

若年痩身女性の基礎代謝量の実測値と推定値の比較検討

渡部 由佳 藤井 久雄

キーワード：若年痩身女性, 基礎代謝量, 推定値

A comparison of the predicted value and the measured value of basal metabolic rate
in lean young women

Yuka Watanabe Hisao Fujii

abstract

It is considered as a big problem that more than 20% of women in their 20s have a body mass index (BMI) less than 18.5 and fall into “lean”. In day-to-day scenes of nutritional management, basal metabolic rate (BMR) is indispensable to estimate energy requirements. However, calculation of dietary reference intakes for Japanese (Japan-DRI) utilizing body weight (BW) is considered to cause estimate errors among lean persons. The objective of this study was to compare measured value of BMR with predicted value of BMR calculated from BW or lean body mass (LBM) among lean young women. Measured value of BMR was measured using the IHC in lean young women ($n=19$, 20.5 ± 1.3 years, $BMI 17.7 \pm 0.8$ kg/m²). Predicted value of BMR was calculated using predicted equation based on BW (A: Japan-DIR) or LBM (B: NIHN, C: Taguchi et al.). Measured value of BMR were higher than the predicted value of A in all subjects (A: $r=0.621$ $p<0.001$ $y=0.80x+362$). The actual value of BMR may overestimate the estimate using BW in lean young women. According to a stepwise multiple regression analysis, LBM are the most important factors among body compositions to determine BMR of lean young women(43%). The regression line of B approximated the gradient where measured BMR coincides with estimated BMR. (B: $r = 0.680$, $p < 0.05$, $y = 1.01x + 35$; C: $r = 0.678$, $p < 0.001$, $y = 0.677x + 462$). In conclusion, it was suggested that LBM are more useful than BW to estimate BMR of lean young women.

Key words: lean young women, basal metabolic rate, measured value

I. 諸言

近年若い女性のやせの問題は深刻化している。平成 23 年国民健康・栄養調査結果によると、女性のやせの者(BMI<18.5 kg/m²)の割合は 10.4%であり、特に 20 歳代女性では 21.9%と、近年高い割合で推移している。やせは、感染症や一部のがんへの罹患のリスクを高め総死亡のリスクを高めるほか、若年女性では、骨密度の低下(竹下ら,2005)、神経性食欲不振症(van ら,1990)、妊娠に伴う低体重児さらに低体重児が成人になり生活習慣病になりやすい(BarkerDJ,1995)と報告されている。

「二十一世紀における第二次国民健康づくり運動」では、平成 34 年度までに 20 歳代女性のやせの者の割合を 20%にまで減少することが目標に掲げられている(健康日本 21(第二次)の推進に関する参考資料,2012)。また、平成 27 年度から新たに、特定給食施設の栄養管理の評価手法に「肥満及びやせに該当する者の割合」の指標が含まれることになった。平成 26 年度の肥満並びにやせに該当する者の割合を基準とし、その割合が 5%以上増加している健康増進を目的とする施設に、自治体が指導・助言を行うものである(特定給食施設における栄養管理に関する指導及び支援について,2013)。

栄養指導や給食管理の現場では、日本人の食事摂取基準(2010年版)(以下「食事摂取基準」)を用いて、体重に基礎代謝基準値を乗じて求めた基礎代謝量(Basal metabolic rate : BMR)に身体活動レベル(Physical activity level : PAL)を乗じて個人の推定エネルギー必要量を算出する。しかし、食事摂取基準の基礎代謝基準値は基準体位において推定値と実測値が一致するように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。そのため、この過大評価、過小評価した基礎代謝量を用いて

得られた推定エネルギー必要量は、肥満者の場合は真のエネルギー必要量よりも大きく、やせではより小さい可能性が高い。このようにして推定したエネルギー必要量を用いてエネルギー摂取量を計画すると、肥満者ではより肥満が進行し、やせではよりやせる確率が高くなるとされている。

日本人の若年痩身女性を対象とした基礎代謝量に関する先行研究において、公表されている基礎代謝量の実測値と食事摂取基準を用いた基礎代謝量の推定値を比較したところ、実測値が推定値を上回るもの(Hasegawa ら, 2011 松井ら,2012)、下回るもの(高橋ら, 2007)があり、若年痩身女性の基礎代謝量は食事摂取基準から算出したものと比較して、過大評価しているもの過小評価しているもの様々な報告がある。

そこで、本研究では若年痩身女性の基礎代謝量に着目し、実測値と食事摂取基準を用いた推定値の比較を行った。さらに、若年痩身女性の基礎代謝量に影響する因子である LBM を係数に含む推定式を用いた推定値との比較検討をすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

本研究の被験者は、S 大学の学部および大学院に所属する BMI18.5 未満の健常女子学生 19 名とした。被験者には、研究の実施に先立ち、研究の概要、目的、方法・期間、協力における任意性、個人情報取り扱いについて十分に説明し書面にて同意を得た。なお、本研究はヘルシンキ宣言に基づき倫理的原則を遵守し、仙台大学倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 測定時期

測定は、2011 年 11 月～12 月、2012 年 8 月～9 月、2013 年 8 月～10 月に実施した。

3. 実測基礎代謝量

基礎代謝量の測定は、ヒューマンカロリー

ーメーターにて行った。2時間30分のアルコール燃焼試験において、エネルギー消費量の実測値/理想値は103%であった。

被験者に月経周期に関する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。入室日、被験者には朝食および昼食に規定食を摂取させ、水以外の飲食はしないように指示した。入室日は18:00に来室、18:15に規定食(夕食)摂取後、心拍計を装着し19:00に入室させた。室内は温度25℃、湿度50%、排気流量70Lとした。23:00の就寝までは座位安静とした。翌朝6:00に起床させ、検温、排尿をしたのち、30分以上の仰臥位安静状態をとった後、入室前に測定した安静時の心拍数と差がないことを確認したうえで、基礎代謝量を測定した。

基礎代謝量の測定は、6:45から7:14までの1分あたりのエネルギー消費量を用い、5分間以上低値で安定している時間帯を中心に10分間のエネルギー消費量を求め、さらに144(分)を積算し、その値を本研究の1日当たりの基礎代謝量とした。5分間の低値安定状態が得られなかった場合は、低値安定の継続時間が一番長い時間帯を中心に10分間のエネルギー消費量を求め1日当たりの基礎代謝量を算出した。なお、体重あたり(kcal/kg BW/日)及び除脂肪体重あたり(kcal/kg LBM/日)の基礎代謝量も算出した。

4. 身体組成

被験者の身体組成は、部位別接触型インピーダンス法(DSM-BIA法:InBody720 Biospace社製)を用い、夕食の規定食を摂取する前であるヒューマンカロリメーター入室前および、排尿を済ませた早朝空腹時であるヒューマンカロリメーター退室後に測定した。データは退室後のものを使用し、退室後のデータが得られなかった3名は入室前のデータを使用した。

5. 推定基礎代謝量

基礎代謝量の推定は、食事摂取基準に記載されている基礎代謝基準値(kcal/kg BW/日)を用いて、個別に体重(kg)の測定値を乗じて算出した。

6. 栄養摂取状況調査

基礎代謝量測定前(数日~最大2ヶ月前)に、エクセル栄養君食物摂取頻度調査FFQ g Ver.3.5を用いて、最近1~2か月程度のうち1週間を単位として、食物摂取量と摂取頻度から栄養素摂取量を調査した。なお、質問に対する回答の信頼性を高めるために、回答マニュアルを作成し活用するとともに、管理栄養士の補助のもとで調査を実施した。

7. 規定食

ヒューマンカロリメーター入室当日は規定食を提供し、被験者の食事管理を行った。規定食は被験者の通常通りの食事内容となるよう、栄養摂取状況調査より得られた栄養摂取状況をもとに個別に設定し、調理による食事間の誤差を小さくするため冷凍食品を中心とした食事とした。なお、規定食以外は水のみ摂取可能とし、自由飲水とした。

8. 統計処理

すべてのデータは平均値±標準偏差で示した。本研究で得られたデータの統計処理はSPSS statistics 19.0 (IBM社)にて行い、2群間の差の比較には対応のあるt検定、2群間との関係はPearsonの単相関係数を用いた。さらに基礎代謝量に影響を及ぼす要因を検討するために、従属変数を実測基礎代謝量とし、説明変数を除脂肪体重(LBM)、体脂肪量、身長、エネルギー摂取量および、体重、身長、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、基礎代謝量に対する説明変数の寄与率を求めた。また、推定誤差(estimation error)と、実測基礎代謝量と推定基礎代謝量の誤差の変動

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 - Alman-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。

Ⅲ. 結果

1. 身体特性

本研究の被験者の身体的特徴を表1に示した、本研究の被験者の平均身体計測値は身長 160.4±4.7cm、体重 45.6±3.6kg、BMI17.7±0.8であった。

表1 被験者の身体的特徴

年齢	(歳)	20.5	±	1.3
身長	(cm)	160.4	±	4.7
体重	(kg)	45.6	±	3.6
BMI	(kg/m ²)	17.7	±	0.8
体脂肪率	(%)	17.7	±	4.2
体脂肪量	(kg)	8.0	±	1.9
LBM	(kg)	37.6	±	3.7

平均値±標準偏差 n=19

BMI = Body Mass Index。LBM=Lean Body Mass.

2. 基礎代謝量

本研究の被験者の基礎代謝量を表2に示した。1日当たりの実測値は1166±102kcal/日、体重当たり25.6±1.9kcal/kg BW/日、LBMあたり31.1±2.5kcal/kg LBM/日であった。また、食事摂取基準に記載されている基礎代謝基準値(kcal/kg 体重/日)を用いて、個別に体重(kg)の測定値を乗じて算出した推定値は1008±79kcal/日であった。

実測基礎代謝量(kcal/日)と推定基礎代謝量(kcal/日)の関係を示したのが図1である。実測値と推定値は、有意な正の相関関係が認められた(r=0.62 p<0.001)。また、y=xと比較し、すべての被験者において推定値は実測値を下回っていた。

実測基礎代謝量(kcal/日)と体重(kg)、実測基礎代謝量(kcal/日)とLBM(kg)の関係を示

したのが図2、図3である。実測基礎代謝量(kcal/日)と体重(kg)には、有意な正の相関関係が認められた(r=0.62 p<0.001)。さらに、実測基礎代謝量(kcal/日)とLBM(kg)の間にも有意な正の相関関係が認められた(r=0.68 p<0.001)。

表2 被験者の基礎代謝量

実測値 (kcal/日)	1166±102	(1358-988)
(kcal/kgBW/日)	25.6±1.9	(29.8-23.0)
(kcal/kgLBM/日)	31.1±2.5	(37.3-27.5)
推定値 (kcal/日)	1008±79	(1125-873)

平均値±標準偏差、(最大値-最小値) n=19

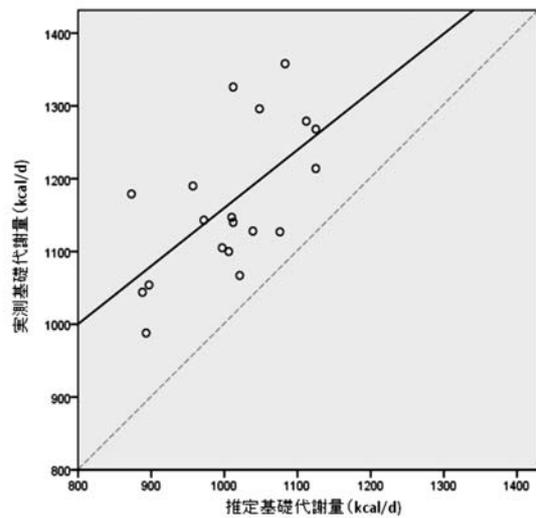


図1 推定基礎代謝量と実測基礎代謝量の関係
n=19, y=0.80x+362.0 r=0.62 p<0.001

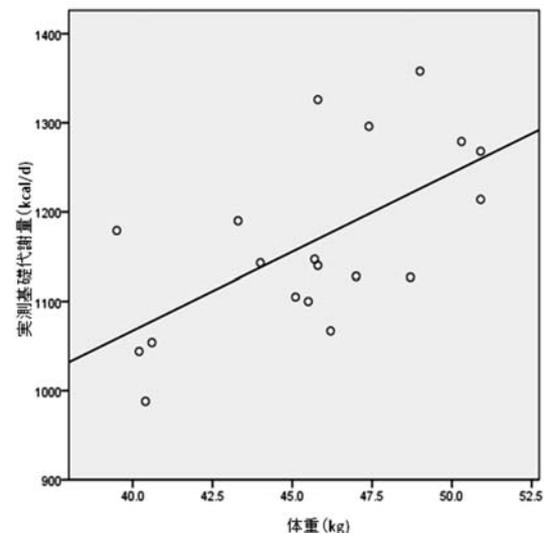


図2 体重と実測基礎代謝量の関係
n=19, y=17.65x+361.2 r=0.62 p<0.001

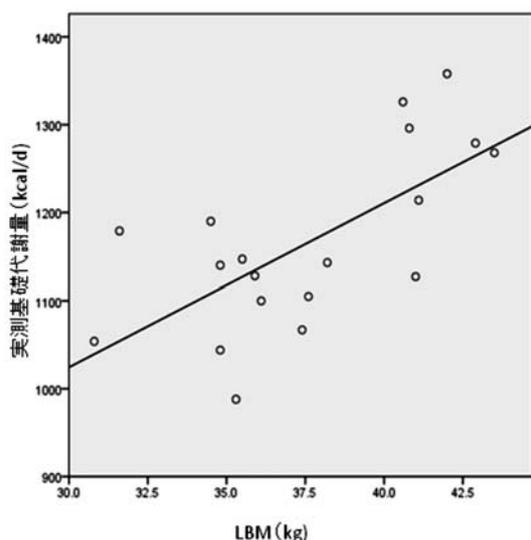


図3 LBMと実測基礎代謝量の関係
 $n=19, y=18.62x+465.8 \quad r=0.68 \quad p<0.001$

3. 栄養摂取状況

被験者の栄養摂取状況を表3に示した。エネルギー摂取量は 1594 ± 264 kcal、たんぱく質エネルギー比 $12.7 \pm 1.7\%$ 、脂質エネルギー比 $30.3 \pm 3.1\%$ 、炭水化物エネルギー比 $57.0 \pm 4.0\%$ であった。

表3 被験者の栄養摂取状況

エネルギー	(kcal)	1594	±	264
たんぱく質	(g)	51.0	±	12.3
脂質	(g)	54.0	±	12.1
炭水化物	(g)	207.8	±	34.6
たんぱく質エネルギー比	(%)	12.7	±	1.7
脂質エネルギー比	(%)	30.3	±	3.1
炭水化物エネルギー比	(%)	57.0	±	4.0

平均値±標準偏差 n=19

4. 基礎代謝量の変動要因

若年痩身女性の基礎代謝量に影響を及ぼす因子を検討するために、LBM、体脂肪量、身長、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、LBMが基礎代謝量に最も寄与する因子であり、LBMで46.0%説明できることが示されたが、体脂肪量、身長、エネルギー摂取量は除外された。また、LBMと体脂肪量の代わりに体重を説明変数とした場合、基礎

代謝量に対するLBMの寄与率(43.0%)に対し、体重の寄与率は(35.0%)であった。LBMの推定標準誤差は77kcal/day、体重では82kcal/dayであった。

5. LBMを変数に含む推定式による基礎代謝量推定

若年痩身女性の基礎代謝量を規定する因子がLBMであることから、LBMを変数に含む既存の基礎代謝量推定式が若年痩身女性に適用できるかどうか検討を加えたここではLBMを変数に含む推定式のうち、対象層が日本人向けのもの(Ganpuleら,2007)と、日本人の女性競技者を対象にしたもの(田口ら,2011)を用い、それぞれ実測基礎代謝量と比較した。表4に本研究で使用したLMBに基づく基礎代謝量推定式とその特徴をまとめた。また基礎代謝量の実測値と推定値を表5に、LBMを変数に用いた各推定式から得られた推定基礎代謝量と実測基礎代謝量との関係を図4に示した。Ganpuleの式が推定誤差およびTEの値が最も小さかった。Ganpuleの式、田口らの式いずれも、推定値と実測値との間に有意な正の相関関係が認められた($P<0.05$)。いずれの式を用いても多くの被験者において推定値が実測値より低くなる傾向が見られた。

IV. 考察

本研究の被験者の基礎代謝量の実測値と食事摂取基準を用いて算出した推定値は有意な正の相関が見られ、すべての被験者において推定値は実測値を下回っていた。このことから若年痩身女性が食事摂取基準を用いて推定した場合、基礎代謝量の推定値は実測値を過小評価する可能性があることが示唆された。

本研究の実測値が、若年痩身女性の基礎代謝量を測定した先行研究の実測値より高くなった要因のひとつとして被験者の

表4 本研究で使したLBMに基づく基礎代謝量推定式

推定式	回帰方程式	対象
Ganpule (2007)*	$BMR=0.0787 \times FFM(kg) + 0.0268 \times FM(kg) - 0.0109 \times AGE - 0.3314 \times 2 + 2.3958$	健康な日本人女性 66名 (Ganpuleら,2007)
田口ら (2011)	$BMR=27.5 \times LBM(kg) + 5$	日本人女性競技者 205名 (田口ら,2011)

変数 fat-free mass (FFM)と LBM は同義とする.

*energy conversion facto:1kj=4.184kcal FM:fat mass

表5 基礎代謝量の実測値と推定値

	基礎代謝量 (kcal/日)	有意確率	推定誤差 (kcal/日)	TE (kcal/日)
実測値	1166±102	—	—	—
推定値				
食事摂取基準	1007±79	0.001	158±82	30
Ganpule	1119±68	0.05	46±75	28
田口ら	1039±102	0.001	126±82	33

TE:total error

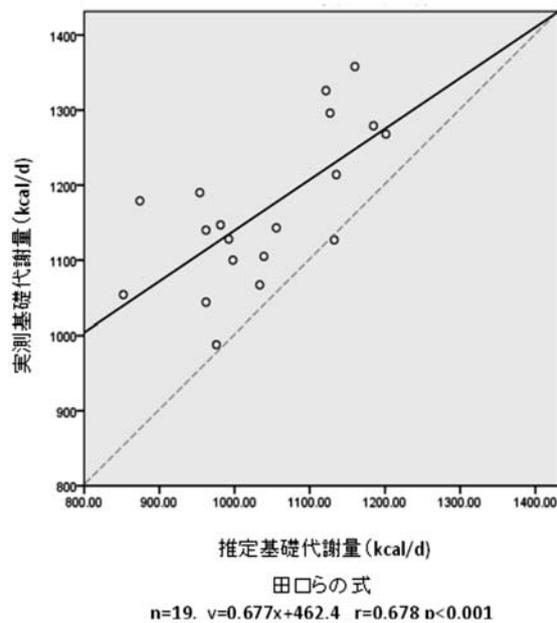
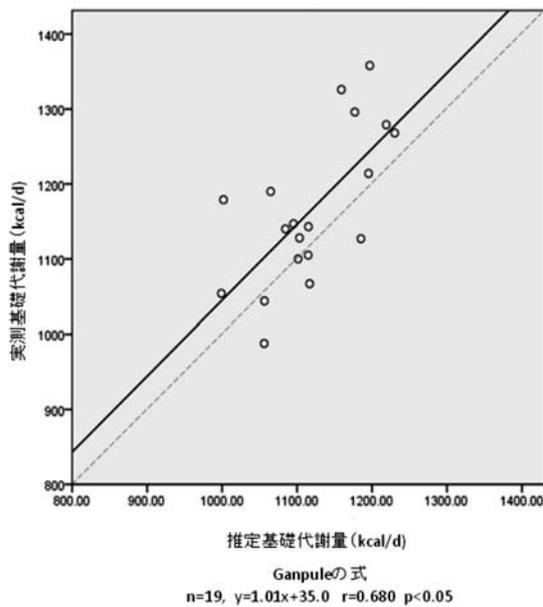


図4 LBMを変数に用いた各推定式から得られた推定基礎代謝量と実測基礎代謝量との関係

LBMが高いことが挙げられる。本研究で身体組成計測に使用したInbody720の体脂肪率標準範囲が18.0~28.0%に対して、被験者の体脂肪率は $17.7 \pm 4.2\%$ と、本研究の被験者は体脂肪率が少なくLBMが多いという身体的特徴が見られた。これは、被験者を募集したS大学が体育系大学のため、現在や過去の運動習慣などが影響しLBMの増加、体脂肪率の減少につながったと考えられる。

基礎代謝量に影響を及ぼす因子を検討するために、重回帰分析(ステップワイズ法)を行った。その結果LBMが基礎代謝量に最も寄与する因子であり、基礎代謝量に対

するLBMの寄与率(43.0%)に対し、体重の寄与率は(35.0%)であった。また、LBMの相関係数は $r=0.68$ と、体重と基礎代謝量の相関係数($r=0.62$)よりも高く、またLBMの推定標準誤差は77kcal/day、体重では82kcal/dayであった。

そこで、若年痩身女性の基礎代謝量を規定する因子がLBMであることから、LBMを用いた既存の基礎代謝量推定式が若年痩身女性に適用できるかどうか検討を加えた。ここではLBMを変数に含む算出式として、Ganpuleの式と、田口らの式を選択した。

Ganpule の式は、国立健康・栄養研究所が日本人成人を対象に作成したもので、体重・身長・年齢を変数に用いた式と、除脂肪量・脂肪量・年齢を変数に用いた式が男女別に示されている (Ganpule ら,2007)。一方、田口らの式は、身体活動や身体特性に幅があり食事摂取基準の適用が難しい、日本人女性競技者向けに作成したものである (田口ら,2011)。

本研究において、LBM を用いた既存の2つの基礎代謝量推定式は、推定値と実測値との間に有意な正の相関関係が認められ、いずれの式も多くの被験者において推定値が実測値より低くなる傾向が見られた。田口らの式では、特に推定値の小さい人、つまり LBM の小さい人で推定誤差が大きくなった。一方 Ganpule の式は、推定誤差が生じるものの、得られた回帰直線の傾きが $y=x$ に近く (回帰式 $y=1.01x+35.0$)、本研究の被験者においては、検討した推定式の中で最も推定誤差が小さくなった ($46\pm 75\text{kcal/日}$)。

基礎代謝量の推定においては、作成上の対象者集団の特性の影響が多いと言われている (Korth ら, 2007)。Ganpule の式は一般成人男女から、田口らの式は女性アスリートから得られたものであること、そして Ganpule の式を作成した対象集団の被験者の LBM は $39.8\pm 5.1\text{kg}$ に対し、田口らの式を作成した対象集団の被験者の LBM は $45.4\pm 6.2\text{kg}$ および $45.4\pm 5.2\text{kg}$ であることから、本研究の被験者の身体活動レベルや LBM が近い、Ganpule の式において推定誤差が小さくなったと考えられる。

一般的に体重変化のない状態では、エネルギー摂取量とエネルギー消費量が釣り合っていると考えられている。本研究において、被験者のエネルギー摂取量と、実測基礎代謝量に栄養摂取状況調査で得られた身体活動レベルを乗じて求めたエネルギー消費

量に相関はみられなかった。被験者の栄養摂取状況の把握には、食物摂取頻度調査法を用いたが、女性の「やせたい」という意識は食事量の過小評価量を有意に大きくさせていると報告されている (柳井ら,2006)。本研究では、やせ願望などの体型認識の把握は行わなかったが、被験者によっては摂取量の過小評価が生じている可能性が考えられる。調査精度の点において、今後は秤量式食事記録法と組み合わせるなど、より精度の高い手法で長期的な評価が必要であると思われる。

なお、基礎代謝量が高くなる要因のひとつにホルモンの影響が考えられる。本研究の基礎代謝量測定は、被験者ごとに月経周期に関する事前の聞き取りを行い、基礎代謝量が高値となる黄体期および月経期を避け、低体温期でもある卵胞期に測定をおこなった。しかし、健常者を対象とする早朝空腹仰臥位安静時代謝の測定では、甲状腺ホルモン (トリヨードサイロニン: T3、サイロニン: T4) が基準値からはずれる対象者が少なからず存在するため、とくに T3 の測定は必要だと報告されている (島田ら,2006)。本被験者においても T3 が影響して基礎代謝量の実測値が推定値を上回った可能性がある。

また、基礎代謝量には季節変動が存在し、その年間変動幅は 11.0% であると報告されている (島岡ら,1987)。本研究では 8 月から 12 月にかけて測定したデータを用いたため、季節変動が生じたとも考えられる。

本研究の検討における問題として、対象群を設定していないこと、対象症例数が少ないことが挙げられる。今後 BMI や身体組成など幅広い症例を加えた検討が必要であると思われる。

V. 栄養指導の現場への活用に向けて

若年痩身女性が食事摂取基準を用いて推定した基礎代謝量は、実測基礎代謝量を過小評価する可能性がある。若年痩身女性の基礎代謝量は、基礎代謝基準値で画一的に求めるのではなく、LBMなどの身体組成を把握し、個々人に合わせた指導が重要である。

VI. 参考文献

健康局がん対策・健康増進課栄養調査係：平成23年国民健康・栄養調査結果の概要，厚生労働省，2012年

厚生労働省：日本人の食事摂取基準（2010年版），第一出版，東京，2009

竹下登紀子ほか：女子学生における体型および運動習慣と骨密度の関連性，保健の科学，47(2)，143-149,2005

van Binsbergen CJM, Coelingh Bennink HJK, Odink J, Haspels AA, Koppeschaar HPF：A comparative and longitudinal study on endocrine changes related to ovarian function in patients with anorexia nervosa. *J Clin Endocrinol Metab* 71：705-711,1990

Barker DJ：Fetal origins of coronary heart disease. *BMJ*,311,171-174,1995

厚生科学審議会地域保健健康増進栄養部会/次期国民健康づくり運動プラン策定専門委員会：健康日本21（第二次）の推進に関する参考資料，2012

厚生労働省健康局がん対策・健康増進課長：特定給食施設における栄養管理に関する指導及び支援について，2013

健康局総務課生活習慣病対策室：日本人の食事摂取基準（2010年版概要），厚生労働省，2009

Hasegawa A, Usui C, Kawano H, Sakamoto S, Higuchi M：Characteristics of Body Composition and Resting En-

ergy Expenditure in Lean Young Women, *J Nutr Sci Vitaminol* 57：74-79, 2011

松井貞子，飯田繭子，甲田あかり，南里由美子，中山悠子，野坂桃子：若年女性のやせと安静時代謝量および身体組成との関係についての検討，*日本病態栄養学会誌* 15(3)：233-238, 2012

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 No5:241-247, 2007

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 (Tokyo)*. 57(1)：22-9, 2011

AA Ganpule, S Tanaka, K Ishikawa-Tanaka and I Tabata：Interindividual variability in sleeping metabolic rate in Japanese subjects：European Journal of Clinical Nutrition (2007) 61, 1256-1261

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(4), 423-432, 2011

Korth O, Bosy-Westphal A, Zschoche P, Glüer CC, Heller M, Müller MJ:Influence of methods used in body composition analysis on the prediction of resting energy expenditure. *Eur J Clin Nutr.*: 61(5)：582-9,2007

柳井玲子，増田利隆，喜多河佐知子，長尾憲樹，長尾光城，松枝秀二：若年男女における食事量の過小・過大評価と身体的，心理的要因および生活習慣との関係，*川崎医療福祉学会誌* 16(1),109-119,2006

島田美恵子，西牟田守，児玉直子，吉武裕：血漿トリヨードサイロニン(T3)は低値者が存在し，しかも早朝空腹仰臥位安静

時代謝(PARM)と正相関する - T3 は基礎代謝基準値策定のための PARM 測定時の必須測定項目である - , 体力科学 55(3), 295-305 : 2006

島岡章, 町田和彦, 熊江隆, 菅原和夫, 倉掛重精, 岡村典慶, 末宗淳二郎 : 基礎代謝の季節変動について, 日生气誌 4(1) : 3-8, 1987

