 品川製作所製) にて換気量を測定した。これらのデータから酸素摂取量と二酸化炭素排出量を算出し、Weir の式⁶⁶⁾ を用いて 1 分あたりの BMR を求めた。さらに 1440 (分) を積算し、1 日あたりの BMR (kcal/day) とした。また、体重あたり (kcal/kg BW/day) 及び FFM あたり (kcal/kg FFM/day) の BMR も算出した。

2-4. 栄養摂取状況調査

被験者による自己記録法と写真撮影法の併用により、BMR 測定日前の 3 日間について食事調査を行った。被験者には自己記入式の食事調査票およびデジタルカメラを配布し、記入上の注意点を十分に説明したうえで喫食したものをできるだけ細かく記録させ、同時にすべてのものについてデジタルカメラでの撮影を依頼した。記録後に管理栄養士

が聞き取りを行い、材料及び分量を把握した。栄養計算には「五訂増補日本標準食品成分表」⁶⁷⁾に準拠した栄養計算ソフト WELLNESS21 ((株) トップビジネスシステム社製) を用いた。一部の加工食品およびサプリメントの分析には味蔵食品成分辞書 Ver.2.0 ((株) アドム製) を用いたほか、メーカーホームページ等に記載されている成分を用いた。

2-5. 統計処理

全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、SPSS Ver.16.0 (SPSS Inc.) を用いて行った。3 群間の比較は一元配置の分散分析と Tukey-Kramer 法を用いた。BMR とその他の変数(体重, FFM, 栄養摂取量等)との関係は Pearson の単相関係数および回帰式を求めた。さらに BMR に影響を及ぼす要因を検討するために、従属変数を BMR とし、説明変数を FFM, 体脂肪量, T₃ 値, エネルギー摂取量として重回帰分析(ステップワイズ法)を行い、BMR に対する説明変数の寄与率を求めた。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。

3. 結果

被験者の身体的及び生理的特性を表 2-1 に示した。身長、体重、LBM は持久系及び瞬発系と比較して球技系で有意に高値を示したが(p<0.01)、その他のパラメータについては 3 つの競技特性群間での有意差は認められなかった。血液性状はいずれの群においても正常値の範囲であり、いずれの群間の差も認められなかった。全体の BMR は 1 日あたり 1238 ±189kcal/day、体重当たり 22.2±3.0kcal/kg BW/day、FFM あたり 27.7 ±3.2kcal/kg FFM/day であった(表 2-2)。いずれの単位においても 3 群間に有意差は認められなかった。

図 2-1 に示したように、1 日あたりの BMR と体重との間には有意な正の相関関係が認められた (p<0.01)。また、図 2-2 に示したように、FFM と 1 日あたりの BMR との間にも有意な正の相関関係が認められた (p<0.01)。競技特性群別にみても FFM と BMR との間には有意な正の

相関関係が認められた(図 2-3、いずれも $p < 0.01$)。FFM と BMR との回帰式を比較したところ、いずれの群間においても傾きと切片に有意差は認められなかった。また、FFM と FFM あたりの BMR との関係を検討したところ相関関係は認められず、FFM 量の違いによる BMR の変動は見られず、競技特性群による特徴は認められなかった。

栄養摂取状況は、全ての栄養素およびエネルギー比率において有意差は認められなかった(表 2-3)。1 日あたりの BMR とエネルギー摂取量、たんぱく質摂取量及び炭水化物摂取量との間には、いずれも有意な正の相関関係が認められたが ($p < 0.01$)、相関係数は低かった(それぞれ $r = 0.37$, $r = 0.27$, $r = 0.35$)。

エネルギー代謝を亢進させる働きのある T_3 値は競技特性群間における有意差も認められなかった。運動群において、 T_3 と BMR との間には有意な正の相関関係($r = 0.40$, $p < 0.05$)が認められた。

また、BMR との間には有意な相関関係が認められたのは体重($r = 0.60$, $p < 0.01$)、FFM($r = 0.63$, $p < 0.01$)、 T_3 ($r = 0.40$, $p < 0.05$)、エネルギー摂取量($r = 0.37$, $p < 0.01$)、たんぱく質摂取量($r = 0.27$, $p < 0.01$)、脂質摂取量($r = 0.28$, $p < 0.01$)、炭水化物摂取量($r = 0.35$, $p < 0.01$)であった。また、因子間での相関が強かったのは身長と体重($r = 0.66$, $p < 0.01$)及び FFM($r = 0.60$, $p < 0.01$)、体重と体脂肪量($r = 0.85$, $p < 0.01$)、エネルギー摂取量とたんぱく質($r = 0.84$, $p < 0.01$)、脂質($r = 0.82$, $p < 0.01$)、及び糖質($r = 0.93$, $p < 0.01$)の摂取量であった。

そこで、スポーツ選手の BMR に影響を及ぼす因子を検討するために、FFM、体脂肪量、 T_3 及びエネルギー摂取量を説明変数として重回帰分析(ステップワイズ法)を行った結果、BMR の説明因子として FFM のみが選択されたモデル、FFM と T_3 が選択されたモデルが選ばれた(表 2-4)。女性競技者の BMR は FFM で 45.0% が説明できることが示され、 T_3 を加えることによって 50.3% が説明できることが示されたが、エネルギー摂取量は除外された。また、FFM と体脂肪量の代わりに体重を説明変数とした場合、BMR に対する FFM の寄与率(45.0%)に対し、体重の寄与率は 37.0% であった。FFM の推定標準誤差(Standard estimation

error: SEE)は 141kcal/day、体重では 151kcal/day であった。

4. 考察

本研究では、日常行っている種目の競技特性による BMR の違いは、一日当たり、体重当たり、FFM あたりのいずれの単位においても認められなかった。対象者は 13 種目にわたる競技の選手からなり、トレーニング内容や競技特性の違いから体重は 40.5~82.4kg、体脂肪率も 7.3~35.4%と分布範囲は広がった。女性競技者の至適体脂肪率は競技特性により違いがあるものの 12~22%の範囲と報告されており⁶⁸⁾、身体組成が競技パフォーマンスにも影響を及ぼすことが知られている^{69), 70)}。陸上長距離のように長時間にわたり自体重を移動させる競技では体重が軽く体脂肪量が少ないほうが有利に働くが、コンタクトスポーツのように体重が重いほうが有利な種目では FFM 量を増やすことにより体重を増やす必要がある。競技特性群ごとに検討すると、球技系選手の体格が持久系及び瞬発系選手よりも大きかったが、いずれの単位においても BMR に有意な差は認められなかった。Fogelholm et al.⁷¹⁾ は、女子体操選手(1326±105kcal)、女子フィギュアスケート選手(1326±127kcal)および女子サッカー選手(1333±115kcal)の FFM で調整した BMR には差がなく、競技特性による違いはなかったことを報告している。さまざまな種目の日本人男子選手を対象とした先行研究⁷²⁾ 及び女子選手を対象とした研究^{41), 45)}でも同様の結果が示されている。また、BMR と FFM との間には各群とも有意な正の相関関係が認められた(持久系: $r=0.60$, 瞬発系: $r=0.64$, 球技系: $r=0.64$, いずれも $p<0.01$)。そこで、本研究の競技特性群ごとの FFM と BMR との回帰式を求め、その傾きと切片を比較したところ、いずれの群間においても有意差は認められず、女性競技者の FFM と BMR との関係には競技特性による違いがないことが明らかとなった。

一般人を対象とした先行研究では、体重と体重当たりの BMR の間に

は負の相関関係が認められ、体重当たりの BMR を用いて評価する場合、実測値と比較して体重が軽い人は過小評価され、体重が重い人は過大評価される傾向にあることが示されている⁷³⁾。そこで、本研究の対象者において体重と体重当たりの BMR について検討したところ、有意な負の相関関係が認められ(回帰式 $y = -0.81x + 74$, $r = 0.31$, $p < 0.01$)、先行研究の結果と同様に体重が軽い人は過小評価され、体重が重い人は過大評価される傾向にあることが示された。しかし、FFM と FFM あたりの BMR との関係においては、相関は認められなかった(図 2-4)。

さらに、女性競技者の BMR を規定する要因をさぐるためにステップワイズ重回帰分析を行ったところ、説明変数として体重よりも FFM の寄与率の方が大きく、FFM により BMR の 45.0% を説明できることが明らかになった。これは体重の寄与率である 37.0% よりも高値であり、推定標準誤差も体重よりも FFM のほうがやや低かった(体重:151kcal/day vs. FFM:141kcal/day)。したがって、女性競技者の BMR(kcal/day) に対しては、体重よりも FFM がより多く影響を与えていると考えられる。BMR に対する FFM の寄与率は若年女性を対象とした高橋ら⁴⁵⁾の研究(43%)とほぼ同様の結果であり、本研究において競技者の BMR を規定する最も高い因子であった。また、薄井ら⁷³⁾の報告では中高年の場合、体脂肪量も BMR に若干の影響を及ぼすことが示されているが、本研究では体脂肪量は選択されず、体脂肪量の影響は小さいと考えられた。これらのことから、競技者の BMR は競技特性や体格に関係なく FFM を用いれば、適正に評価できることが示唆された。

また、FFM に次ぐ説明因子として T_3 があげられ、FFM に T_3 を加えることにより BMR の 50.3% を説明できることが明らかになった。本研究において T_3 と BMR について検討したところ、有意な正の相関関係が認められた($r = 0.40$, $p < 0.05$)。 T_3 などの甲状腺ホルモンは酸素消費や熱産生といった生体酸化反応や糖、たんぱく質、脂質代謝などの生体機能に関与し、エネルギー代謝を上昇させる作用がある。Loucks ら⁷⁴⁾は若

年女性を対象とした研究において、エネルギーバランスが負になると T_3 値が低下するが、食事により摂取エネルギーを増やすことで T_3 値は上昇したことを報告している。また、女性競技者でも習慣的なウエイトコントロール(減量)を行うことにより低 T_3 症候群を伴うことが報告されている。本研究ではウエイトコントロール中の選手は含まれておらず、対象者の T_3 値が正常範囲内であっても T_3 が高い方が **BMR** も高くなるという関係が認められたことから、 T_3 も競技者の **BMR** に影響を及ぼす因子であることが示唆された。

また、Thompson et al.⁷⁵⁾ は持久性競技者を対象とした研究からエネルギー摂取量は単独で **BMR** (kcal/day) の約 36%を説明できるとしている。すなわち、エネルギー摂取量が高いほど **BMR** も高いことが示されている。しかし本研究ではエネルギー摂取量は重回帰分析により選択されず、寄与率は低かった。本研究では持久系競技者のみでなく 15 種類の競技を行う幅広い体格とエネルギー消費の選手を対象としている点が先行研究とは異なっており、栄養摂取のしかたは選手により個人差が大きい状況であったためかも知れない。3 大栄養素の摂取量と **BMR** との間の相関関係が低かったことから考えても、競技者の **BMR** に及ぼす栄養摂取状況の影響は小さいと考えられた。

以上より、競技特性の異なる競技者において **BMR** の違いは認められず、身体組成(**FFM**)の影響を最も大きく受け、次いで T_3 が影響していることが明らかとなった。

本研究の限界は採気時間が短かったことである。FAO/WHO/UNU によるエネルギー必要量の測定条件は 10~15 分の採気を 2~3 回としている⁷⁶⁾。本研究では通常トレーニング期にある大学生競技者を対象としており、測定は大学の授業期間内に行われたものがほとんどである。そのため長時間の拘束を行うことが時間的に困難であり、採気時間が短かったことが本研究の限界としてあげられる。今後は測定時間を確保し、競技者の安静時代謝について更なる検討を加える必要があると考えられ

た。

5. 要約

競技特性の異なる種目を行う女性競技者 81 名を対象として基礎代謝量(BMR)の測定を行い、競技特性により差があるかどうかを検討した。競技特性別に比較すると、1 日当たり、体重あたり、FFM あたりのいずれの単位においても BMR に有意差はなく、BMR と FFM との回帰式の傾きと切片にも差は認められなかった。FFM と FFM 当たりの BMR には相関関係は認められなかった。また運動群の BMR は FFM のみによって 45.0%が説明でき、 T_3 を加えることで 50.3%が説明できることが明らかとなった。

以上より、競技特性の異なるスポーツ選手の BMR に差は認められず、競技特性や体格の影響よりも、身体組成(FFM)の影響が最も大きく、次いで T_3 が影響していることが明らかになった。

表2-1 被験者の身体的および生理的特徴

	全種目 n=81	持久系 n=21	瞬発系 n=40	球技系 n=20
年齢(歳)	20.3±1.2	20.3±1.5	20.0±1.2	20.3±1.3
競技歴(年)	7.8±3.8	9.2±5.1	6.3±4.0	9.4±2.8
身長(cm)	162.3±6.5	161.5±5.3	160.9±5.5	167.4±7.1 ^{ac}
体重(kg)	56.4±7.9	54.2±7.0	56.1±7.2	61.0±8.0 ^b
BMI (kg/m ²)	21.4±2.3	20.8±2.7	21.6±2.3	21.8±2.2
体脂肪率(%)	20.4±5.1	20.1±4.8	19.1±4.6	20.7±5.5
FFM(kg)	44.8±5.0	43.1±3.9	45.2±4.0	48.3±4.7 ^{ad}
体脂肪量(kg)	11.7±4.1	11.1±4.2	10.9±4.0	12.8±4.5
安静時心拍数(拍/分)	51±7	49±6	50±6	50±5
基礎体温(°C)	35.7±0.5	35.9±0.4	35.7±0.5	35.8±0.4
Hb (g/dl)	13.3±0.8	13.5±0.8	13.2±0.8	13.3±1.0
血清鉄(μ g/dl)	114±49	138±51	114±52	90±30
フェリチン(ng/ml)	27±19	22±13	26±16	31±22
TIBC(μ g/dl)	350±43	360±30	347±39	343±40
T ₃ (ng/ml)	1.02±0.14	0.99±0.11	1.03±0.13	1.05±0.16

平均値±標準偏差

FFM: 除脂肪量, Hb: ヘモグロビン濃度, TIBC: 総鉄結合能, T3: トリヨードサイロニン

検定方法はTukey-Kramer法を用いた。

a) vs持久系 p<0.01, b) vs持久系 p<0.05, c) vs瞬発系 p<0.01, d) vs瞬発系 p<0.05

表2-2 被験者の基礎代謝量

	全種目 n=81	持久系 n=21	瞬発系 n=40	球技系 n=20
1日あたり(kcal/day)	1238 ± 189	1214 ± 161	1238 ± 184	1322 ± 207
体重あたり(kcal/kg BW/day)	22.2 ± 3.0	22.5 ± 3.0	22.2 ± 3.0	21.9 ± 3.0
FFMあたり(kcal/kg FFM/day)	27.7 ± 3.2	28.0 ± 3.5	27.4 ± 3.4	27.6 ± 3.5

平均値 ± 標準偏差

BW: 体重 FFM: 除脂肪量

表2-3 被験者の栄養摂取状況

	全種目 n=81	持久系 n=21	瞬発系 n=40	球技系 n=20
エネルギー	1989±466 (kcal)	2261±457	1890±460	2124±498
	35.5±8.2 (kcal/kg BW)	42.1±8.8	33.7±8.3	35.1±8.3
	44.6±9.8 (kcal/kg FFM)	52.7±10.3	41.7±10.1	44.1±9.7
たんぱく質	65.9±16.7 (g)	74.8±16.0	60.1±16.9	72.3±18.4
	1.2±0.3 (g/kg BW)	1.4±0.3	1.1±0.3	1.2±0.3
	1.5±0.4 (g/kg FFM)	1.7±0.4	1.3±0.4	1.5±0.4
脂質	65.6±18.0 (g)	73.9±16.3	63.1±16.9	72.1±18.9
炭水化物	280.2±71.8 (g)	320.4±70.0	266.8±72.2	293.1±77.9
	5.0±1.3 (g/kg BW)	6.0±1.2	4.8±1.3	4.8±1.3
	6.3±1.5 (g/kg FFM)	7.4±1.5	5.9±1.6	6.1±1.5
カルシウム	541±245 (mg)	563±209	507±250	612±260
鉄	7.3±2.5 (mg)	8.9±2.9	6.6±2.6	7.6±2.9
ビタミンA	273±315 (μg)	398±416	192±269	296±330
ビタミンB ₁	0.93±0.46 (mg)	1.17±0.96	0.88±0.55	0.89±0.25
ビタミンB ₂	1.35±1.45 (mg)	2.00±3.01	1.15±1.81	1.27±0.33
ビタミンC	224±359 (mg)	207±187	219±215	277±693
エネルギー比率				
たんぱく質	13.2±2.0 (%)	13.3±1.7	12.7±1.9	13.6±2.1
脂質	29.7±4.8 (%)	28.9±3.1	30.2±4.6	30.5±4.7
炭水化物	57.1±5.1 (%)	57.8±3.5	57.1±5.2	55.8±5.5

平均値±標準偏差 BW: 体重, FFM: 除脂肪体重

表2-4 ステップワイズ重回帰分析によって得られた結果

変数	B	SEB	β	r
ステップ1				
FFM	25.314	2.869	0.671	0.671*
R^2	0.450			
ステップ2				
FFM	23.413	2.809	0.621	0.671*
T ₃	314.357	99.777	0.235	0.709*
R^2	0.503			
ΔR^2	0.053			

B: 標準回帰係数, SEB: 回帰係数の標準誤差, β : 標準偏回帰係数, r: 相関係数,
 R^2 : 決定係数, ΔR^2 : R^2 の増加量, *: $p < 0.01$

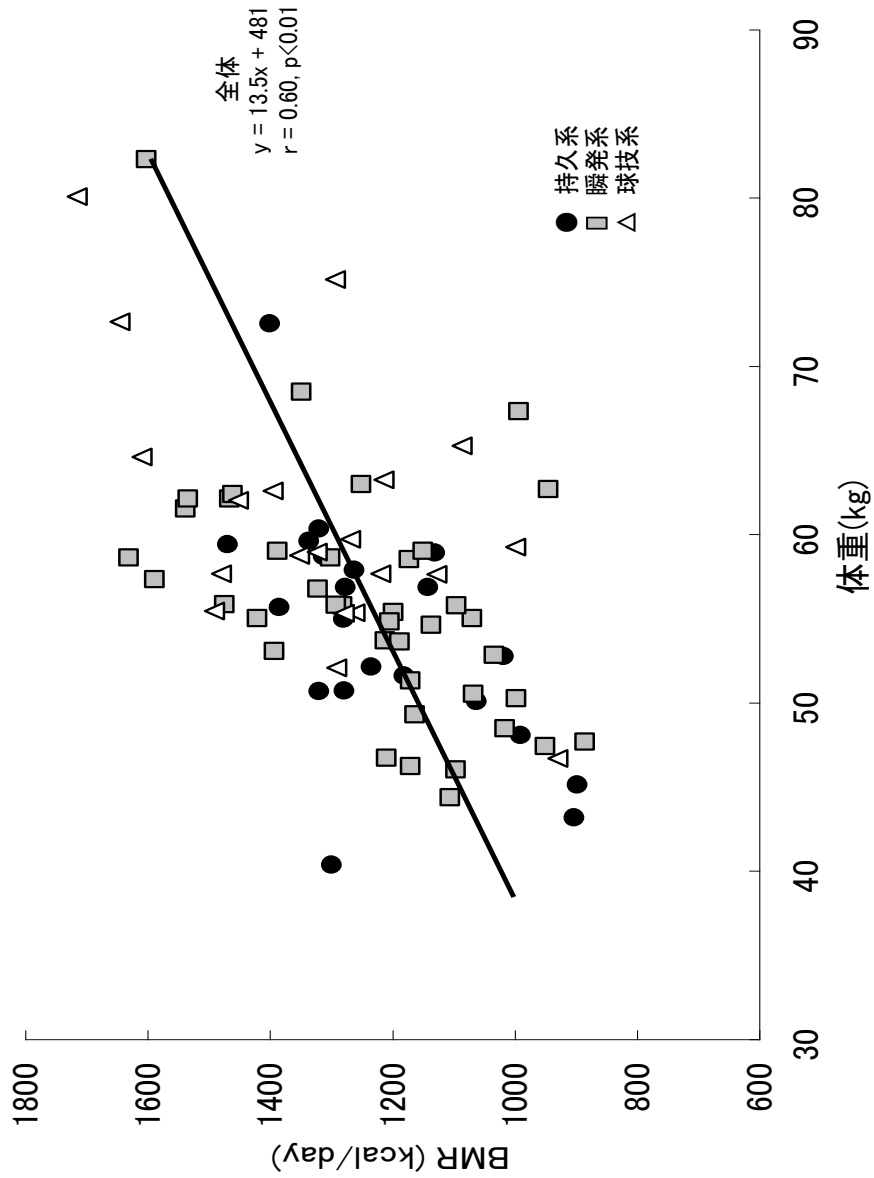


図2-1 体重と基礎代謝量との関係

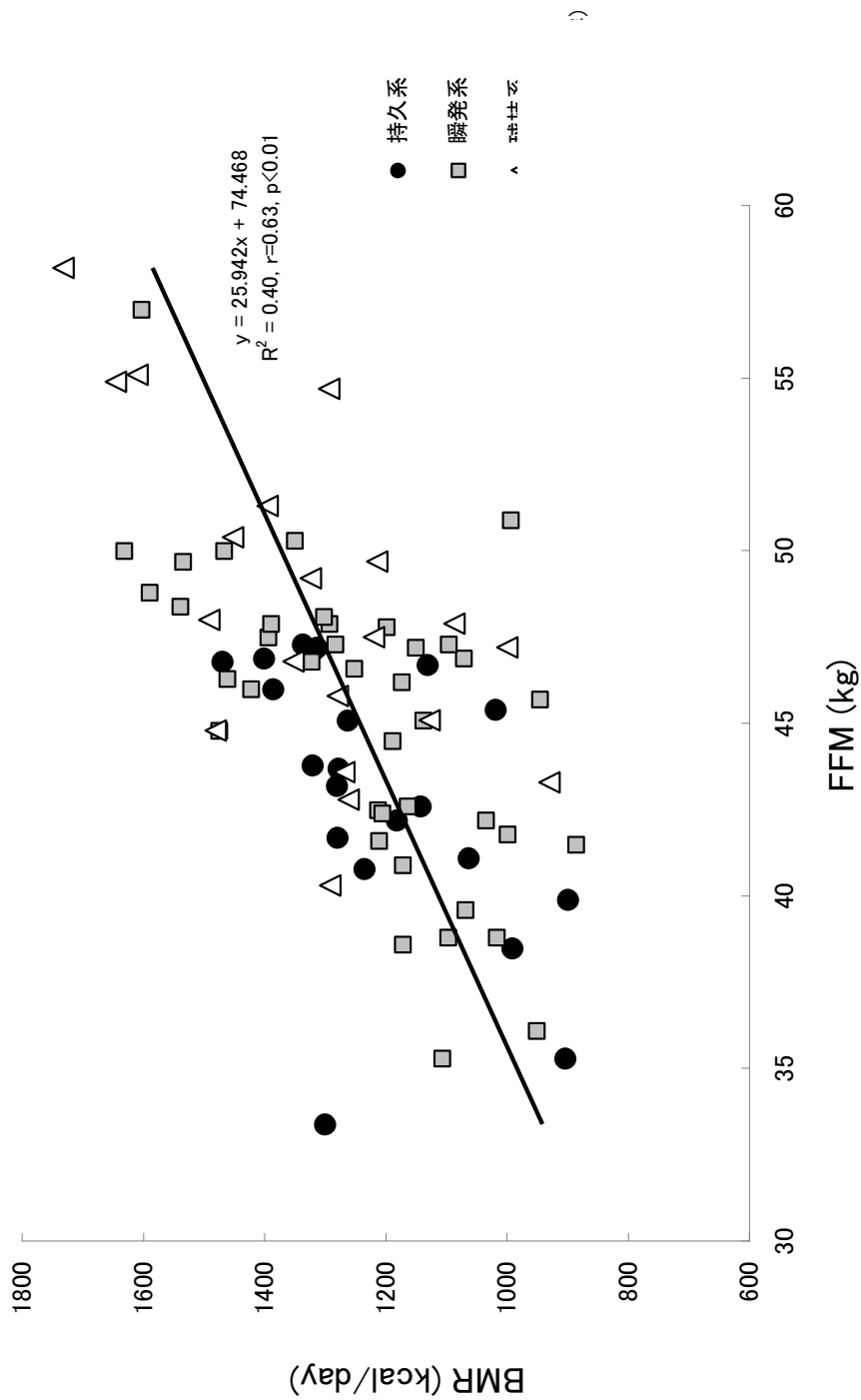


図2-2 FFMと基礎代謝量との関係

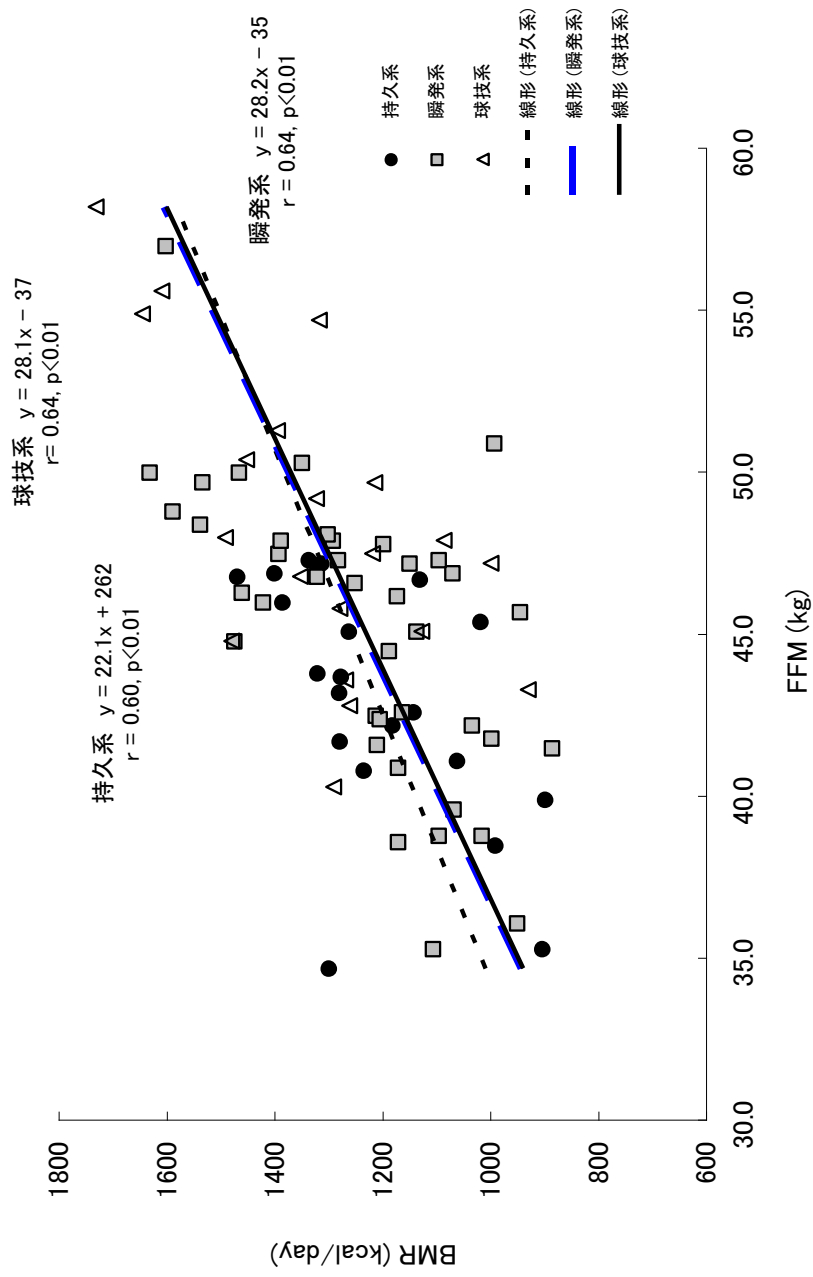
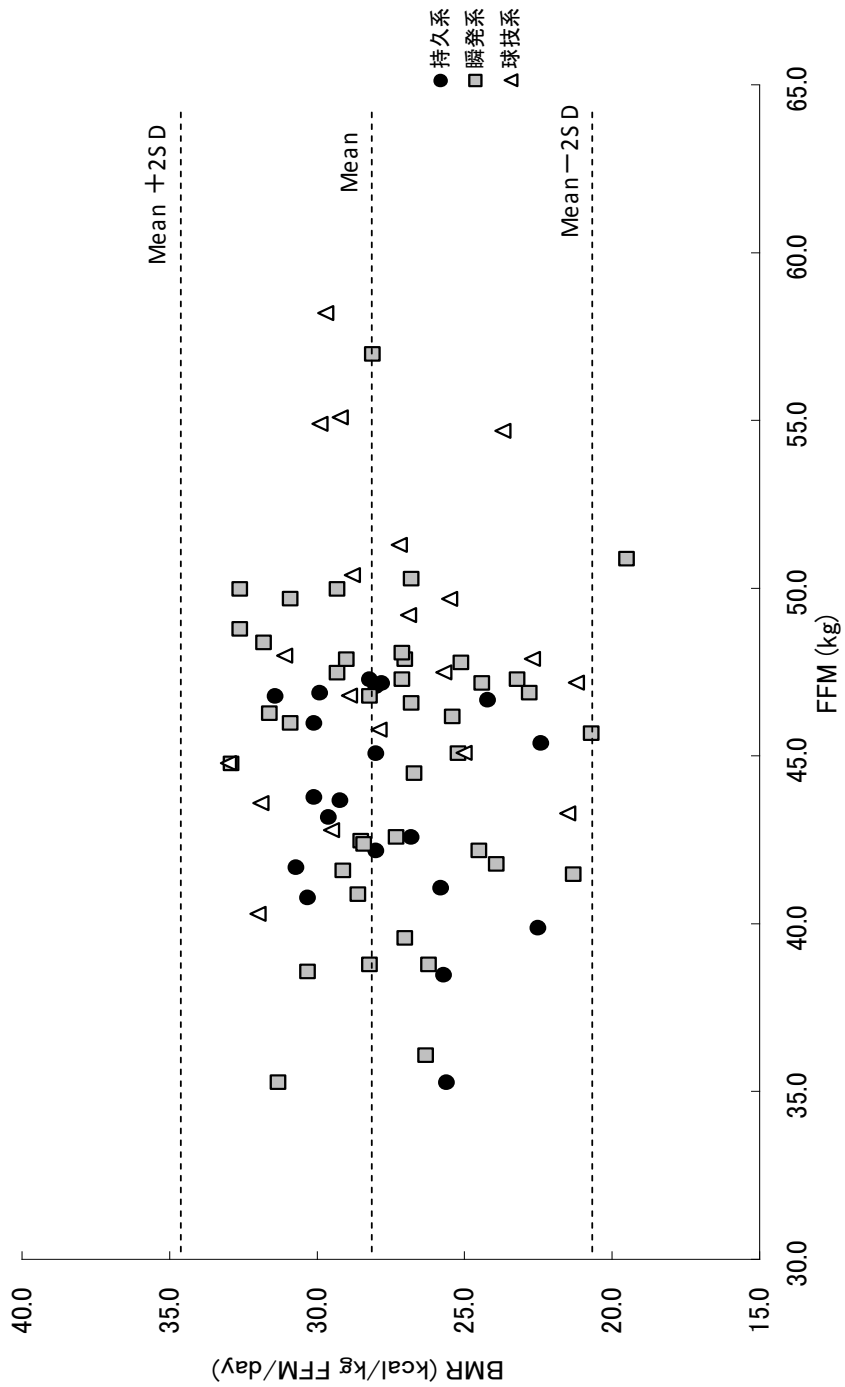


図2-3 競技特性群別のFFMと基礎代謝量との関係



第 3 章

女性選手の基礎代謝量に及ぼす

身体組成の影響

The relation between body composition and
basal metabolic rate in Japanese female athletes

(J. Nutr. Sci. Vitamiol., 57(1), 2011, in press)

1. 緒言

エネルギーバランスを維持することは、女性競技者のコンディショニングにとって大変重要である。エネルギー摂取量が消費量と比較して不十分な状態ではトレーニング時のエネルギー源として体たんぱくや体脂肪が利用されるだけでなく、必要な栄養素の摂取も不足しやすくなり、健康を阻害することにつながる。さらに、エネルギー不足が継続的に続けば、月経異常、骨粗鬆症、摂食障害、貧血などの女性選手特有の問題を引き起こすことが報告されている⁷⁷⁻⁷⁹⁾。したがって、女子競技者にとってエネルギー消費量に見合うエネルギー量を摂取するような食事管理が必要不可欠である。

一般人を対象とした「日本人の食事摂取基準(2010年版)」においては、推定エネルギー必要量(estimated energy requirement : EER)は BMR を用いて評価する式が採用されている⁸⁰⁾。BMR は年齢、性別、体格及び身体組成 (FFM 量や脂肪量) などにより影響を受けることが報告されており、このうち年齢、性別、FFM で REE の 80%が説明できることが報告されている^{1), 2), 81), 82)}。

一方、日本人女性競技者の BMR についての報告^{14), 41) 45)}によれば、競技者は一般人と比較して体脂肪が少なく、FFM が多いという特徴があり、競技者の BMR の決定因子として FFM が最も影響することが報告されている。FFM は代謝活性が高い内臓諸器官や代謝活性の低い筋肉などの組織を含んでおり、代謝的に均一の組織ではない^{44), 48), 83)}。また、女性選手の体格と身体組成は、種目や競技特性、階級などにより大きく異なる。たとえば自体重を遠くへ早く運搬することを競う長距離選手では、体格は比較的小さくて体脂肪が少ない方が有利であり、体重が 30kg 台の選手もいる。一方、柔道重量級や砲丸投げなどの選手では、FFM 量が多く体格が大きい方が有利であり、体重は 100kg

を超えることもある。このように女性競技者の体重は広範囲に分布しており、体格や身体組成が異なる幅広い範囲の競技者を対象として身体組成と BMR との関連を検討した研究はみられない。

さらに、トレーニングの結果として、代謝率は変化するのか、組織・臓器量が増えるのかについて、女性競技者では知られていない。Midorikawa et al.⁵⁴⁾ は MRI を用いて体格の大きい相撲選手の臓器量を測定し、代謝率を一般人と比較したところ、代謝率はどちらも変わらず、相撲選手の BMR 推定には組織臓器量を見積もることが重要であることを報告している。しかしながら、性ホルモンなどの内分泌状況が明らかに異なる男性競技者の結果が女性競技者にも当てはまるかどうかは不明である。

Usui et al.⁵³⁾ は DXA 法を用いて若年女性及び中高年女性を対象に身体組成を測定し、BMR との関連を検討した。身体組成は組織臓器レベルで体脂肪(adipose tissue : AT), 骨格筋(skeletal muscle : SM), 骨量(bone mass : BM), 及び残余組織 (residual mass : RM) の 4 つに分類して分析している。RM は体重から AT, SM, BM を差し引いて求め、心臓、腎臓、脳、肝臓、脾臓、消化器官などの代謝率の高い臓器を含んだ代謝率の高い組織と位置付け、AT, SM, BM は代謝率の低い組織として位置付けている。彼らは DXA 法により推定したこの 4 つの組織器官の重量が適切に見積もられれば、年齢や有酸素性能力が異なる女性において BMR を高い精度で推定できることを示唆している。しかし、女性を対象にしているとはいえ、対象者は日々高強度トレーニングを行う競技者ではなく、体格も比較的限られた範囲でしかない。したがって、女性競技者にこの結果が適応できるかについても明らかになっていない。

そこで本研究では、幅広い体格の女性競技者において、身体組成と BMR との関連を検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は、体育系大学において様々な競技種目の運動部またはチームに所属する健康な大学生女子選手 93 名であった。測定にあたり血液検査を行い、貧血ではなく、エネルギー代謝を亢進させるホルモンである甲状腺ホルモン(Triiodothyronin: T_3)が正常値範囲内であること、測定 3 ヶ月以内にウエイトコントロールを実施した経験がないことを確認した。選手の競技レベルはいずれも全日本大学選手権大会または関東大学選手権大会に出場するレベルであった。また、いずれも通常のトレーニング期であり、月経周期は卵胞期前期に測定を実施した。体重に応じて S サイズ($<\text{mean BW}-0.5\text{SD}$)、M サイズ($\text{mean BW}\pm 0.5\text{SD}$)及び L サイズ($>\text{mean BW}+0.5\text{SD}$)の 3 群に分類し、それぞれの人数は 34 名、34 名、25 名であった。群ごとの競技種目の内訳を Table3-1 にまとめた。

被験者には、測定・調査に先立ち、研究の目的、測定項目およびその方法について十分に説明し書面にて同意を得た。なお、本研究は日本女子体育大学「人を対象とする実験・調査等に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。

2-2. 身体組成の測定

身長は身長計(ST-2M; 株ヤガミ, Tokyo, Japan)、体重は A&D 体重計(UC-321; A&D Co., Ltd., Tokyo, Japan)を用いて、早朝空腹時に測定し、Body mass index (BMI: kg/m^2)を算出した。身体組成は、体脂肪率、骨塩量(bone mineral content : BMC)及び四肢の除脂肪軟組織量(appendicular lean soft tissue : ALST)を DXA (Hologic QDR-4500 DXA scanner; Hologic Inc., Waltham, MA)を用いて測定した。また、体重から体脂肪量を差し引いて FFM を算出した。

組織器官量は先行研究で報告されている方法に従い推定した。BM は BMC に 1.85 を乗じて求めた^{84), 85)}。AT は FM に 1.18 を乗じて算出した⁵¹⁾。SM は Kim et al.⁸⁶⁾のモデルを用いて求めた。RM は体重から BM, AT 及び SM を差し引いて求めた。各組織臓器量の推定式は以下の

とおりである。

$$BM(kg)=BMC(g)\times 1.85/1000,$$

$$AT(kg)=FM(kg)\times 1.18,$$

$$SM(kg)=1.13\times ALST(kg) - 0.02\times age(years)+0.97,$$

$$RM(kg)=BW-(BM+AT+SM)$$

2-3. BMR の測定(measured BMR : BMRm)

測定は月経周期の卵胞期に実施した。被験者に測定前夜の午後 8 時まで通常通りの夕食をとらせ、被験者宿泊施設に宿泊させた。夕食後は安静を保ち、水またはお茶以外の飲食はしないように指示した。翌朝午前 6 時 30 分に起床させ、検温、採尿、体重測定をしたのち、23~25 度の快適な温度条件の室内でルドルフマスクを装着後 30 分以上仰臥させ、心拍数を計測して安静であることを確認し、仰臥位のままダグラスバックに 10 分間の呼気を 2 回採取した。呼気は直ちに呼気ガス分析装置 AE-300S (ミナト医科学 (株) 製) を用いて、酸素濃度および二酸化炭素濃度を分析するとともに、乾式ガスメーター DC-5 A ((株) 品川製作所製) にて換気量を測定した。これらのデータから酸素摂取量と二酸化炭素排出量を算出し、Weir の式⁶⁾を用いて 1 分あたりの BMR を求めた。さらに 1440 (分) を積算し、1 日あたりの BMR (kcal/day) とした。また、体重あたり (kcal/kg BW/day) 及び FFM あたり (kcal/kg FFM /day) の BMR も算出した。

2-4. BMR の推定

推定 BMR(estimated BMR : BMR_e)は、4 つ(BM, AT, SM, RM)の組織器官重量に、先行研究で報告された各組織器官の代謝率^{45), 46), 51), 87), 88)}を乗じて求めたものを合算した。推定式は以下の通りである。

$$BMR_e \text{ (kcal/day)} = 2.3BM+4.5AT+13SM+54RM$$

2-5. 食事調査

エネルギー及び各栄養素の摂取量は、9日間の食事記録と写真撮影を被験者に行わせ、管理栄養士が聞き取り調査を実施した。分析には五訂増補日本食品標準成分表⁶⁷⁾に準拠した栄養計算ソフト Wellness21(トップビジネス(株)製)を用いた。

2-6. 血液検査

早朝空腹時に肘静脈より採血し、貧血指標としてヘモグロビン (Hb)、血清鉄 (Fe)及び血清フェリチン濃度(Fr)を分析した。また、エネルギー代謝に影響を及ぼす甲状腺ホルモン T₃、女性ホルモンとしてエストラジオール(E₂)及びプロゲステロン(Pr)濃度を分析した。分析は SRL(株)に依頼した。

2-7. 最大酸素摂取量の測定

自転車エルゴメーター(Aerobike75XL-II; Combi Wellness Corp., Tokyo, Japan)を用いた漸増負荷法により最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)を測定した。最大時の評価として、(1) $\dot{V}O_2$ のレベリングオフの発現、(2)最大心拍数が220-年齢に達していること、(3)呼吸交換比Rが1.1を超えていること、及び(4)主観的運動強度(RPE)が19または20に達していること、の4つのうち3つの条件を満たしたものをもって最大と判断した。

2-8. 統計処理

全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、SPSS Ver.16.0 (SPSS Inc.)を用いて行った。3群間の比較は一元配置の分散分析(one-way ANOVA)により有意差が認められた場合、等分散性が認められた場合は Scheffe の方法、等分散性が認められなかった場合は Dunnett の方法を用いて分析した。REE とその他の変数との関係は Pearson の単相関係数および回帰式を求め

た。REE の実測値と推定値の差は対応のある *t*-test を実施した。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。

3. 結果

被験者の身体的特性を Table3-2 にまとめた。身長、体重、BMI、FM 及び FFM は体格が大きくなるに従い有意に増加した。体脂肪率は M 群及び L 群と比較して S 群で有意に低値であった。安静時心拍数、体温および競技歴は 3 群間で有意な差は認められなかった。最大酸素摂取量は S 群が最も高値であった。栄養摂取状況を Table3-3 に示した。エネルギーおよび糖質の 1 日当たりの摂取量が群により有意差が認められたが、FFM あたりの摂取量および 3 大栄養素のエネルギー比率は 3 群間で差は認められなかった。

Figure3-1 に 4 つの組織器官の組成を示した。RM, SM, AT, 及び BM の絶対値は体格が大きくなるにつれて有意に増加したが、RM の割合は体格が大きくなるにつれて低下した(S: 31.9%, M: 30.2%, L: 27.1%)。また、体重に占める SM の割合は S 群が 40.3%、M 群が 37.8%であり有意差が認められた。AT は S 群で他の 2 群よりも低値であり(S: 20.3%, M: 24.8%, L: 26.6%)、BM は S 群で他の 2 群と比較して高値であった(S: 7.6%, M: 7.2%, L: 7.0%)。

Table 3-4 に BMR 実測値をまとめた。1 日当たりで見ると体格が大きくなるにつれて高値を示した(S: 1111±150 kcal/day, M: 1242±133 kcal/day, L: 1478±138 kcal/day)。しかし、FFM あたりの値は群間で有意差は認められなかった。Figure3-2 及び Figure3-3 に体重および FFM と BMRm(kcal/day)との相関を示した。どちらも有意な正の相関関係が認められた(体重; $r=0.81$, $P<0.001$, FFM; $r=0.82$, $P<0.001$)。

Figure3-4 には 1 日の BMRe と各組織器官からの BMRe を示した。体格が大きくなるにつれて 1 日の BMRe も増加し(S: 1130±82 kcal/day, M: 1279±73 kcal/day, L: 1458±119 kcal/day)、その内訳は体格が大き

なるに従い SM の増加量が大きくなり RM もやや増加したが、RM からの BMR の相対的割合は低下した。S 群では他の 2 群と比較して AT からの BMR は低く、BM からの REE は 3 群とも低値であった。Figure3-5 に示した通り、実測値と推定値との間には強い相関関係が認められた ($r=0.77$, $p<0.001$)。

4. 考察

本研究の主な知見は、幅広い体格の女性選手の BMR は体格が大きくなるにつれて大きくなるが、このことは FFM 量が増加することによるものであり、組織器官の代謝率の変化ではないということが示唆されたことである。したがって、BMR は体格に関係なく FFM を用いて評価することができることが明らかになった。

本研究の特徴は、身長幅 155–165 cm、体重幅 48–60 kg であった先行研究^{14), 41)}と比較して、身長幅 149–181 cm、体重幅 38–83 kg という幅広い体格の女子選手を対象に BMR を実測したことである。競技特性により体格は異なるため、各群には Table3-1 に示した通り種目の異なる選手が含まれている。S 群は陸上長距離種目や体操の選手、M 群は各種球技種目の選手、L 群は柔道や投擲の選手が含まれ、このような被験者を対象とした先行研究は見られない。

Midorikawa et al.⁵⁴⁾ は MRI を用いて測定した FFM が一般人よりも 25kg も多い相撲選手を対象に BMR を比較しているが、FFM あたりの BMR に差は認められず、組織器官の代謝率に差がないためであると報告している。しかし、身体組成や内分泌状況の異なる男性を対象とした結果が女性に適応できるかは不明である。本研究では身体組成の測定には DXA 法を用い、Usui et al.⁵³⁾の先行研究に示された 4 つの組織器官の推定モデルを用いて重量を求めている。その結果、体格の大きい選手は小さい選手と比較して RM, SM, AT, BM の 4 つの組織器官重量がいずれも大きくなることが明らかとなった。AT 及び BM はそれぞれ 1kg 当

たり 4.5kcal と 2.3kcal と代謝率が低いため、SM 及び RM について検討した。SM 及び RM の合計値は FFM のうちの 3 分の 2 を占めているため、これらの量が BMR に影響することが考えられる。事実、SM 及び RM からの REE は全体の BMR の 90%以上を占めていた(Figure3-4)。L 群と S 群の差は SM が 7.8 kg (40%)、RM が 2.4 kg (22%)であった。すなわち、SM の増え方は RM の増え方と比較して 2 倍に相当する。FFM の合計 (RM+SM+BM)では、L 群は S 群より 13.8 kg (35%)多かった。このことから、体格が大きくなるに従って増加する FFM は、SM の増加が多くを占め、同時に RM もやや増加すると考えられる。FFM は代謝的に均一の組織ではなく^{48), 83)}、RM は内臓諸器官を含むため代謝率が高く(54 kcal/kg)、SM (13 kcal/kg)や BM (2.3 kcal/kg)は代謝率が低い。本研究では 1 日当たりの BMR は体格とともに大きくなり、BMR は FFM と強い正の相関関係が認められた(Figure3-3)。

しかし、日常的に高強度トレーニングを行う女子選手の組織器官の代謝率が変化するのかどうか、あるいは FFM の量的な変化により BMR が高くなるのかについては、疑問が残る。Usui et al.⁵³⁾、Later et al.⁴⁷⁾、Midorikawa et al.⁵⁴⁾の先行研究においては、代謝率の変化はないことが報告されているが、いずれも女性競技者を対象とした研究ではない。

そこでこの疑問を解決するために、これまでに報告されている 4 つの組織器官の代謝率を本研究対象者の身体組成の値にあてはめて BMR を推定してみたところ、Figure3-5 に示したように BMR_m と BMR_e はよく相関し ($r=0.77$, $p<0.001$)、Figure3-4 に示したように体格群別の実測値と推定値もよく一致し、FFM の増加とともに大きくなるという実測値と同様の状況を示した。これらのデータは、女性競技者の BMR は組織器官量の変化により影響を受け、組織器官の代謝率の変化によるものではないことを示唆している。したがって、女性競技者の BMR は体格に関係なく FFM により評価できると考えられた。

本研究の限界として、組織器官重量を MRI により実測していないこ

と、組織器官の代謝率を実測していないことがあげられる。DXA法はこれらを測定するには方法論的な限界がある。また、被験者が大学生競技者に限定されていることも挙げられる。BMRの個人内変動や一定の運動後のBMRの変化について、より競技レベルの高い女性競技者に対象を広げて検討をすることが必要である。

以上より、幅広い体格の女性選手のBMRは体格が大きくなるにつれて大きくなるが、このことはFFM量が増加することによるものであり、組織器官の代謝率の変化ではないということが示唆された。したがって、BMRは体格に関係なくFFMを用いて評価することができることが明らかになった。

5. 要約

エネルギー要求量は基礎代謝量(BMR)により推定できる。しかし、女性競技者の BMR に影響を及ぼす体格の影響についてはほとんど知られていない。そこで本研究では、幅広い体格の女性選手を対象に BMR と身体組成の関連について検討した。対象者は女性選手 93 名であり、年齢 20.3 ± 1.3 歳、身長 162.8 ± 6.4 cm, 体重 57.0 ± 9.2 kg, 除脂肪量 (FFM) 45.4 ± 6.2 kg であり、体格により以下の 3 群に分類した: S サイズ(n=34), M サイズ (n=34), L サイズ(n=25)。身体組成の測定は二重エネルギー X 線吸収法(DXA 法)を用いて測定し、4 つの構成要素(骨格筋(SM), 体脂肪(FM), 骨(BM), その他の組織(RM))の重量を推定した。BMR の測定(BMR_m)はダグラスバックを用いた間接法により行った。BMR_m は体格群により有意な差が認められた(S: 1093 ± 143 , M: 1226 ± 201 , L: 1450 ± 209 kcal/day)。身体組成の構成要素量も異なり、体格が大きくなるに連れて RM と SM の量が増加した。BMR_m と FFM との間には強い正の相関関係が認められ、BMR_m と各構成要素のエネルギー代謝率から求めた推定 BMR(BMR_e) もよく一致した。

以上より女性競技者の BMR は臓器・組織の代謝率の変化ではなく、臓器・組織の量の変化によるものであることが示唆された。すなわち、BMR の変化は主に FFM 量の変化により説明でき、女性選手の安静時代謝量は体格にかかわらず除脂肪量 (FFM) により評価できることが明らかとなった。

Table3-1 Composition of the each group

Small-size athletes (n=34)	Medium-size athletes (n=34)	Larg-size athletes (n=25)
Middle and long distance runner (n=9)	Lacrosse player (n=10)	Shot putter (n=7)
Rhythmic gymnast (n=6)	Swimmer (n=9)	Rower (n=5)
Lacrosse player (n=5)	Judo wrestler (n=7)	Judo wrestler (n=5)
Walker (n=3)	Middle and long distance runner (n=3)	Basketball player (n=4)
Cheerleader (n=3)	Walker (n=2)	Weight lifter (n=2)
Sprinter (n=2)	Sprinter (n=1)	Sprinter (n=1)
Swimmer (n=2)	Rhythmic gymnast (n=1)	Swimmer (n=1)
Jumper (n=1)	Basketball player (n=1)	
Badminton player (n=1)		
Judo wrestler (n=1)		
Rower (n=1)		

Table3-2 Subject characteristics

	All (n=93)	S (n=34)	M (n=34)	L (n=25)
Age (years)	20.3±1.2	20.2±1.3	20.1±1.0	20.5±1.4
Height (cm)	162.8±6.4	159.5±5.6	161.9±5.2	168.4±5.3 ^{*,†}
BW (kg)	57.0±9.2	48.1±3.6 [*]	56.9±2.5	69.2±5.5 ^{*,†}
BMI (kg/m ²)	21.5±2.9	18.9±1.3 [*]	21.7±1.4	24.5±2.7 ^{*,†}
Percentage of body fat (%)	20.0±3.9	17.1±2.7 [*]	21.0±3.0	22.4±4.3 [†]
FM (kg)	11.6±3.8	8.3±1.6 [*]	12.0±1.9	15.6±3.7 ^{*,†}
FFM (kg)	45.4±6.2	39.8±2.8 [*]	44.9±2.1	53.6±3.8 ^{*,†}
RHR (bpm)	52±6	51±6	52±6	52±6
BBT (°C)	35.9±0.3	35.9±0.4	36.0±0.3	35.8±0.4
Athletic history (years)	8.4±4.5	8.2±4.3	8.7±5.1	8.0±3.0
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	46.7±8.2	49.3±9.9	47.6±5.2	41.6±5.0 ^{*,†}

Values are means±s.d.

BW: body weight, BMI: body mass index, FFM: fat-free mass, FM: fat mass, RHR: resting heart rate, BBT: basal body temperature

Significance was determined by one-way analysis of variance (one-way ANOVA)

* significantly different vs M group

† significantly different vs S group

Table3-3 Daily energy and nutritional intakes from 9-day food records

	All	S	M	L
Energy (kcal)	2289±528	2146±443	2222±455	2683±653 ^{*†}
(kcal/kg BW)	41.1±9.1	44.8±8.6	39.1±7.9	38.8±11.0 ^{*†}
(kcal/kg FFM)	51.2±10.9	54.0±10.8	49.5±10.1	50.3±12.9
Protein (g)	73.8±17.3	71.1±14.2	70.7±15.8	84.9±21.7 ^{*†}
(g/kg BW)	1.3±0.3	1.5±0.3 [*]	1.2±0.3	1.2±0.4
(g/kg FFM)	1.7±0.4	1.8±0.4	1.6±0.3	1.6±0.4
Fat (g)	75.7±17.0	72.0±14.3	74.7±14.8	84.4±23.2
Carbohydrate (g)	322.2±82.6	299.1±70.1	310.0±73.6	388.4±93.6 ^{*†}
(g/kg BW)	5.8±1.4	6.2±1.3	5.5±1.3	5.6±1.6
(g/kg FFM)	7.2±1.7	7.5±1.7	6.9±1.6	7.3±1.9
Calcium (mg)	550±188	612±217	497±168	552±151
Iron (mg)	8.5±2.6	8.8±2.9	7.7±2.3	9.5±2.5 ^{*†}
Vitamin A (μ gRE)	667±733	666±556	690±975	621±373
Vitamin B ₁ (mg)	1.17±0.61	1.00±0.22	1.20±0.79	1.37±0.64
Vitamin B ₂ (mg)	1.44±0.72	1.33±0.32	1.45±0.96	1.60±0.64
Vitamin C (mg)	203±160	221±189	162±114	258±181
Protein Energy (%)	13.0±1.6	13.4±1.6	12.8±1.5	12.7±1.5
Fat Energy (%)	29.9±2.9	30.3±2.7	30.4±3.0	28.1±2.6
Carbohydrate Energy (%)	57.1±3.5	56.3±2.9	56.8±3.9	59.1±3.3 [†]

Values are means±s.d.

Significance was determined by one-way analysis of variance (one-way ANOVA)

* significantly different vs M group

† significantly different vs S group

Table3-4 Blood analysis of the subjects

	All	S	M	L
Hb (g/dl)	13.0±0.9	13.0±0.9	13.0±0.9	12.9±0.9
Serum iron (μ g/dl)	109±43	109±39	106±37	114±59
Fr (ng/ml)	24.9±17.1	28.4±20.1	23.4±15.7	21.9±14.3
T ₃ (ng/ml)	0.95±0.13	0.90±0.14	0.98±0.13	0.96±0.12
E ₂ (pg/ml)	84±83	93±91	86±85	63±69
Pr (ng/ml)	1.07±1.44	0.89±1.07	1.28±1.88	0.94±0.97

Values are means±s.d.

Hb: hemoglobin, Fr: ferritin, T₃: triiodothyronine, E₂: estradiol, Pr: progesterone

Table3-5 Measured BMR of the subjects

	All	S	M	L
BMRm				
kcal/day	1258 ± 202	1111 ± 150*	1242 ± 133	1478 ± 138 ^{*,†}
kcal/kg BW/day	22.1 ± 2.2	23.0 ± 2.5	21.8 ± 2.1	21.3 ± 1.8 [†]
kcal/kg FFM/day	27.7 ± 2.6	27.8 ± 2.7	27.7 ± 2.7	27.6 ± 2.3

Values are means ± s.d.

Significance was determined by one-way analysis of variance (one-way ANOVA)

* significantly different vs M group

† significantly different vs S group

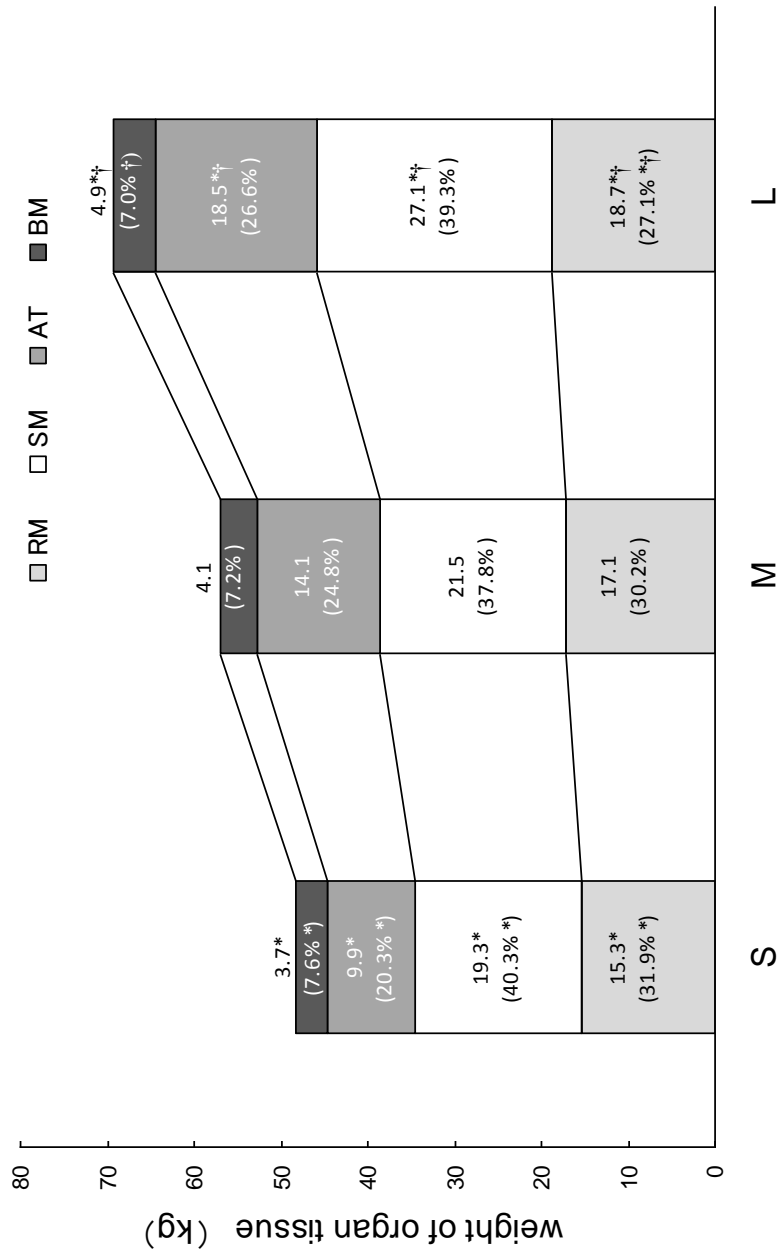


Figure3-1 Four organ tissue components in the subjects expressed as a weight and as their respective fractional contributions to body weight.

RM, residual mass; SM, skeletal muscle; AT, adipose tissue; BM, bone mass. Significance was determined by one-way ANOVA. * significantly different vs M (P<0.05), † significantly different vs S (P<0.05)

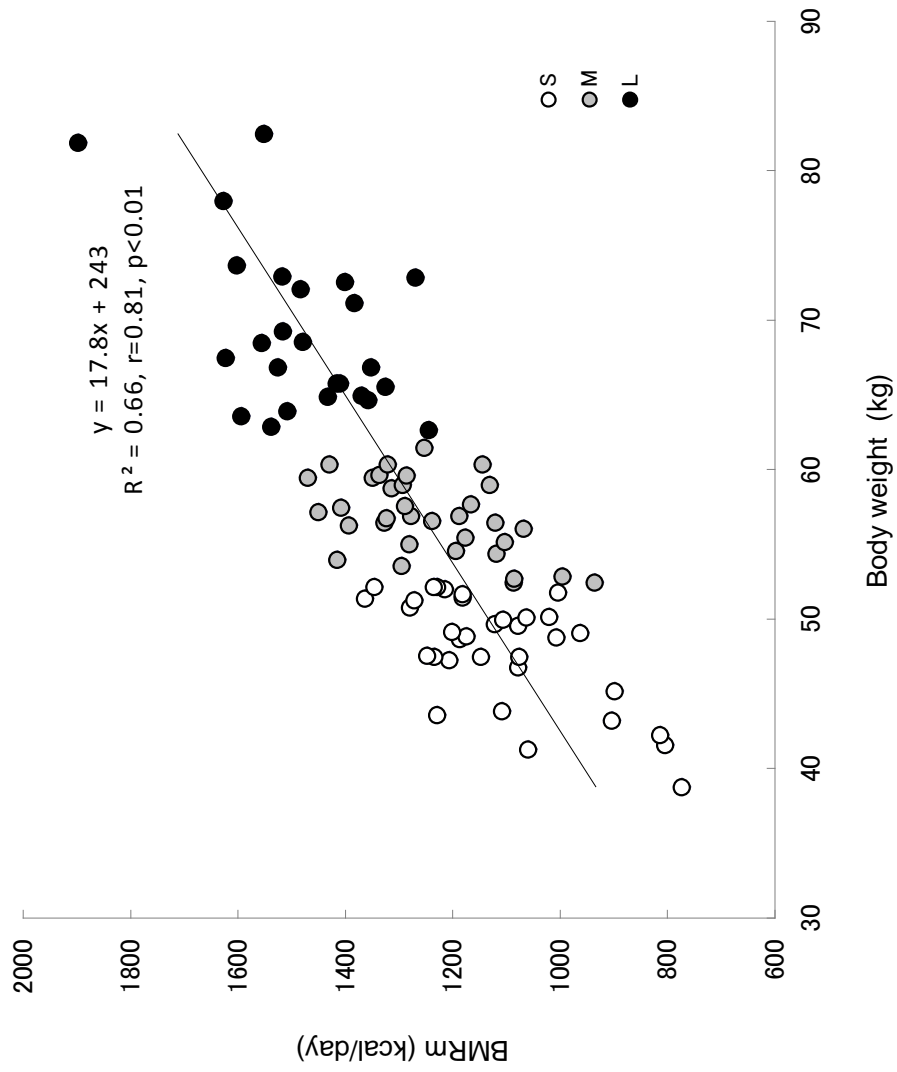


Figure3-2 Relationship between body weight and measured BMR

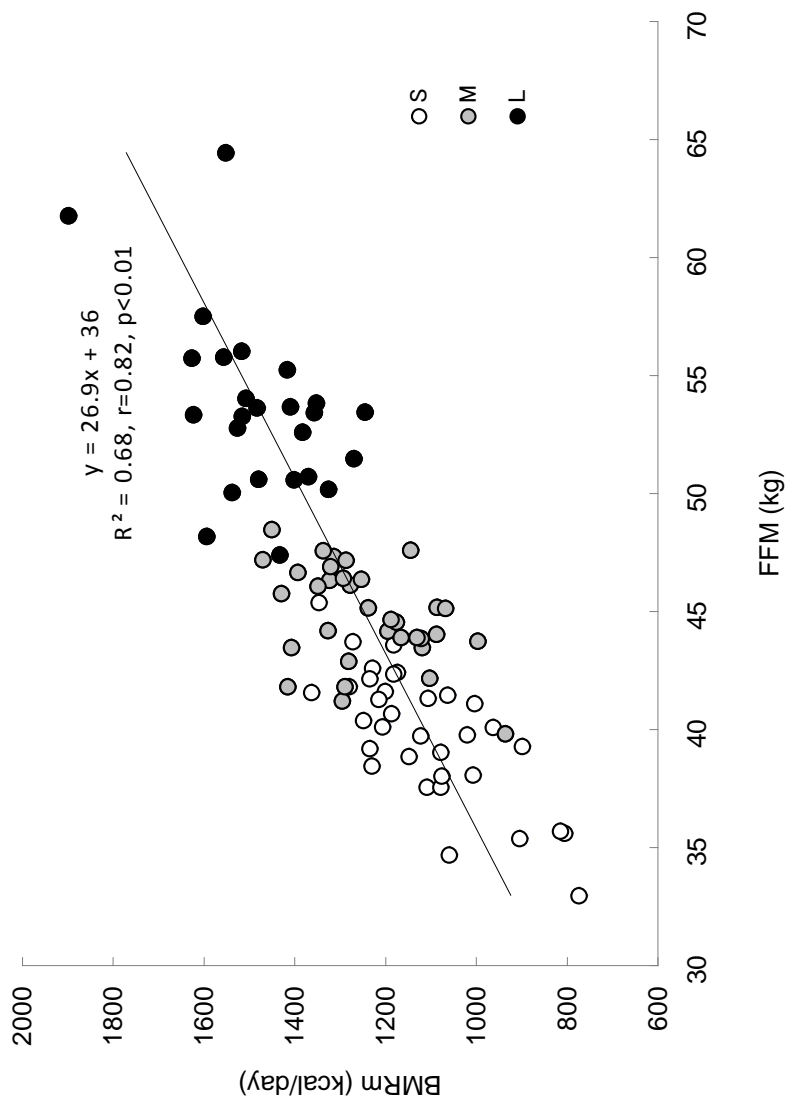


Figure3-3 Relationship between FFM and measured BMR

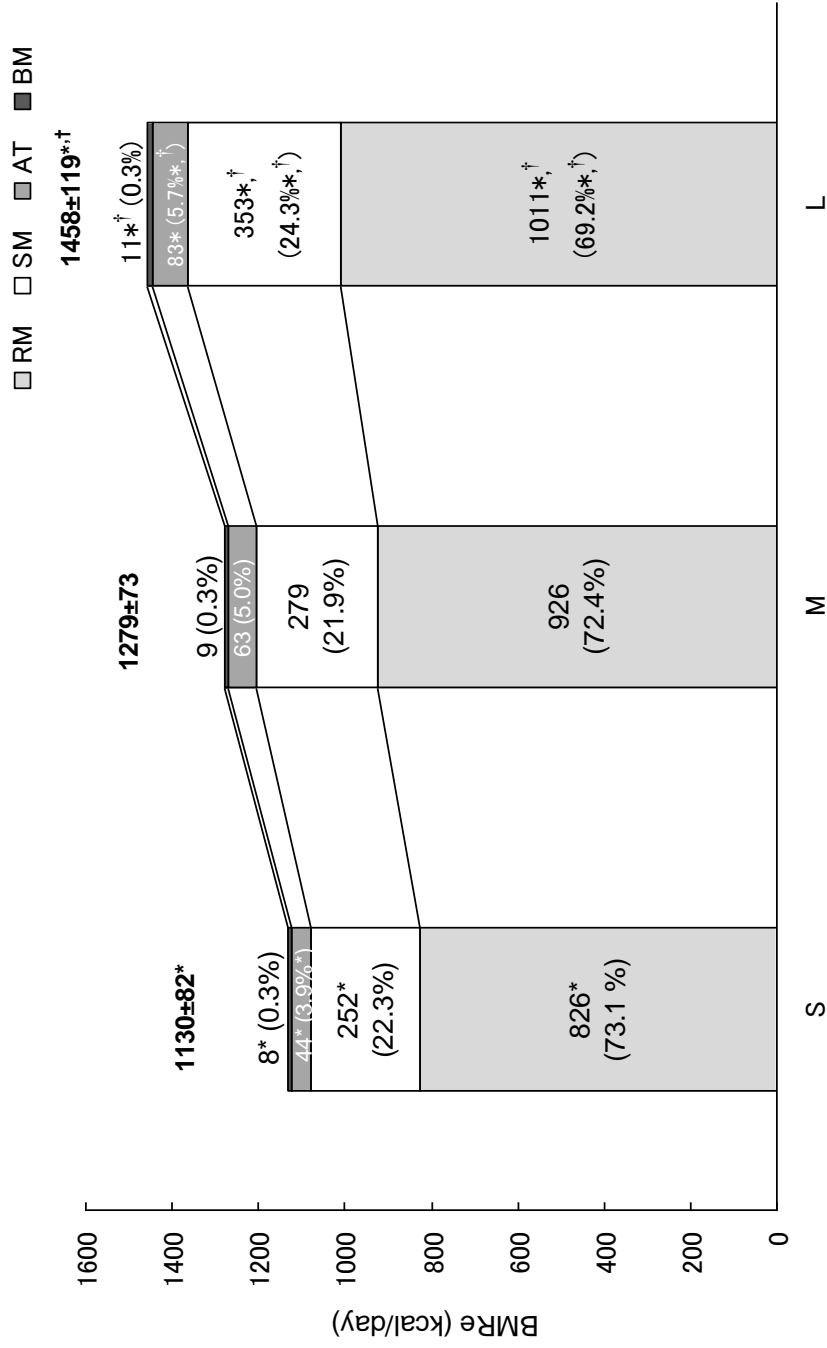


Figure3- 4 Four organ tissue components in the subjects expressed as a specific energy expenditure and as their respective fractional contributions to BMR_e.

RM, residual mass; SM, skeletal muscle; AT, adipose tissue; BM, bone mass. Significance was determined by one-way ANOVA. * significantly different vs M (P<0.05), † significantly different vs S (P<0.05)

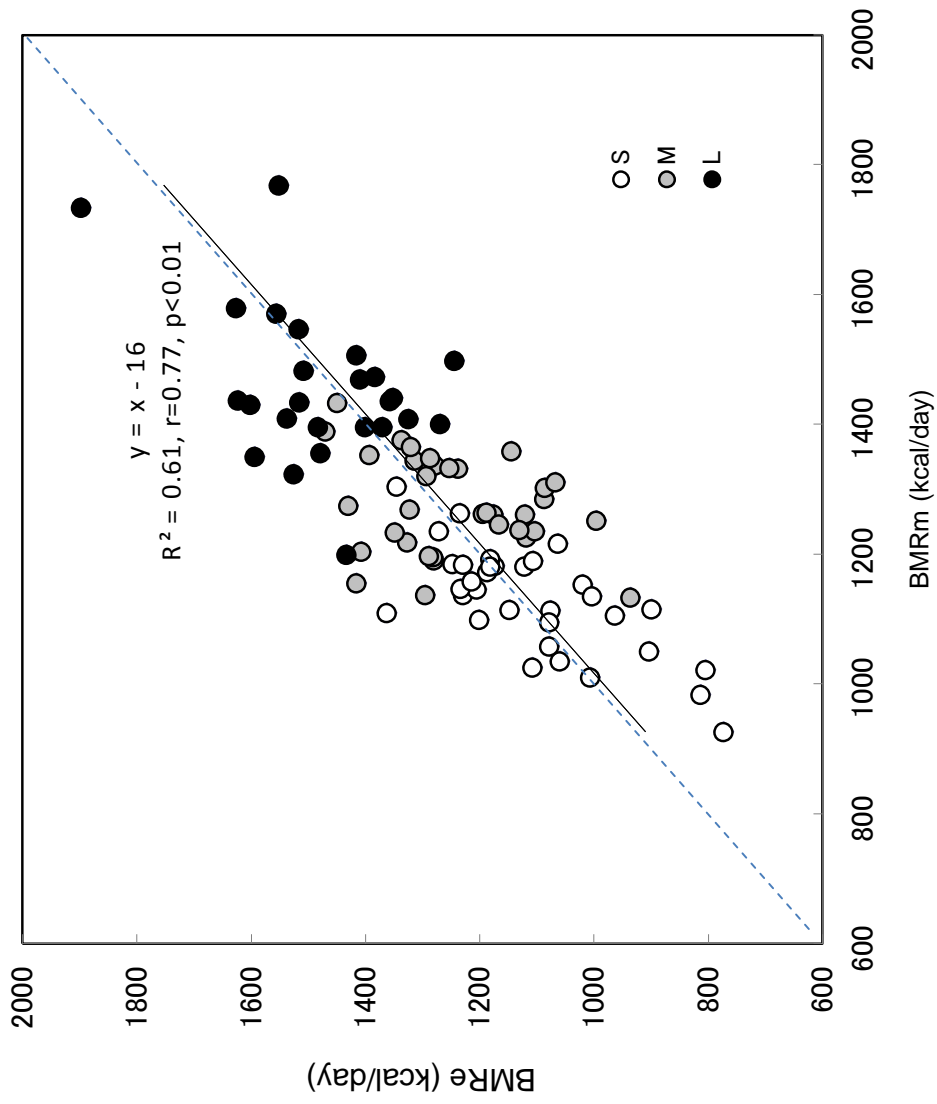


Figure3-5 Relationship between BMRm and BMRe

第 4 章

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

Validity of prediction equation of basal metabolic
rate based on fat-free mass in Japanese female
athletes

(体力科学投稿中)

1. 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を含む食事摂取は重要である⁵⁶⁾。特に女性競技者においては、エネルギーおよび栄養素の不十分な摂取が月経障害、骨密度の低下、摂食障害と密接に関連することが報告されており^{57) 89)}、適切な栄養管理のためにエネルギー必要量を推定する必要がある。「日本人の食事摂取基準（2010年版）（Dietary Reference Intakes：DRIs）では、体重変化のない成人においては基礎代謝基準値(kcal/kg 体重/日)に基準体重(kg)を乗じて求めた1日当たりの基礎代謝量(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必要量(Estimated Energy Requirement: EER)を算定している⁵⁹⁾。DRIsは健康な個人または集団を対象としており、著しく身体活動量が多い競技者は対象とされていない。女性競技者の体重当たりのBMRは同年代の非運動群と比較して有意に低値を示すことが報告されていることから^{41), 45)}、体重を用いたDRIsの算出方法を採用すると過大評価する可能性が考えられる。

競技者のBMRを規定する因子として最も説明力が高いのは除脂肪量(fat-free mass: FFM)であることが報告されている^{14), 42), 45), 90)}。そこで、国立スポーツ科学センター(Japan Institute of Sports Sciences: JISS)では「スポーツ選手の食事摂取基準量に関する研究プロジェクト」を実施し、FFMを用いて算出したBMRにPALを乗じてスポーツ選手の推定エネルギー必要量を算定する方法(JISS式)を提示した^{60), 61)}。しかし、ここで用いられているスポーツ選手のBMRやPALの値はDRIsで示されている数値を元にし、日本人の一般的な体格を参考にFFMあたりのBMRを算出して競技者に適用したものであり、実測データから得られたものではない。また、JISS式の妥当性の検討はまだなされていない。

田口らは競技特性が異なる日本人女性競技者及び体格の異なる競技者を対象にBMRの測定を行い、1日当たりのBMRは競技特性により差がなく¹⁴⁾、体格の大きさに関係なくFFMを用いればBMRが推定できることを報告し⁹⁰⁾、日本人女性競技者のための新しい推定式を作成した。

一方、諸外国においてこれまでに作成されたさまざまな基礎代謝量推定式のほとんどが、一般健常男女の実測値を基に作成されている^{91), 92)}。また、式に用いられている変数は身長、体重、年齢、性別、FFM などそれぞれ異なっている。アメリカ人の女性持久系競技者を対象として BMR 推定式の妥当性を検討した先行研究⁷⁵⁾では、Cunningham 式が最も当てはまりがよいことが報告されている。しかし、これらの外国人の実測値から得られた推定式が日本人競技者に当てはまるかどうかは不明である。

そこで本研究では、日本人女性競技者における BMR 推定式の妥当性を検討することを目的とした。

2. 方法

2-1. 被験者

被験者は、競技特性の異なる種目の運動部またはチームに所属する健康な大学生女子競技者 122 名であった。競技種目はバスケットボール、ハンドボール、バレーボール、ソフトテニス、卓球、ラグビー、フェンシング、陸上競技各種目、水泳、ボート、競技チアリーディングであった。測定にあたり血液検査を行い、貧血ではなく、エネルギー代謝を亢進させるホルモンである甲状腺ホルモン(Triiodothyronin: T_3)が正常範囲内にあること、測定 3 ヶ月以内にウエイトコントロールを実施した経験がないことを確認した。選手の競技レベルはいずれも全日本大学選手権大会または関東大学選手権大会に出場するレベルであった。

被験者には、測定・調査に先立ち、研究の目的、測定項目およびその方法について十分に説明し書面にて同意を得た。なお、本研究は日本女子体育大学「人を対象とする実験・調査等に関する倫理委員会」の承認を得て実施した。

2-2. 身体組成の測定

身長および体重は、排尿を済ませた早朝空腹時に測定した。体脂肪率は、空気置換法体脂肪測定装置 BOD POD (Life Measurement

Instruments 製) を用いて体密度を測定し、Brožek et al.の式⁶³⁾により推定した。また、体重から体脂肪量を差し引いて FFM を算出した。

2-3. BMR の測定

基礎代謝量の測定は月経期および黄体期を避けて実施し^{64), 65)}、それぞれの種目の通常トレーニング期にあたる時期に測定を行った。被験者に測定前日は激しいトレーニングを避けるよう指示し、測定前夜の午後 8 時までに通常通りの夕食をとらせ、被験者宿泊施設に宿泊させた。夕食後は安静を保ち、水またはお茶以外の飲食を制限した。翌朝午前 6 時 30 分に起床させ、検温、採尿、体重測定をしたのち、23~25°C の快適な温度条件の室内でルドルフマスクを装着後 30 分以上仰臥させ、心拍数を計測して安静であることを確認し、仰臥位のままダグラスバックに呼気を 10 分間ずつ 2 回採取した。呼気は直ちに呼気ガス分析装置 AE-300S (ミナト医科学 (株) 製) を用いて酸素濃度および二酸化炭素濃度を分析するとともに、乾式ガスメーター DC-5 A ((株) 品川製作所製) にて換気量を測定し、Weir の式⁶⁶⁾ より BMR (kcal/day) を算出した。

2-4. BMR の推定

BMR の推定には、JISS 式⁶⁰⁾、田口らの式⁹⁰⁾、国立健康・栄養研究所(National Institute of Health and Nutrition; NIHN)が開発した栄研式⁹³⁾、Cunningham 式⁸²⁾、Owen らの式⁹⁴⁾の 5 つの推定式を用い、FFM(kg)の測定値を代入して個別に BMR 推定値を算出した。Table4-1 に本研究で使用した 5 つの推定式とその特徴をまとめた。

2-5. 統計処理

本研究で得られたデータの統計処理は、SPSS Ver.16.0 (SPSS Inc.) を用いて行い、平均値と標準偏差(mean±SD)で表した。実測と推定の平均値の差の比較には対応のある t 検定、実測値と推定値との関係は Pearson の単相関係数を求めた。また、推定値の標準誤差(Standard

Error of Estimation: SEE)と、実測値と推定値の誤差の変動を評価するために平均誤差平方和の平方根(Total Error: TE)を求めた。系統誤差は Bland-Altman Plot を用いて評価した。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。

3. 結果

被験者の身体的特性を Table4-2 に示した。BMR の実測値及び各推定式により求められた推定値(平均)、実測値と推定値との相関関係及び有意差、SEE 及び TE を Table4-3 に示した。BMR の実測値は 1242 ± 190 kcal/day であった。一方、それぞれの推定式より得られた推定値の平均は、JISS 式 1296 ± 146 kcal/day、田口らの式 1259 ± 138 kcal /day、榮研式 1294 ± 110 kcal/day、Cunningham 式 1501 ± 113 kcal/day、Owen らの式 1259 ± 121 kcal/day となった。いずれの推定式を用いても、推定値と実測値との間に有意な相関関係が認められた ($p < 0.001$)。また、JISS 式及び Cunningham 式による推定値は、実測値との間に有意差が認められた ($p < 0.001$)。

系統誤差を Figure4-1 に示した。いずれの式においても有意な系統誤差が認められた ($p < 0.001$)。TE は田口らの式(106kcal/day)及び Owen らの式(106 kcal/day)が最も小さかったのに対し、Cunningham 式が最も大きかった(259 kcal/day)。

4. 考察

本研究により、競技者を対象に実測されたデータより得られた田口らの式による推定値が、実測値との誤差が最も小さく、日本人女性競技者の BMR を推定する式として有用であることが示唆された。

本論文の第 2 章及び第 3 章において、競技者の BMR を規定する因子として最も説明力が高いのは FFM であり、競技特性や体格に関係なく FFM を用いれば競技者の BMR を推定できることを示した。JISS は $BMR \text{ (kcal/day)} = 28.5 \text{ (kcal)} \times FFM \text{ (kg)}$ という FFM を変数に用いた競技者向けの式を開発したが⁶⁰⁾、実測値より得られた式ではない。そこ

で田口ら⁹⁰⁾は様々な競技種目を行う幅広い体格の大学生競技者 93 名を対象に BMR と身体組成を測定し、新しい推定式($BMR(kcal/day) = 26.9(kcal) \times FFM(kg) + 36$)を作成した。

また、一般人の BMR 推定式としてこれまでに作成された主なものは、国内では DRI(2010)式⁵⁹⁾及び栄研式(2007)⁹³⁾がある。栄研式は 137 名の一般成人男女(年齢 36 ± 16 歳)を対象に最近開発された式であり、変数に FFM、脂肪量(Fat Mass; FM)、年齢、性別を用いている。栄研式は DRI 式よりも実測値との当てはまりが良く、幅広い体格や年齢の日本人対象者に利用可能であることが報告されている。しかし、競技者に当てはまるかどうかの検討はなされていない。一方、FFM を用いた諸外国の式には Cunningham 式(1980)、Owen らの式(1987)、Ravussin 式(1989)などがある。Thompson and Manore⁴²⁾は、アメリカ人女性競技者の BMR 推定式として適しているのは Cunningham 式であったことを報告している。また、Owen et al.は 8 名の女性競技者のデータから体重を用いてアスリート向けの推定式を作成し⁹⁵⁾、その後 FFM を用いれば性別を区別する必要がないとし、全女性被験者 44 名のうちに 8 名の女性競技者の値も含め、FFM を用いた式に改良している⁹⁴⁾。

これらの背景を踏まえ、本研究では FFM を変数として用いた式のうち、日本人競技者のために日本人(一般人)のデータを参考に作成された JISS 式、日本人女性競技者の実測値より作成された田口らの式、幅広い年齢の日本人向けに開発された栄研式、女性競技者を用いてその妥当性が検討された Cunningham 式及び元データに女性競技者が含まれている Owen らの式の 5 つの式を用いて、各推定式の妥当性を検討することとした。

本研究では、JISS 式により求められた値と実測値との間には有意差が認められ($P < 0.001$)、JISS 式による推定値は実測値より高値を示した。JISS 式による BMR は DRIs で示されている数値をにし、日本人の一般的な体格を参考に FFM あたりの BMR を算出して競技者に適用したも

のである。JISS 式では FFM1kg 当たりの BMR を 28.5kcal と見積もっているが、これまでに日本人女性競技者を対象として実測された FFM 当たりの BMR は 27.8kcal⁴⁵⁾、27.7kcal⁹⁰⁾、28.3kcal(正常月経群)³⁷⁾、27.3kcal(月経異常群)³⁷⁾といずれも 28.5kcal を下回っている。このことから、JISS 式を用いると有意に高値となると考えられた。

一方、田口らの式⁹⁰⁾は 93 名の女性競技者の BMR の実測値より求められた式である。対象となった被験者の競技特性や種目、階級などは様々であり、身長 149~181 cm、体重 38~83 kg、体脂肪率 11.7~30.3%、FFM33.0~61.8kg という幅広い範囲の体格の選手が対象とされている。この範囲は本研究対象者とも近い値であり、柔道重量級や投擲など一部の体格が非常に大きい選手を除き、ほとんどの女性競技者がこの範囲内に入るため、幅広い体格の競技者に適応可能な式であると考えられる。本研究においては、実測値と推定値の有意差がなく、TE は 106kcal と小さかった。しかし、ゆるやかな系統誤差が認められた(Fig. 4-1)。FFM と FFM 当たりの BMR の関係は切片を有する直線関係のため、FFM あたりにして同一の基礎代謝量の値を全ての体重の選手に適応することは不可能であり、このことが系統誤差の原因になっていると推測できる。

本研究においては、基礎代謝量が 1000kcal/day 以下では実測値と推定値の差は正の値となり、1400kcal/day を超えるあたりから実測値と推定値の差は負の値を示すようになる。これらの範囲にある値を除外して TE を求めると 86kcal と小さくなり、SEE は 95kcal(7.5%)となった。このときの FFM はおよそ 36kg 及び 52kg 程度に相当し、体脂肪率を 15~25%とすると体重 42~69kg 程度となる。このことから、田口らの式を用いれば体重 42~69kg 程度(FFM36~52kg 程度)の範囲内にある女性競技者の BMR は 8%以内の誤差で推定可能であることが示唆された。しかし、陸上長距離や体操などの体格が非常に小さい競技者や、柔道重量級や投擲などの体格が非常に大きい女性競技者については、例数を集めて今後更なる検討を加える必要があると考えられた。

一般成人男女を対象とした栄研式は、DRI 式よりも実測値との当てはまりが良く、幅広い体格や年齢の日本人対象者に利用可能であることが報告されている。しかし、栄研式を用いて得られた推定値と本研究の実測値との間には有意な差が認められたことから、本研究の対象者である18~25歳の女性競技者のBMR推定には適さないと考えられた。日本人であっても肥満者のように身体的特性が異なる対象者では、既存の式を用いて推定すると誤差が大きくなることが報告されていることから⁹⁶⁾、異なる特性をもつ集団の値から得られた式を用いる際には注意が必要であると考えられた。

Cunningham 式による推定値は実測値より有意に高値を示し、TE も259kcal と最も大きかった。さらに明らかな系統誤差が認められ、日本人競技者のBMR推定式としての妥当性は低かった。Cunningham 式がアメリカ人女性競技者のBMRを最もよく推定できるとしたThompsonらの報告⁴²⁾では、13名の女性持久性競技者を対象としてHarris-Benedict 式、Miffrin 式、Owen らの式(1986) 及びCunningham 式を用いて妥当性の検討を行っている。Harris-Benedict 式は変数に身長、体重、年齢を用い、Miffrin 式は身長、体重、年齢以外に性別も変数に組み込んだ式であり、Owen らの式(1986)は男女とも体重を用いたものであった。Cunningham 式が最も当てはまりがよいという結果になったのは、FFM を用いた唯一の式であったためと考えられる。Thompson らの測定した被験者は1回につき1時間以上のトレーニングを週4~7回実施している競技者であり、FFM量は45.1kgであった。本研究における被験者とFFM量はほぼ等しかったにもかかわらず、本研究では日本人競技者の実測値と誤差が大きいう結果になったのは、Thompson らのBMRの実測値が1日当たり1486±103kcal/day、FFM当たりでは33.2±3.1 kcal/kg FFM/dayであり、日本人の実測値よりかなりの高値を示していたためと考えられる。

一方、FFMを用いたOwen らの式(1988)による推定値は実測値と有意

差がなく、TE は田口らの式と同様に 106kcal と小さかった。しかし、系統誤差を示す直線の傾きは田口らの式より大きかったことから、田口らの式よりも系統誤差が大きいことが示された。すなわち、Owen らの式(1988)を用いて日本人競技者の基礎代謝量を推定した場合、体格が小さい選手はより過大に評価し、大きい選手はより過小に評価することになる。また、式の精度を示す数値が論文中に記載されていなかった(Table4-1)。これらのことから、Owen らの式は平均値では推定値と実測値は当てはまりがよいものの、日本人競技者個々について基礎代謝量を推定するには適さないと考えられた。

Korth et al.⁹⁷⁾は、身体組成の測定方法が異なる場合に BMR 推定値に及ぼす影響を検討している。二重エネルギーX線吸収法(DXA法)、皮脂厚法、空気置換法、インピーダンス法、体水分法、及び4コンパートメントモデルのそれぞれの方法により求められた FFM を用いていくつかの推定式から求められた値を比較したところ、身体組成の測定方法の違いによる推定値の差は小さく、それよりもどのような特性を持つ対象者集団から作成された式であるかという作成上の問題の方が大きいことを示している。本研究においても、競技者の実測値から作成されていない JISS 式や一般成人を対象に作成された栄研式、及び外国人のデータから求められた式の妥当性は低いことが示唆され、日本人競技者の BMR 及び身体組成のデータを蓄積し、日本人競技者向けの推定式について、男性競技者も含めて更なる検討を行う必要があると考えられた。

以上より、日本人女性競技者の BMR 推定式として最も適しているのは田口らの式であり、この式を用いることにより体重 42～69kg(FFM38kg～52kg)程度の範囲にある 18～25 歳の日本人女性競技者の BMR を、8%以内の誤差で推定できることが明らかとなった。

本研究の限界としていくつかの点があげられる。非常に激しい運動後は運動後過剰酸素消費 (Excess Post-Exercise Oxygen Consumption: EPOC)を引き起こし、翌日の BMR を増加させることが知られており⁹⁸⁾、

その影響を除くために **BMR** の測定は 1 日ないし 2 日(48 時間)前からの運動は避けて実施される。本研究では **BMR** 測定の前日は激しい運動を避けるよう指示しているが、これは日々トレーニングを行う競技者において測定前日ないし 2 日前からトレーニングを休止させることは実質的に困難であること、多くの大学生スポーツ選手は通常トレーニング期間中にはほぼ毎日トレーニングを行っており、完全休養日が少ないためである。そのため、**EPOC** が残る可能性は否定できない。また、対象者の年齢幅が狭いため、どの年代まで使用可能かについては検討が必要である。さらに、体重が大きく異なる競技者の推定式を一つの式で示すことは困難と考えられ、体重が極端に軽いあるいは重い競技者向けの推定式についても、今後検討していく必要があると考えられた。

5. 要約

日本人女性競技者を対象として、FFMを用いたBMR推定式の妥当性を検討することを目的とした。大学生女性競技者122名を妥当性検討の対象として、早朝空腹時にダグラスバッグ法にてBMRの測定を行い、身体組成は空気置換法を用いて測定し、FFMを求めた。推定値はFFMを変数として用いている5つの推定式(JISS式、田口らの式、栄研式、Cunningham式、Owenらの式)により求め、推定式の妥当性を検討した。いずれの式も推定値と実測値との間には有意な相関関係が認められたが、JISS式、栄研式、及びCunningham式では有意差がみられた($p < 0.001$)。また、Total Errorは田口らの式及びOwenらの式で小さかったが、Owen式は系統誤差が大きかった。

以上より、競技者を対象とした実測値から得られた田口らの式を用いれば、体重42~69kg(FFM38kg~52kg)程度の範囲にある18~25歳の日本人女性競技者のBMRを8%以内の誤差で推定できることが明らかとなった。

Table4-1 Prediction equations of BMR based on FFM used in the present study

Equation	Regression equation	Reference	accuracy
JISS (2006)	$BMR = 28.5 \times FFM \text{ (kg)}$	estimated from DRIs (2005) and JISS data ⁶¹⁾	undescribed
Taguchi et al. (2010)	$BMR = 26.9 \times FFM \text{ (kg)} + 36$	93 Japanese female collageate athletes ⁹⁰⁾	$r=0.82, R^2=0.672$ $SEE=132\text{kcal}$
NIHN (2007)	$BMR = 0.0787 \times FFM \text{ (kg)} - 0.0109 \times AGE + 0.0268 \times FM \text{ (kg)} - 0.3314 \times SEX + 2.3958$	137 healthy Japanese subjects (71 male and 66 female) ⁹³⁾	$r=0.92, R^2=0.840$ $SEE=105\text{kcal}$
Cunningham (1980)	$BMR = 500 + 22 \times FFM \text{ (kg)}$	120 men and 103 women from Harris Benedict database (1919)	$r=0.84$
Owen et al. (1988) *	$BMR = 23.6 \times FFM \text{ (kg)} + 186$	44 lean and obese women, 8 of whom were trained athletes, and 60 lean and obese men ⁹⁴⁾	undescribed

*energy conversion factor : 1kJ = 4.184kcal

FFM: fat-free mass, FM: fat mass, SEX: male=1, female=2

JISS: Japan Institute of Sports Sciences, NIHN: National Institute of Health and Nutrition

Table4-2 Subject characteristics

	All	Range
Age (years)	20.2±1.3	18-25
Height (cm)	162.4±6.3	146.6-180.0
Body weight (kg)	57.2±7.9	38.5-82.4
BMI (kg/m ²)	21.7±2.3	16.5-28.8
Body fat (%)	20.4±4.8	7.3-35.4
Fat mass (kg)	11.8±3.9	3.4-25.7
FFM (kg)	45.4±5.2	34.4-58.2
Resting heart rate (bpm)	51±7	35-79
Basal body temperature (°C)	35.8±0.5	34.0-36.6
Athletic history (years)	7.8±3.6	0.5-18.3

n=122, Mean±SD

BMI:Body mass index, FFM: fat-free mass

Table4-3 Measured and predicted BMR by each equations in Japanese female athletes

Equation	BMR (kcal/day)	Correlation coefficient		Paired t-test		SEE (kcal)	TE (kcal)
		r	p value	p value	(%)		
Measured	1242±190	—	—	—	—	—	—
P r e d i c t e d							
JISS	1 2 9 6 ± 1 4 6	0 . 7 1 1	0 . 0 0 0	0 . 0 0 0	1 3 4	1 0 . 3	1 1 2
Taguchi et al	1259±138	0.711	0.000	0.160	134	10.6	106
NIHN	1294±110	0.7	0.000	0.000	136	10.5	114
Cunningham	1501±113	0.711	0.000	0.000	134	8.9	259
Owen et al.	1259±121	0.711	0.000	0.161	134	10.6	106

BMR desclived mean±SD

SEE: Standard Error of Estimation, TE: Total Error

JISS: Japan Institute of Sports Sciences, NIHN: National Institute of Health and Nutrition

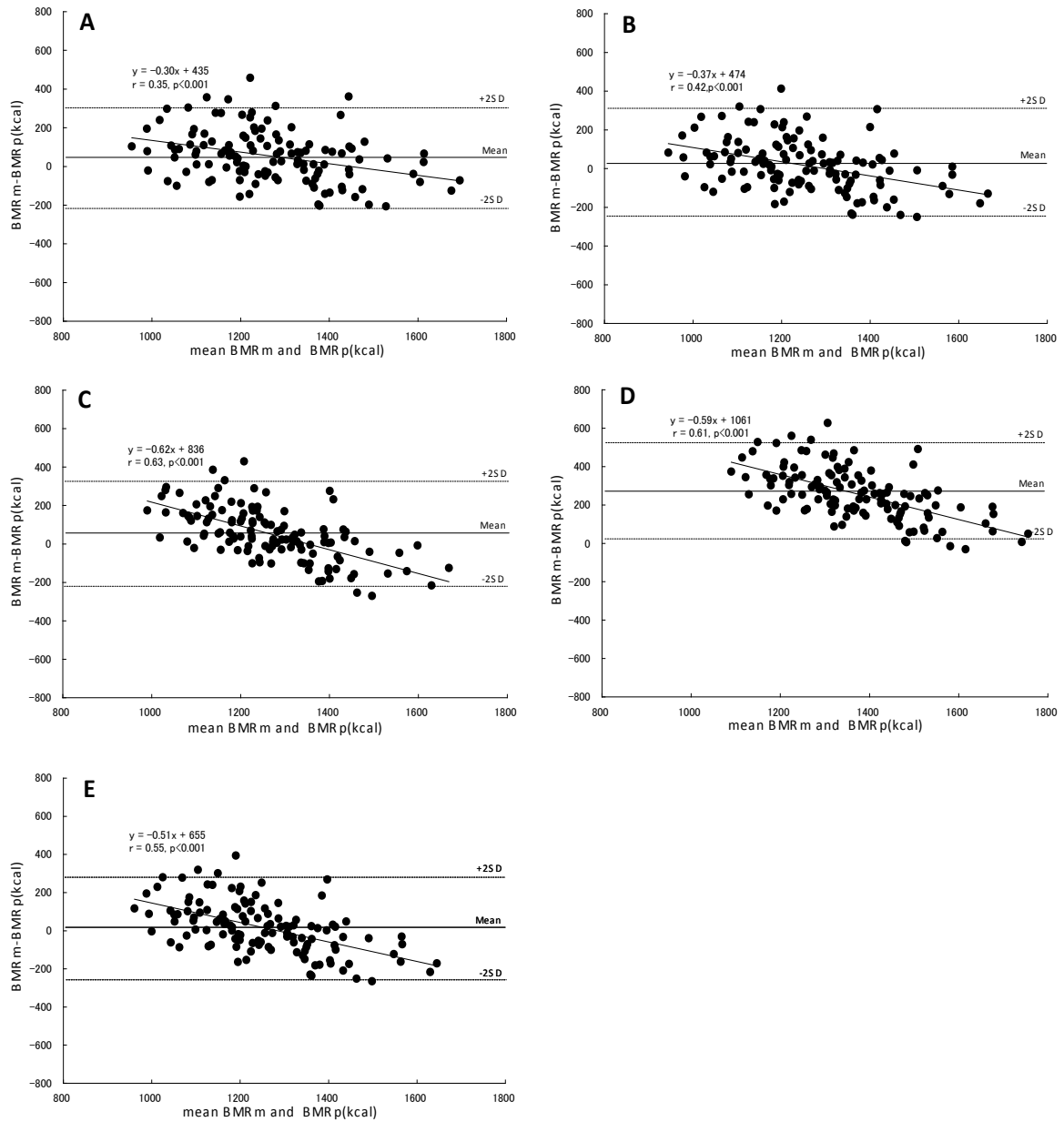


Figure4-1 Bland-Altman plots of each

A:Equation of JISS, B:Equation of Taguchi et al., C:Equation of NIH.N., D:Equation of Cunningham, E:Equation of Owen et al.

BMR m: measured BMR, BMR p: predicted BMR

第 5 章

総括論議

1. 本研究の背景と目的

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を含む食事摂取は重要であり、適切な栄養管理のためにエネルギー必要量を推定する必要がある。しかし、日本人の食事摂取基準(2010年版) (Dietary Reference Intakes : DRIs) は健康な一般人を対象としており、著しく身体活動量の多い競技者は対象とされていない。

同年齢の運動習慣のない一般女性と様々な種目を行う大学生女性競技者では身体組成が異なり、体脂肪率は一般女性と比較して競技者で有意に低値であり、除脂肪量(fat-free mass: FFM)は有意に高値を示している。身体組成が基礎代謝量(basal metabolic rate: BMR)に影響する因子であることは古くから知られているが、身体組成の異なる集団の BMR や規定因子が競技者集団にも当てはまるかどうかは不明である。

また、女性競技者の身体活動量も一般女性とは大きく異なっている。DRIs における身体活動レベル(physical activity level: PAL)はレベル I (低い)で 1.5、II (ふつう)で 1.75、III (高い)で 2.0 が設定されているのに対し、二重標識水法を用いて我国の女性競技者を対象とした研究では 2.6 ± 0.5 と高値を示している。一日の総エネルギー消費量(Total energy expenditure; TEE)は競技者で高く、一般人とは異なるエネルギー代謝状況下にあると言える。

一般女性を対象とした BMR の研究は古くから実施されていたものの、女性競技者を対象とした BMR の研究は 1990 年代以降になって報告されるようになったため、その歴史は浅く、先行研究は限られている。我国の女性競技者を対象に一定の測定条件下にて測定された BMR の実測データは極めて少なく、対象となった競技や体格も限定されている。

以上より、身体組成や身体活動量が異なる競技者集団において、一般健康人集団における基準値を適用することが適切であるかどうかは不明であり、女性競技者のエネルギー代謝特性を評価する必要があると考えられる。競技者のエネルギー代謝特性を明らかにすることは、競技者

のエネルギー栄養状態に関わるアセスメントの基礎データを提供することにつながる点で意義が大きい。本研究により得られたデータは女性競技者の推定エネルギー必要量算出における科学的根拠を示し、競技者の食事管理を行う上で必要な知見となり、競技者の食事管理とコンディショニング(体調管理)に大いに役立つものと思われる。

そこで本研究では、女性競技者の **BMR** 及び身体組成を測定し、**BMR** に及ぼす競技特性や身体組成の影響について詳細に検討するとともに、女性競技者の **BMR** 推定方法についても検討することを目的とした。

2.研究の概要

研究課題 1 (第 2 章)

目的:女性競技者の **BMR** が競技特性により異なるかどうかについて検討する。

内容:競技特性の異なる種目を行う女性競技者 81 名を対象として基礎代謝量(**BMR**)の測定を行い、競技特性により差があるかどうかを検討した。競技特性別に比較すると、1 日当たり、体重あたり、**FFM** あたりのいずれの単位においても **BMR** に有意差はなく、**BMR** と **FFM** との回帰式の傾きと切片にも差は認められなかった。**FFM** と **FFM** 当たりの **BMR** には相関関係は認められなかった。また運動群の **BMR** は **FFM** のみによって 45.0%が説明でき、 T_3 を加えることで 50.3%が説明できることが明らかとなった。

以上より、競技特性の異なるスポーツ選手の **BMR** に差は認められず、競技特性や体格の影響よりも、身体組成(**FFM**)の影響が最も大きく、次いで T_3 が影響していることが明らかになった。

研究課題 2 (第 3 章)

目的: 体格の異なる女性選手の **BMR** と身体組成を検討し、**BMR** に影響を及ぼす要因について検討する。

内容:対象者は女性選手 93 名(年齢 20.3 ± 1.3 歳、身長 162.8 ± 6.4 cm、体重 57.0 ± 9.2 kg、除脂肪量 (FFM) 45.4 ± 6.2 kg)であり、体格により以下の 3 群に分類した: S サイズ(n=34), M サイズ (n=34), L サイズ (n=25)。身体組成の測定は二重エネルギーX線吸収法(DXA法)を用いて測定し、4つの構成要素(骨格筋(SM), 体脂肪(FM), 骨(BM), その他の組織(RM))の重量を推定した。BMRの測定(BMR_m)はダグラスバッグを用いた間接法により行った。

BMR_m は体格群により有意な差が認められた(S: 1093 ± 143 , M: 1226 ± 201 , L: 1450 ± 209 kcal/day)。身体組成の構成要素量も異なり、体格が大きくなるに連れて RM と SM の量が増加した。BMR_m と FFM との間には強い正の相関関係が認められ、BMR_m と各構成要素のエネルギー代謝率から求めた推定 BMR(BMR_e)もよく一致した。

以上より女性競技者の BMR は臓器・組織の代謝率の変化ではなく、臓器・組織の量の変化によるものであることが示唆された。すなわち、BMR の変化は主に FFM 量の変化により説明でき、女性選手の基礎代謝量は体格にかかわらず除脂肪量 (FFM) により評価できることが明らかとなった。

研究課題 3 (第 4 章)

目的:女性選手の BMR 推定式の妥当性について検討する。

内容:大学生女性競技者 122 名を妥当性検討の対象者として、早朝空腹時にダグラスバッグ法にて BMR の測定を行った。各対象者の身体組成は空気置換法を用いて測定し、FFM を求めた。これまでに公表されている FFM を変数として用いている 5 つの推定式(JISS 式、田口らの式、栄研式、Cunningham 式、Owen らの式)による推定値を求め、それぞれの推定式の妥当性を検討した。その結果、いずれの式も推定値と実測値との間には有意な相関関係が認められたが、JISS 式、栄研式、及び Cunningham 式では実測値と推定値の間に有意差があっ

た($p < 0.001$)。また、Total Error は田口らの式及び Owen らの式で小さかったが、Owen 式は系統誤差が大きかった。

以上より、女性競技者のみを対象とした実測値から得られた田口らの式を用いれば、体重 42~69kg (FFM38kg~52kg)程度の範囲にある 18~25 歳の日本人女性競技者の BMR を 8%以内の誤差で推定できることが明らかとなった。

3. 総括論議

本研究における以上の結果より、競技特性や体格に関わらず、女性競技者の BMR を規定する因子として FFM 量の影響が最も大きいことが明らかとなった。したがって、FFM 量を精度高く見積もることができれば、競技者の BMR の推定が可能である。

しかしながら、FFM による BMR の説明力はおおよそ 50%であり、残りの半分は別の因子の影響を受けていることになる。国立健康・栄養研究所が一般人向けに開発した推定式では、FFM と FM という身体的因子の他に、年齢と性別といった因子が変数として組み込まれている。このことは諸外国で作成された Mifflin 式(1990)、WHO/FAO/UNU 式(1985)、Schofield 式(1985)、Owen 式(1986-1988)、Ravussin 式(1989)、Van der Ploeg and Withers 式(2002)、Müller 式(2004)などの式においても同様であり、近年では体重や FFM 単独よりも変数の数を増やすことにより、推定精度を上げることができることが明らかとなっている。

一方、本研究で対象とした競技者は女性に限定されており、年齢も 20 歳前後の狭い範囲にある者のみを対象としている。したがって、本研究においては年齢と性別の因子は排除できる。Usui et al.⁵³⁾は健康な閉経後中高年女性を対象として BMR の決定諸因子を検討し、 $BMR(kcal/day) = 377 + 17.5 \times FFM(kg) + 8.87 \times FM(kg)$ ($R^2 = 0.427$, $p < 0.001$)という式を導き出している。中高年女性においては FFM だけでなく FM も規定因子として寄与し、寄与率は FFM が 35.7%、FM が 7.0%であったことを報告し

ている。しかし、本研究対象の若年女性競技者においては、ステップワイズ重回帰分析では FM が選択されないという違いが認められた。対象者の身体的特性をみると、平均体重は Usui et al.の研究同様に本研究においてもおよそ 55kg であったが、身体組成が大きく異なっている。一般女性の体脂肪率はおよそ 30%であったのに対し本研究ではおよそ 20%であり、その差は 10%もの開きがあった。若年女性競技者では中高年一般女性と比較して体脂肪量が少ないことは歴然としており、競技者では体脂肪の BMR への影響力は一般女性と比較してより小さくなるものと考えられた。しかし、体格が極端に大きく体脂肪量が多い重量級の選手などにおいては、一般女性同様に体脂肪の影響を受ける可能性も考えられるため、今後対象者の体格の幅をより広げて検討する必要があると思われる。

BMR の個人内変動あるいは個人間変動についても検討が必要である。一般人では最大酸素摂取量の 30~70%の運動を 20 分間行っても数時間の EPOC の持続が続くことが報告されているが、競技者においては最大酸素摂取量の 50~65%の中強度運動を 30~60 分行う場合には EPOC の上昇はみられず、1 時間以内に元のレベルまで回復することが報告されている²⁰⁻²²)。しかし、競技者を対象により高い強度で長時間のトレーニングを実施した場合の BMR への影響は不明である。競技者においてどの程度 EPOC があるかについての検討が必要である。

また、FFM 量が同じである場合でも BMR が異なる競技者が認められたことから、個人間変動の要因についても探る必要がある。例えば、FFM が 45kg と全く等しい 2 名の競技者でも 1 日あたりの BMR は 1085kcal と 1429kcal と、344kcal/day の開きがあった。これらの被験者について個別に検討したところ、FFM が同じ場合でもプロゲステロンの値が高値を示した被験者は BMR が高値であった(0.46 vs. 7.33 ng/ml)。また、正常範囲内ではあるものの、T₃ レベルが高い方が BMR が高値を示すケースもあった。このように、正常範囲内であっても内分泌状況のわずかな違いが BMR に影響する可能性があり、特に女性特有の内分泌状況についての追

跡も必要と考えられる。

しかし、本研究の研究課題 1 の結果から FFM の説明力は 45.0%、 T_3 は 5.3% であり、身体組成と内分泌状況だけでは BMR の説明因子の残りの部分を説明できない。BMI や体脂肪の変動の 25~40% は遺伝子と関連することが明らかにされ⁹⁹⁾、Walston et al.¹⁰⁰⁾ は β_3 アドレナリン受容体遺伝子に変異を持つピマインディアンの BMR は正常者と比較して 200kcal 有意に低値であることを報告した。日本人ではこの遺伝子多型は 3 人に 1 人の割合で見られ、同様に BMR の低下に関与するとされる脱共役たんぱく質 1 (uncoupling protein 1: UCP1) の変異は日本人では 4 人に 1 人の割合で見られ、両多型を併せ持つと BMR は 300kcal/day 低下するとされている¹⁰¹⁾。一方、 β_2 アドレナリン受容体遺伝子に変異を持つ場合は BMR が 100~300kcal/day 高くなる。日本人競技者におけるこれらの変異型遺伝子多型を持つ者の割合についての研究はなされておらず、BMR に及ぼす遺伝的要因の影響についても更なる検討を加えることにより、日本人競技者の BMR の規定因子をより明確にすることができ、個別的な食事指導への示唆を与えることができるようになると思われる。

4. 現場への応用に向けて

本研究で用いた身体組成の測定方法は、研究課題 1 及び検討 3 では空気置換法、研究課題 2 では DXA 法であった。これらの測定機器は測定の精度が高いとはいえ簡便に持ち運べる規模のものではないため、機器が設置されている研究機関や体育館などに競技者が足を運ぶ必要があるというデメリットがある。Korth et al.⁹⁷⁾ は、身体組成の測定方法が異なる場合に BMR 推定値に及ぼす影響を検討し、DXA 法、皮脂厚法、空気置換法、インピーダンス法、体水分法、及び 4 コンパートメントモデルのそれぞれの方法により求められた FFM を用いて BMR 推定値を比較したところ、身体組成の測定方法の違いによる差は小さかったことを報告している。本研究の一部の被験者(n=44)について、DXA 法と空気置換法の両方の方法

で測定した FFM は高い相関を示し($r=0.97$, $p<0.001$)(未発表データ)、先行研究の結果と一致した。このことから DXA 法と空気置換法では方法による測定値の誤差は小さいと考えられる。

さらに、スポーツ現場で最も簡便に身体組成の測定ができるのはインピーダンス法(bio-electrical impedance analysis: BIA 法)または皮脂厚法である。本研究で得られた推定式をスポーツ現場において普及させるためには、これらの簡便な方法による身体組成の測定精度と測定法の違いによる BMR への影響について検証していかななくてはならない。BIA 法は測定時の体水分量の影響を受けるため、測定のタイミングなどについての注意点も含めて提案できれば、スポーツ現場における BMR の推定もより簡便なものになり、食事管理に活かせるものとなるであろう。

5. 今後の課題

以上より、競技者の BMR に最も影響を及ぼす因子は FFM であることが明らかになったが、他の規定因子についても今後十分な検討が必要であり、BMR と身体組成及び内分泌状況、さらには遺伝的要因についても追跡が必要と考えられた。

Hasegawa et al.¹⁰²⁾ は、病気の罹患のない BMI18.5 未満の若年痩身女性と標準体重の若年女性を比較し、身体組成に違いはあっても、FFM あたりの BMR 及び生化学的諸指標には差がないことを報告している。しかし、女性競技では体重と体脂肪が少ない痩身型の陸上長距離選手などに月経障害、骨密度の低下、摂食障害といった女性選手特有の問題(female athlete triad: FAT)を引き起こすケースが多く、BMR の低下を示すことが報告されている^{28~30, 57, 77, 78})。一方、柔道重量級のような体格の極端に大きい競技者の場合には、体脂肪増加により体重に占める FFM の割合がやや低下し、FFM あたりの BMR は FFM の増加とともに緩やかに低下する現象がみられる。体脂肪量が多いにも関わらず、痩身型の競技者同様に無月経など FAT の危険にさらされている競技者も見受けられるが、体格

が極端に小さいまたは大きい競技者を対象として、代謝的特性、身体組成及び生化学的指標について検討したデータは見当たらない。そこで、陸上長距離や体操などの体格が非常に小さい競技者や、柔道重量級や投擲などの体格が非常に大きい女性競技者については、それぞれに例数を集め、エネルギー代謝特性と身体組成との関連について今後更なる検討を加える必要があると考えられた。本研究の研究課題 3 においても体格が大きい競技者の **BMR** 推定値は系統誤差が大きくなることが明らかとなり、特に体格が大きい競技者における検討は必須である。

さらには、大学生競技者にとどまらず、競技力がより高いエリート選手でも検討する必要があること、増量あるいは減量により身体組成が大きく変化した場合の個人内変動についても検討することなどが今後の課題と考える。

謝辞

本研究に被験者として協力してくださった全ての選手、測定に対してご理解をいただきました各チームの指導者及び選手の保護者の皆様に心より御礼申し上げます。

また、本研究の遂行にあたり、終始懇切丁寧なご指導並びに激励を賜りました早稲田大学スポーツ科学学術院の樋口満教授に深甚なる謝意を表します。研究推進及び論文執筆に関しましてご指導をいただきました村岡功教授並びに坂本静男教授に心より御礼申し上げます。

また、多大な御指導、御助言を賜った(独)国立健康・栄養研究所健康増進プログラム主席研究員の高田和子博士、細部にわたる御指導と心温まるご支援をしてくださいました早稲田大学大学院スポーツ科学研究科 GCOE プログラム次席研究員の曹振波博士ならびに次席研究員の先生方、そして、日本女子体育大学の笹倉清則教授(学科長)、中村泉教授(学科長)及びに定本朋子教授(研究科長)に心より感謝申し上げます。

本研究は平成 19～22 年度日本女子体育大学共同研究費、早稲田大学グローバル COE プログラム「アクティブ・ライフを創出するスポーツ科学」研究費 (Project No. III-7)、平成 18 年度日本オリンピック委員会/日本コカコーラススポーツ科学基金(アクエリアス基金)によって行われたことを付記します。

引用文献

- 1) Ravussin E, and Lillionja S, Anderson TE, Christin L and Bogardus C. Determinants of 24 hour energy expenditure in man: methods and result using a respiratory chamber. *J Clin Invest* 78 : 1568-1578, 1986
- 2) Ravussin E, and Bogardus C. Relationship of genetics, age, and physical fitness to daily energy expenditure and fuel utilization. *Am J Clin Nutr* 49 : 968-975, 1989
- 3) 健康・栄養情報研究会編. 第六次改定日本人の栄養所要量－食事摂取基準－ 1999, 第一出版, 東京
- 4) Benedict FG, Emmes LE, Roth P and Smith HM. The basal metabolism of normal men and women. *J. Biol. Chem.*, 18, 139-155, 1914
- 5) Benedict FG. The measurement and standard of the basal metabolism. *JAMA*, 77, 247-250, 1921
- 6) 一瀬忠行, 沖洲吉博, 渡辺孟, 中村正, 藤本薫喜. 基礎代謝量実験の諸注意および2,3の解説. 長崎県総合公衆衛生研究会, 1-67, 1953
- 7) 山本 茂. 日本人の基礎代謝量資料の評価. *栄養学雑誌*, 59, 51-59, 2001
- 8) National Research Council. Recommended Dietary Allowances, 10th edition (1989). National Academy Press, Washington DC
- 9) FAO/WHO/UNU. Energy and protein requirements. Report of a joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Technical Report Series 724 (1985). WHO, Geneva
- 10) 井上五郎訳. エネルギー・蛋白質の必要量, FAO/WHO/UNU 合同特別専門委員会報告. 1989, 日本必須アミノ酸協会
- 11) 柏崎 浩. エネルギー所要量の歴史と現状, 栄養所要量・基準量

- と食生活ガイドライン/ 小林修平編, pp.61-125, 1997, 建帛社, 東京
- 12) 厚生労働省策定. 日本人の食事摂取基準[2010年版]. pp.10-16, 2010, 第一出版, 東京
 - 13) 日本栄養アセスメント研究会 身体計測基準値検討委員会編. 日本人の新身体計測基準値(JARD 2001), 栄養－評価と治療, 19, 2002, メディカルビュー社, 大阪
 - 14) 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
 - 15) 国立スポーツ科学センター形態・体力測定データ集2007
 - 16) Ebine N, Feng JY, Homma M, Saitoh S and Jones PJH. Total energy expenditure of elite synchronized swimmers measured by the doubly labeled water method. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 83, 1-6, 2000
 - 17) 田口素子, 高田和子, 石崎朔子, 佐伯徹郎, 森山進一郎. 女子アスリートのエネルギーバランスとエネルギー代謝に影響を及ぼす諸要因. 日本オリンピック委員会/日本コカ・コーラスポーツ科学基金(アクエリアス基金)2006年度研究報告書, 31-35, 2006
 - 18) Maehlum, S, Grandmontagne M, Newsholme EA and Sejersted O.M. Magnitude and duration of excess postexercise oxygen consumption in healthy young subjects. *Metab.*, 35, 425-429, 1986
 - 19) Manore M.M and Thompson JL. Sports Nutrition for health and performance. pp117-134, 2000, Champaign, Illinois: Human Kinetics
 - 20) Chad KE and Quigley BM. Exercise intensity: effect on postexercise O₂ uptake in trained and untrained women. *J. Appl. Physiol.*, 70, 1713-19 1991

- 21) Melby C, Scholl C, Edwards G and Bullough R. Effect of acute resistance exercise on post-exercise energy expenditure and resting metabolic rate. *J. Appl. Physiol.*, 75, 1847-53, 1993
- 22) Gillette CA, Bullough RC and Melby C. Post-exercise energy expenditure in response to acute aerobic or resistive exercise. *Int. J. Sports. Nutr.*, 4, 347-360, 1994
- 23) Speakman J and Selman C. Physical activity and resting metabolic rate. *Proc. Nutr. Soci.*, 62, 621-634, 2003
- 24) Solomon SJ, Kurzer MS and Calloway DH. Menstrual cycle and basal metabolic rate in women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 36, 611-616, 1982
- 25) Bisdee JT, James WPT and Shaw MA. Changes in energy expenditure during the menstrual cycle. *Br. J. Nutr.*, 61, 187-199, 1989
- 26) Loucks AB, Laughlin GA, Mortola JF, Girton L Nelson JC and Yen SSC. Hypothalamic-pituitary-thyroidal function in eumenorreheic and amenorrheic athletes, *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 75, 514-518, 1992
- 27) Loucks AB. Energy balance and body composition in sports and exercise. *J. Sports Sci.*, 22, 1-14, 2004
- 28) Marcus R, Cann C, Madvig P Minkoff J, Goddard M, Bayer M, Martin M, Gaudiani L, Haskell W and Genant H. Menstrual function and bone mass in elite woman distance runners, Endocrine and metabolic features. *Ann. Intern. Med.*, 102, 158-163, 1985
- 29) Nelson ME, Fisher EC, Catsos PD, Meredith CN and Turksoy RN. Diet and bone status in amenorrheic runners. *Am. J. Clin. Nutr.*, 43, 910-916, 1986

- 30) Kaiserrauer S, Snyder AC, Sleeper M and Zierath J. Nutritional, physiological, and menstrual status of distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21, 120-125, 1989
- 31) Harber V. Energy balance and reproductive function in active women. *Can. J. Appl. Physiol.*, 29, 48-58, 2004
- 32) Duck CA, Manore MM and Matt KS. Role of energy balance in athletic menstrual dysfunction. *Int. J. Sports Nutr.*, 6, 165-190, 1990
- 33) Loucks AB, Verdun M and Heath EM. Low energy availability, not stress of exercise, alter LH pulsatility in exercising women. *J. Appl. Physiol.*, 84, 37-46, 1998
- 34) Li ETS, Tsang LBY and Lui SSH. Resting metabolic rate and thermic effects of a sucrose-sweetened soft drink during the menstrual cycle in young Chinese women. *Clin. J. Physiol Pharmacol.*, 77, 544-550, 1999
- 35) Piers LS, Diggavi SN, Rijkskamp J, van Raaij JMA, Shetty PS and Hautvast JGAJ. Resting metabolic rate and thermic effect of a meal in the follicular and luteal phases of the menstrual cycle in well-nourished Indian women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 61, 296-302, 1995
- 36) Myerson M, Gutin M, Warren MP, May MT, Contento I, Lee M, Pi-Sunyer FX, Pierson RN Jr and Brooks-Gunn J. Resting metabolic rate and energy balance in amenorrheic and eumenorrheic runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23, 15-22, 1991
- 37) Taguchi M, Tatsuta W, Nagasaka S and Higuchi M. The relationship between menstrual disturbance and basal metabolic rate in Japanese female athletes. *日本女子体育大学体育学部付属基礎体力研究所紀要*, 17, 12-19, 2007

- 38) Lebenstedt M, Platte P and Pirke K-M. Reduced resting metabolic rate in athletes with menstrual disorders. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 31, 1250-1256, 1999
- 39) Sjojin AM, Forsjund AH, Westerterp KR, Andersson AB, Forslund JM and Hambræus LM . The influence of physical activity on BMR *Med. Sci. Sports Exerc.*, 28, 85-91, 1996
- 40) Sparti A, DeLany JP, de la Bretonne JA, Sunder GE and Bray GA Relationship between resting energy rate and composition of the fat-free mass. *Metab.*, 46, 1225-1230, 1997
- 41) 田口素子, 樋口満, 岡純, 吉賀千恵, 石田良恵, 松下雅雄. 女性持久性競技者の基礎代謝量. *栄養学雑誌* 59, 127-134, 2001
- 42) Thompson J and Monore M. Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes. *J. Am. Diet. Assoc.*, 96, 30-34, 1996
- 43) Cunningham J. Body composition as a determinant of energy expenditure: a synthetic review and proposal general prediction equation. *Am J Clin Nutr.*, 54, 963-969, 1991
- 44) Elia M. Organ and tissue contribution to metabolic rate. *In : Energy Metabolism, Tissue Determinants and Cellular Corollaries* (Kinney JM, Tucker HK, eds), pp61-80, 1992, Raven Press, New York.
- 45) 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制度で推定できる-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*, 20, 25-31, 2008
- 46) Holliday MA, Potter D, Jarrah A and Bearg S. The relation of metabolic rate to body weight and organ size. *Pediat. Res.* 1: 185-195, 1967

- 47) Later W, Bosy-Westphal A, Hitze B, Kossel E, Gluer C-C, Heller M and Muller MJ. No evidence of mass dependency of specific organ metabolic rate in healthy humans. *Am J Clin Nutr* 88 : 1004-1009, 2008
- 48) Gallagher D, Belmonte D, Deurenberg P, Wang Z, Krasnow N, Pi-Sunyer FX, Heymsfield SB. Organ-tissue mass measurement allows modeling of REE and metabolically active tissue mass. *Am J Physiol* 275: E249-E258, 1998
- 49) Gallagher D, Allen A, Wang Z, Heymsfield B and Krasnow N. Smaller organ tissue mass in the elderly fails to explain lower resting energy metabolic rate. *Ann NY Acad Sci* 904: 449-454, 2000
- 50) Gallagher D, Albu J, He Q, Heshka S, Boxt L, Krasnow N and Eria 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
- 51) Heymsfield S.B, Gallagher D, Kotler D.P, Wang Z, Allison D.B, Heshka S. Body-size dependence of resting energy expenditure can be attributed to non-energetic homogeneity of fat-free mass. *Am J Physiol Endocrinal Metab* 282: E132-E138, 2002
- 52) Bosy-Westphal A, Reinecke U, Schlorke T, Illner K, Kutzner D, Heller M and Muller MJ. Effect of organ and tissue masses on resting energy expenditure in underweight, normal weight and obese adults. *Int J Obes Relat Metab Disord.*, 28 72-29, 2004
- 53) Usui C, Takahashi E, Gando Y, Sanada K, Oka J, Miyachi M, Tabata I and Higuchi M. Resting energy expenditure can be assessed by dual-energy X-ray absorptiometry in women regardless of age and fitness. *Eur J Clin Nutr* 63 : 529-535,

2007

- 54) 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
- 55) Ekhard, E.Ziegler and L.J. Filer, Jr.: Present knowledge in Nutrition, 8th ed. (2001) / 木村修一・小林修平 翻訳監修: 最新栄養学第8版, Chapter 1, pp3-12 (2002) 建帛社 東京
- 56) 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
- 57) Beals, K.A. and Manore, M.M. Disorders of the female athlete triad among collegiate athletes. *Int.J.Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 12, 281-293, 2002
- 58) Zanker Cathy L, Ian L.Swaine. The Relationship Between Serum oestradiol concentraion and Energy Balance in Young Women Distance Runners. *Int.J.Sports Med.*, 19, 104-108, 1998
- 59) 厚生労働省策定：日本人の食事摂取基準[2010年版], pp.43-61, 2010, 第一出版, 東京
- 60) 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及び評価に関するプロジェクト」報告. 栄養学雑誌, 64, 205-208, 2006
- 61) 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
- 62) 小鶴三男. 鉄欠乏性貧血, 貧血/高久史麿監修, p94-104, 1990 南江堂, 東京
- 63) Brožek J, Grande F, Anderson JT and Keys A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative

- assumptions. *Ann.NY.Acad.Sci.*, 110, 113-140, 1963
- 64) Webb P. 24-hour energy expenditure and the menstrual cycle. *Am.J.Clin.Nutr.*, 44, 614-619, 1986
- 65) Solomon SJ, Kurzer MS and Callway DH. Menstrual cycle and basal metabolic rate in women. *Am.J.Clin.Nutr.*, 36, 611-616, 1982
- 66) Weir JBV. New method for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J.Physiol.*, 109, 1-9, 1949
- 67) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査文化会編：五訂増補日本食品成分表，2006，第一出版，東京
- 68) 甲田道子：スポーツ選手の身体組成と貯蔵エネルギー，コンディショニングとパフォーマンス向上の栄養学/樋口満編著：p36-45, 2001, 市村出版，東京
- 69) Cureton KJ and Sparling PB. Distance running and metabolic responses to running in men and women with excess weight experimentally equated. *Med.Sci.Sport*, 12, 288-294, 1980
- 70) Arrese L and Eston R. Changes in performance, skinfold thickness, and fat patterning after three years of intense athletic conditioning in high level runners. *Br.J.Sports Med.*, 39, 851-856, 2005
- 71) Fogelholm GM, Katrina Kukkonen-Harjula T, Taipale SA., Sievänen HT, Oja P. and Vuori IM. Resting metabolic rate and energy intake in female gymnasts. figure-skaters and soccer players, *Int.J.Sports Med.*, 16, 551-556, 1995
- 72) 檜村修生，中井誠一，芳田哲也，伊藤孝．種々のスポーツにおける基礎代謝量．*日本衛生学雑誌*，42，809-814, 1987
- 73) 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
- 74) Loucks AB and Callister R. Induction and prevention of low T₃ syndrome in exercising women. *Am.J.Physiol.*, 264, R924-R930, 1993
- 75) Thompson J and Manore MM. Predicted and measured resting metabolic rate of male and female endurance athletes. *J.Am.Diet Assoc.*, 96, 30-34, 996
- 76) Shetty PS, Henry CJK, Black AE and Prentice AM. Energy requirements of adults: An update on basal metabolic rates (BMRs) and physical activity levels (PALs). *Eur.J.Clin. Nutr.*, 50 (SUPPL. 1), S11-S23, 1996
- 77) Otis CL, Drinkwater B, Johnson M, Loucks A and Wilmore J. ACSM Position stand: The Female Athlete Triad. *Med. Sci.Sports Exerc.*, 29, i-ix, 1997
- 78) Loucks AB.: Energy availability, not body fatness, regulates reproductive function in women. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 31, 144-148, 2003
- 79) Rund S. The Minerals: Calcium, Iron, and Zinc. *In : Nutrition and the Female Athlete.* pp75-105. CRC Press, Inc., New York, NY. 1996
- 80) Ministry of Health, Labour and Welfare. Dietary Reference Intakes for Japanese, pp43-61, 2010
- 81) Ravussin E, and Bogardus C. Energy balance and weight regulation: genetics versus environment. *Bri J Nutr* 83 : S17-S20, 2000
- 82) Cunningham JJ. A reanalysis of the factors influencing basal metabolic rate in normal adults. *Am J Clin Nutr* 33: 2372-2374, 1980

- 83) Illner K, Brinkmann G, Heller M, Bosy-Westphal A and Muller J. Metabolically active components of fat free mass and resting energy expenditure in nonobese adults. *Am J Physiol. Endocrinol. Metab.* 278: E308-E315, 2000
- 84) Snyder W.S, Cook M.J, Nasset E.S, Karhausen L.R, Howells G.P, Tipton I.H. *Report of the Task Group of Reference Man.* Pergamon Press, Oxford. 1975
- 85) Heymsfield S.B, Smith R, Aulet M, Bensen B, Lichtman S, Wang J et al. Appendicular skeletal muscle mass : measurement by dualphoton absorptiometry. *Am J Clin Nutr* 52: 214-218, 1990
- 86) Kim J, Wang Z, Heymsfield SB, Baumgartner RN, 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
- 87) Grande F. Energy expenditure of organs and tissues. *In : Assessment of Energy Metabolism in Health and Disease* (JM Kinney, ed) pp88-92. Ross Laboratories, Columbus, OH. 1989
- 88) Hayes M, Chustek M, Wang Z, Gallagher D, Heshka S, Spungen A et al. DXA : potential for creating a metabolic map of organ-tissue resting energy expenditure components. *Obes Res* 10 : 969-977, 2002
- 89) Beals K. and Manore M. Disorders of the female athlete triad among collegiate athletes. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.*, 12: 281-293, 2002
- 90) Taguchi M, Ishikawa-Takata K, Tatsuta W, Katsuragi C, Usui C, Sakamoto S and Higuchi M. Resting energy expenditure can be assessed by fat-free mass in female athletes regardless of body size. *J. Nutr. Sci. Vitaniol.*, 57(1), 2011, (in press)

- 91) Frankenfield D, Roth-Yousey L, Compher C. Comparison of predictive equations for resting metabolic rate in healthy nonobese and obese adults: A systemic review. *J. Am. Diet. Assoc.*, 105, 775-789, 2005
- 92) Weiji P. Validity of predictive equations for resting energy expenditure in US and Dutch overweight and obese class I and II adults aged 8-65y. *Am. Soc. Nutr.*, 88, 959-970, 2008
- 93) Ganpule A, Tanaka S, Ishikawa-Takata K and Tabata I. Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 61, 1256-1261, 2007
- 94)Owen O. Resting metabolic requirements of men and women. *Mayo Clinic Proc.*, 63: 503-510, 1988
- 95)Owen O, Kavle E, Owen R, Polansky M Caprio S, Mozzoli M, Kendrick Z, Bushman M and Boden G, A reappraisal of caloric requirements in healthy women. *Am. J. Clin. Nutr.*, 44, 1-19, 1986
- 96) Tanaka S, Ohkawara K, Ishikawa-Takata K, morita A and Watanabe S. Accuracy of predictive equations for basal metabolic rate and contribution of abdominal fat distribution to basal metabolic rate in obese Japanese people. *Anti-Aging Med.*, 5, 17-21, 2008
- 97)Korth O, Bosy-Westphal A, Zschoche P, Glüer C, Heller M and Müller M. Influence of methods used in body composition analysis on the prediction of resting energy expenditure. *Eur. J. Clin. Nutr.*, 61, 582-589, 2007
- 98)Maehlum S, Grandmontagne M., Newsholme EA and Sejersted OM. Magnitude and duration of excess postexercise oxygen consumption in healthy young subjects. *Metab.*, 35, 425-429,

1986

- 99) James WPT, Hoggard N and Palph A. (細谷憲政ら総監修). 栄養と遺伝子科学, ヒューマン・ニュートリション 基礎・食事・臨床 第10版, pp300-309, 2004, 医歯薬出版(株), 東京
- 100)Walston J, Silver K, Bogardus C, Knowler WC, Cell FS, Austin S, Manning B, Strosberg AD, Stern MP, Raben N, et al. Time of onset of non-insuline-dependent diabetes mellitus and genetic variation in the beta 3-adrenergic-receptor gene. *N Engl J Med.*, 333: 343-347, 1995
- 101)佐藤祐造編著. 生活習慣病対策および健康維持・増進のための運動療法と運動処方, 遺伝子解析, pp39-44, 2005, 文光堂, 東京
- 102)Hasegawa A, Usui C, Kawano H, Sakamoto S and Higuchi M. Characteristics of body composition and resting energy expenditure in young lean women. *J. Nutr. Sci. Vitaniol.*, 57(1), 2011, (in press)