早朝空腹時に仰臥位安静で測定した消費エネルギーとその再現性について

島田 美恵子¹⁾ 西牟田 守²⁾ 児玉直子²⁾ 吉武 裕³⁾

REAPPEARANCE TEST OF THE POST-ABSORPTIVE RESTING METABOLIC RATE IN YOUNG JAPANESE FEMALES

MIEKO SHIMADA, MAMORU NISHIMUTA, NAOKO KODAMA and YUTAKA YOSHITAKE

Abstract

The purpose of this study was to investigate the reappearance of the post-absorptive resting metabolic rate (PARM) during a prescribed diet. The subjects were 10 sedentary female college students (20.1 ± 0.7 yrs). Thyroid function was judged in all of them to be within a normal range. Subjects stayed in a metabolic ward at the National Institute of Health and Nutrition for 18 days. The post-absorptive resting metabolic rate was measured 4 times during the experimental period. Moreover, blood was collected five times, and general health care including the measurement of thyroxine by blood biochemical examination was carried out. As for the actual metabolic measurements, a high reappearance was confirmed by the intra-individual coefficient of variation (CV) of the post-absorptive resting metabolic rate ($3.5 \pm 1.8\%$) and the inter-individual CV (7.2%). The smallest CV was the standard value of PARM/body surface area, followed by PARM/body weight, PARM/LBM, and PARM/urine creatinine. On the other hand, weight (50.8 ± 4.9 vs 50.3 ± 4.6 kg; $p < 0.01$), hemoglobin concentration (13.7 ± 0.5 vs 12.8 ± 0.5 g/dl; $p < 0.05$), serum total cholesterol level (194 ± 41 vs 175 ± 37 mg/dl; $p < 0.05$) and post-absorptive resting oxygen uptake (0.149 ± 0.01 vs 0.142 ± 0.01 l/min; $p < 0.01$) decreased significantly during the experiment. According to the Japanese Recommended Dietary Allowances (RDAs) (1999), basal metabolic rate (BMR) was calculated at 1,210 kcal/day or 23.6 kcal/kg body weight/day for women within the 18-29 year age group. But the results (the mean of all measurements) of this research suggested that this value was $1,033 \pm 79$ kcal/day, or 20.7 ± 2.0 kcal/kg body weight/day based on the method of Weir; and was approximately 10% lower than RDAs. Future investigation is required to explain the reasons for the difference in BMR between this study and that of previous ones.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2004, 53: 83~92)

key word: post-absorptive resting metabolism, reappearance, young Japanese females

I. 目 的

エネルギー摂取基準値(摂取基準値)は、実際に測定された基礎代謝量に基づいて基礎代謝基準値を算定し、これをもとに策定していく必要がある¹⁾。

基礎代謝量は、“生命維持のための覚醒・安静

時における最少エネルギー代謝量”と定義され、理論的に定常性が期待されている²⁾。Greenleaf³⁾は、真の基礎代謝(a true basal metabolism)として、食後少なくとも12時間経過した、覚醒直後の、一定の環境で、最小限の身体活動という条件下で測定された代謝量と定義し、この条件を満たすか否かで測定値が変動すると考察している。実際に、

¹⁾ 東京大学大学院博士課程総合文化研究科
広域科学専攻生命環境科学系身体運動科学
〒153-8902 東京都目黒区駒場3-8-1

²⁾ 独立行政法人 国立健康・栄養研究所
人間栄養学研究系栄養所要量研究部
〒162-8636 東京都新宿区戸山1-23-1

³⁾ 鹿屋体育大学 体育学部 生涯スポーツ学講座
〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1番地

Laboratory for sports science, Department of life science.
University of Tokyo

Laboratory of Mineral Nutrition, The Incorporated
Administrative Agency of Health and Nutrition

Department for interdisciplinary studies of lifelong sports and
physical activity, National institute of fitness and sports in
Kanoya

測定前の身体活動⁴⁾や室温^{5,6)}といった、微妙な測定条件の違いは測定結果に影響を及ぼすことが報告されている。

しかし、Greenleaf の測定条件を満たしてもなお、ベットレスト実験前後で基礎代謝が不変であったという報告⁷⁾と減少したという報告⁸⁾、トレーニング実験前後で筋量あたりの基礎代謝が増加したという報告⁹⁾と増加しないという報告¹⁰⁾、女子の性周期による基礎代謝の変動があるという報告^{11~14)}とないという報告^{15~17)}があり、基礎代謝の変動についての結果は必ずしも一致しない。

このような状況で、エネルギー摂取基準値を算定するための基礎代謝量を測定する場合には、測定条件を厳密に設定した精度管理を実施した上で、集団の平均値および変動幅を明らかにするとともに、個体間の変動を標準化する指標を検討する必要がある²⁾。

これまでに、基礎代謝量として測定された早朝空腹仰臥位安静時代謝の変動要因は、個体内変動¹⁷⁾、個体間変動¹⁸⁾、季節変動^{19,20)}、性周期に

よる変動^{12~17)}としてすでに報告されている。しかし、測定期間中の食事の内容について、さらに微量栄養素まで厳密に規定した報告はみられない。

この点に着目し、本研究では、被験者を宿泊させ、同一の食事内容となるよう作成した食事を摂取させながら、これまでに知られている基礎代謝の測定条件^{21,22)}を満たした(性周期の調整を除く)早朝空腹仰臥位安静時代謝を複数回測定し、個体内再現性および個体間再現性について明らかにすること、および、個体間の変動を標準化する指標について検討することを目的とした。

Ⅱ. 方 法

本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り、独立行政法人国立健康・栄養研究所倫理委員会・ヒトゲノム・遺伝子解析を除く研究に関する部会の承認を得て実施した。

A. 対象者

対象者は、あらかじめ実験内容を説明し、文書

Table 1. Initial, final and average of the variables, and their intra- and interindividual CV (%) (N=10).

	sample number	Initial	Final		Average	Intraindividual CVs(%) ^{#1}	Interindividual CVs(%) ^{#2}
Post-absorptive resting metabolism							
Oxygen uptake (l/min)	4	0.15 ± 0.01	0.14 ± 0.01	**	0.15 ± 0.01	3.54 ± 1.87	7.29
Ventilation (l/min)	4	4.37 ± 0.42	4.19 ± 0.28		4.26 ± 0.29	3.41 ± 3.18	6.72
RQ	4	0.85 ± 0.04	0.83 ± 0.03		0.83 ± 0.02	3.05 ± 0.78	2.20
Heart rate (beats/min)	4	56.1 ± 5.0	50.0 ± 6.8	**	52.9 ± 5.7	7.00 ± 3.70	10.73
Basal body temperature (°C)	17	36.3 ± 0.2	36.5 ± 0.2		36.4 ± 0.1	0.52 ± 0.10	0.38
Physical characteristics							
Height (cm)	17	161.5 ± 6.2	161.6 ± 6.0		161.4 ± 6.0	0.14 ± 0.04	3.74
Weight (kg)	17	50.82 ± 4.92	50.33 ± 4.60	**	50.65 ± 4.76	0.58 ± 0.21	9.40
Body surface area (BSA)(m ²)	17	1.48 ± 0.10	1.47 ± 0.09	**	1.48 ± 0.10	0.29 ± 0.11	6.44
Skinfold thickness (mm) ^{#3}	5	27.8 ± 8.6	27.8 ± 7.9		27.6 ± 7.9	4.94 ± 2.18	28.55
Percentage body fat (%)	5	20.8 ± 4.9	20.8 ± 4.5		20.7 ± 4.5	4.09 ± 1.98	21.9
LBM (kg)	5	40.0 ± 2.9	39.8 ± 2.7		40.0 ± 2.9	1.17 ± 0.60	7.09
Biochemical examination of blood and urine							
Urine creatinine (mg/min)	17	0.67 ± 0.09	0.60 ± 0.11		0.66 ± 0.05	8.62 ± 8.66	8.01
Total protein (mg/dl)	5	7.1 ± 0.4	6.9 ± 0.3		7.0 ± 0.3	2.73 ± 1.24	3.67
Hemoglobin (g/dl)	5	13.7 ± 0.5	12.8 ± 0.5	*	13.0 ± 0.4	3.55 ± 1.09	2.96
Albumin (g/dl)	5	4.6 ± 0.2	4.5 ± 0.2		4.5 ± 0.1	2.93 ± 1.01	3.25
Ca(mEq/l)	5	4.6 ± 0.2	4.8 ± 0.1		4.7 ± 0.1	2.19 ± 1.19	1.78
Total cholesterol (mg/dl)	5	194 ± 41	175 ± 37	*	181 ± 37	5.80 ± 2.82	20.33
Tri-iodo thyronine (ng/dl)	5	118 ± 23	109 ± 18	**	105 ± 15	11.00 ± 4.67	14.06

Mean ± SD

#1 : mean ± SD of individual CV (%)

#2 : CV of individual average (n=10)

#3 : Sum of upper arm and subscapula (by Eiken caliper)

* : p<0.05 ** : p<0.05 compared with initial data

で参加を申し込んだ、運動習慣のない女子大学生12名のうち、測定条件を満たした10名(平均年齢 20.1 ± 0.7 歳)とした。除外した2名のうち、1名はトリヨードサイロニン(T3)、サイロキシン(T4)が基準値外であり、他の1名は呼気ガス測定時に脈拍が不安定であった。被験者10名の身体特性をTable 1に示す。

B. 実験プロトコール

実験は平成13年8月から9月にかけて18日間、被験者を独立行政法人国立健康・栄養研究所被験者実験室施設に宿泊させ実施した。実験期間中は食事および生活区域を規定した。早朝空腹仰臥位安静時代謝量の測定は実験期間中に4回、採血は5回、栄養式キャリパーによる皮下脂肪厚の測定は5回実施した。また、基礎体温、身体計測、早朝第2尿の採取を毎日実施した。実験期間中のプロトコールをFigure 1に示す。

C. 早朝空腹仰臥位安静時代謝の測定

実験期間中、夕食は午後7時に終了し、午後10時に消灯した。測定日には、午前6時に基礎体温測定後起床させ、排尿後に身長・体重を測定し、完全に覚醒させた。その後、室温 $24 \sim 26^\circ\text{C}$ の測定室内で呼気ガス測定用のマスクをつけ、30分以上

仰臥させ、脈拍が安定していることを確認した上で、仰臥位のまま呼気をダグラスバックに採取した。測定時間は10分間を2回実施し、1回の採気期間中に2回心拍を触診にて測定した。

呼気分析には乾式ガスメータ(DK-5C-T 品川製作所製)と質量分析計(ARCO SYSTEM ARCO-1000)を用いた。2回の分析結果の平均、または、呼吸商(RQ)などが条件を満たさない場合には一方の値を測定値とした(40データ中の6データ)。

早朝空腹仰臥位安静時代謝量について、体表面積、除脂肪体重(以下 LBM)、体重、尿中クレアチニン排泄量の実験期間中の平均値を用いて標準化した場合と、代謝量を測定した当日の体表面積、LBM、体重、尿中クレアチニン排泄量値を用いて標準化した場合の2通りで検討した。

D. 規定食

実験期間中の食事は、規定食とし、被験者に均一になるように作成し、全量摂取させた。体格を考慮せず、エネルギー量及び栄養素量を等しく摂取させる実験条件で、体重の変化を確認した。献立は一期4日のサイクルメニューとし、五訂日本食品標準成分表²³⁾を用いて計算した栄養素などの供給量(計算値)は、1日あたりエネルギー、1600 kcal、タンパク質、59 g、炭水化物、250 g、

Figure 1. Experimental Design.

Table 2. Daily intake of energy and nutrients (n=4).

	Mean	SD		Mean	SD
Energy (kcal)	1633 ±	203	Retinol equivalents (μg)	1100 ±	420
Protein (g)	59.0 ±	10.1	Vitamin E (mg)	8.6 ±	2.9
Lipid (g)	41.1 ±	7.4	Vitamin K (μg)	150 ±	38
Carbohydrate (g)	253 ±	41	Thiamin (mg)	0.53 ±	0.09
Sodium (mg)	3600 ±	910	Riboflavin (mg)	1.01 ±	0.19
Potassium (mg)	2100 ±	400	Niacin (mg)	9.6 ±	3.5
Calcium (mg)	710 ±	270	Vitamin B6 (mg)	0.77 ±	0.26
Magnesium (mg)	210 ±	30	Vitamin B12 (μg)	11.2 ±	10.2
Phosphorus (mg)	980 ±	210	Folate (μg)	230 ±	40
Iron (mg)	10.5 ±	5.8	Pantothenic acid (mg)	4.3 ±	0.9
Zinc (mg)	6.8 ±	1.5	Ascorbic acid (mg)	65 ±	25
Copper (mg)	1.0 ±	0.2	Cholesterol (mg)	210 ±	160

Mean ± SD of diet menus (n=4)

脂質, 40 g であった。栄養素等供給量(摂取量)の詳細について, Table 2 に示す。

E. 身体計測

実験期間中は毎日, 午前 6 時に起床させ, 排尿後に身長・体重(感量 10 g)を測定し, body mass index (BMI, kg/m²)を算出した。また, 実験開始前日, 4, 8, 12, 16 日目の就寝前に, 栄研式キャリパーにより肩甲骨下部と上腕背側部の皮下脂肪厚を測定し, Nagamine と Suzuki の式²⁴⁾に代入し, 身体密度を算出し, Brozek et al の方法²⁵⁾で体脂肪率を求め, 除脂肪体重を算出した。

F. 血液および尿

採血は早朝空腹時に実験期間中 5 回実施した。血液生化学検査の測定は検査機関に依頼し, 甲状腺ホルモンの測定と一般的な健康管理を実施した。測定項目は血色素量, アルブミン, 総コレステロール等とした。なお, 起床(午前 6 時)から朝食前(午前 8 時 30 分)までに貯留した尿(早朝第 2 尿)を, 時刻を記録して採尿し, 尿量およびクレアチニン(アルカリピクリンサン法)を測定し, 時間あたりの尿中クレアチニン排泄量を毎日測定し

た。

H. 統計処理

すべてのデータは平均値と標準偏差で表した。各測定項目における個体内再現性は, 測定項目の個人の変動係数を求め, その平均値と標準偏差として求めた。また, 各測定項目における個体間再現性は, 個人の実験期間中平均値を求め, 集団としての平均値と標準偏差から変動係数を算出した。経時変化については, 反復測定による一元配置の分散分析後, 有意であれば Dunnett の t 検定により初回との有意差を検討した。月経周期による基礎体温の変動は, 対応のある t 検定で黄体期と月経期の差を検討した。危険率 5 % 以下をもって有意とした。

III. 結 果

実験期間中の身体特性, 早朝空腹仰臥位安静時代謝, 血液および尿性状の変動を Table 1 に示した。初回と最終回との間に有意差が認められた項目は, 体重(p<0.01), 血清総コレステロール(p<0.05), 血色素量(p<0.05)とともに, 早朝空腹仰臥位安静時代謝であった(p<0.01)。個体内

変動が最も小さかった生体指標は身長で、逆に最も大きかったものはトリヨードサイロニンであった。個体間変動が最も小さかった生体指標は基礎体温で、逆に最も大きかったものは皮下脂肪厚であった。

早朝空腹仰臥位安静時代謝量を、体表面積、LBM、体重、尿中クレアチニン排泄量の実験期間中の平均値を用いて標準化した場合と、代謝量を測定した当日の体表面積、LBM、体重、尿中クレアチニン排泄量を用いて標準化した場合の、測定値とその変動係数を Table 3 に示した。いずれの指標も平均値を用いた方が個体間変動係数は小さかった。平均値標準化の個体内変動係数は、ばらつきを平均値と標準偏差の比率で求めるため、いずれの指標も一律に標準化する前の早朝空腹仰臥位安静時代謝量の値と等しくなる。体表面積、体重で標準化すると、個体内変動係数は、標準化する前の早朝空腹仰臥位安静時代謝量の値より小さく、測定当日標準化が平均値標準化よりも小さかった。また、平均値標準化および測定当日標準化いずれにおいても、体表面積あたりの早朝仰臥位安静時代謝量の個体間変動係数がもっとも小さかった。尿中クレアチニン排泄量あたりの基準値は、測定日を用いた場合と平均値を用いた場合の変動係数の差がもっとも大きく、その変動は標準化しない早朝空腹仰臥位安静時代謝量の個体間変動係数よりも大きかった。

一方、月経周期による早朝空腹仰臥位安静時代謝の影響を調べるために、基礎体温測定で月経周期を特定できた5名の被験者で検討した。正常月経と自己申告した対象者は10名のうち3名のみであった。月経開始前10日間を黄体期、月経開始1, 2日目を月経期とし、月経周期別にみた早朝空腹仰臥位安静時代謝は、絶対値でそれぞれ $0.144 \pm 0.001/\text{min}$, $0.145 \pm 0.001/\text{min}$, 体重あたりの代謝量で $2.91 \pm 0.07 \text{ ml/min/kg body weight}$, $2.88 \pm 0.05 \text{ ml/min/kg body weight}$ であり、本研究の対象者において有意な差は認められなかった。なお、それぞれの周期における基礎体温は、 $36.60 \pm 0.09^\circ\text{C}$, $36.48 \pm 0.11^\circ\text{C}$ であった。

初回の体重と実験期間中の体重変化量を、Figure 2 に示した。初回の体重と実験期間中の体重変化量には有意な高い相関関係がみられた ($r = -0.719$ $p < 0.01$)。

最終回の、体重あたりの早朝空腹仰臥位安静時代謝と体重との関係を、Figure 3 に示した。体重あたりの早朝空腹仰臥位安静時代謝は、最終回にのみ体重との有意な相関関係がみられた ($r = -0.671$ $p < 0.01$)。初回の体重あたりの早朝空腹仰臥位安静時代謝と体重に相関関係はみられなかった。また、代謝測定値の変化と体重の変化に相関関係はみられなかった。

Table 3. Initial, final and average of the standardized values by 4 items of the post-absorptive resting oxygen uptake, and their intra- and interindividual CV (%) (N=10).

	Initial	Final		Average	Intraindividual CVs(%) ^{#1}	Interindividual CVs(%) ^{#2}
Using individual average throughout the experiment of the items						
O ₂ uptake / body weight(ml/min/kg body weight)	2.95 ± 0.15	2.81 ± 0.22	**	2.89 ± 0.15	3.54 ± 1.87	5.30
body surface area(ml/min/m ²)	6.06 ± 0.34	5.77 ± 0.40	**	5.94 ± 0.29	3.54 ± 1.87	4.92
LBM(ml/min/kgLBM)	3.74 ± 0.24	3.56 ± 0.30	**	3.67 ± 0.24	3.54 ± 1.87	6.53
Urine creatinine(ml/mg Creat)	0.23 ± 0.02	0.22 ± 0.02	**	0.22 ± 0.02	3.54 ± 1.87	8.63
Using the items of the day at the resting metabolism measurements						
O ₂ uptake / body weight(ml/min/kg body weight)	2.95 ± 0.14	2.81 ± 0.21	*	2.89 ± 0.15	3.41 ± 1.61	5.33
body surface area(ml/min/m ²)	6.06 ± 0.33	5.77 ± 0.39	**	5.94 ± 0.29	3.47 ± 1.73	4.95
LBM(ml/min/kgLBM)	3.74 ± 0.26	3.57 ± 0.30	*	3.67 ± 0.24	3.73 ± 1.85	6.53
Urine creatinine(ml/mg Creat)	0.21 ± 0.02	0.21 ± 0.03		0.21 ± 0.02	7.76 ± 4.52	9.15

The post-absorptive resting metabolic rate was measured 4 items during the experimental period.

Mean $\pm$ SD

^{#1} : mean $\pm$ SD of individual CV (%)

^{#2} : CV of individual average (n=10)

* : $p < 0.05$ ** : $p < 0.05$ compared with initial data

Figure 2. Relationship between initial weight and changes in weight.

Figure 3. Relationship between final weight and final $\dot{V}O_2$.

IV. 考 察

A. 性周期による早朝空腹仰臥位安静時代謝の影響

女性のエネルギー代謝は、性周期により変化する可能性があるため、月経状況および月経周期を考慮する必要がある。本研究では、実験期間が18日間と長期にわたり、対象者10名のうち6名に、実験期間中の月経開始がみられた。黄体期では卵胞期や月経期と比較して基礎代謝が亢進するとした報告は数多く、両期の差は5～10%と報告されている¹¹⁻¹⁴⁾。理論的には、1℃の体温上昇で13%の代謝亢進が考えられると示される²⁶⁾。しかし、差がなかったとすると報告もあり^{15,16,17)}、Weststrate¹⁷⁾は測定条件や対象者数を整理して検討する必要があると考察している。本研究において両期に差が生じなかった理由として、基礎体温の差0.2℃は、理論的に3%前後の代謝亢進であり、誤差範囲に含まれてしまう可能性が考えられる。また、正常月経と自己申告した対象者が3名のみであったことも推測される。以上の結果から、本研究では、月経周期による早朝空腹仰臥位安静時代謝の影響については確認できなかった。

B. 早朝空腹仰臥位安静時代謝の個体内変動、個体間変動

早朝空腹仰臥位安静時代謝の個体内変動、個体間変動について、年間変動、測定条件の検討として数多く報告されているが、本研究のように、食事を規定した条件で、複数の対象者について同時に複数回の早朝空腹仰臥位安静時代謝を測定した報告はみられない。本研究において、ほぼ同一条件下で4回測定された早朝空腹仰臥位安静時代謝量において、個体内変動は $3.54 \pm 1.87\%$ 、個体間変動は7.29%であった (Table 1)。この値を同時に測定した他の指標と比較すると、基礎体温の個体内変動は $0.52 \pm 0.1\%$ 、個体間変動は0.38%であり、また低い活動強度では定常性が認められないとする²⁷⁾脈拍数の個体内変動は $7.0 \pm 3.7\%$ 、個体間変動が10.7%であったことから、個体内および個体間再現性は自律神経支配などによる恒常性を反映していると考えられる。早朝空腹仰臥位安静時代謝は基礎体温、カルシウムなどの血液成分値ほどの定常性は示さず、脈拍数の変動より安定していることが明らかになった。

佐々木¹⁹⁾は生活条件、測定条件が同じであれば個体内逐日変動は $\pm 5\%$ 以下であるとしている。また柏崎²⁾は、変動係数として示された個体内変動はおおむね3%未満の範囲におさまるとし、個体間変動は、変動要因を制御しても10%よ

りやや小さいとみるのが妥当であろうと著している。本研究で測定された個体内変動は、佐々木の値よりは小さいが、柏崎の値よりは大きかった。これらの結果は、基礎代謝量に対するトレーニング効果の判定や、エネルギー摂取基準値を算定するにあたって、評価の目安になると考えられる。

C. 標準化の指標

エネルギー摂取基準策定のためには、個体間および個体内の変動幅が小さい基準値が望まれる²⁾。計算上は、標準化する指標自体の変動が小さいもの、および早朝空腹仰臥位安静時代謝量の変動と連動しているものが適切である。尿中クレアチニン排泄量は個体内変動および個体間変動が大きく、その結果、尿中クレアチニン排泄量で標準化した早朝空腹仰臥位安静時代謝量の変動係数は標準化していない値よりも大きく、指標として不適切と考えた。

その他の指標は、標準化することで個体間変動は標準化していない値よりも小さくなった。体表面積、体重で標準化すると、個体内変動係数は、測定当日標準化が平均値標準化よりも小さかった。このことから、体重、体表面積の変動は、早朝空腹仰臥位安静時代謝量の変動と連動していることが推察される。本研究では、特に、体表面積あたりの早朝空腹仰臥位安静時代謝量の個体間変動係数が実験期間中平均値および安静時代謝測定日のいずれの値を用いても最も小さかった。

基礎代謝を標準化するのに、体重、体表面積いずれの指標が妥当であるかの検討は、体重あたりの基礎代謝基準値を新たに策定した昭和50年改定日本人の栄養所要量²⁸⁾に詳細な記述がある。鈴木²⁸⁾は男477人女207人のデータから、体重を指標とすると体格による偏りが生じるものの、補正を加えることで従来使われてきた体表面積あたりの基準値と同様の、実測値との相関および変動を得られるとしている。本研究においても、鈴木²⁸⁾の報告と等しく、体表面積あたりの早朝空腹仰臥位安静時代謝量の個体間変動係数がもっとも小さかった。

一方、体表面積と産熱量との間よりも、体構成

と産熱量の間に密接な関係があることは、基礎代謝測定初期の頃から指摘されている²⁹⁾。

本実験では、従来用いられた、簡易に体組成を推定できるとされた栄研式皮下脂厚計を用いてLBMを算出した。このLBMを指標とした早朝仰臥位安静時代謝量の個体間変動係数は、体重を指標とした変動よりも大きかった。また、本研究では、体重の個体内変動係数($0.58 \pm 0.21\%$)よりも、LBMの個体内変動係数($1.17 \pm 0.60\%$)が大きかった。体重の変動よりLBMの変動の方が小さいことは生理的に容易に推察できることであり、本研究でLBMを算出した脂厚の測定誤差が大きいために影響を及ぼしていると考えられる。近年開発された精度が向上したLBMの測定装置による測定値では、LBMを用いた標準化による基準値が有効である可能性がある^{30,31)}が、身体密度から体脂肪量、LBMを算出する精度には限界がある。

D. 早朝空腹仰臥位安静時代謝量の変動要因

本実験では、性周期の調整を除き、基礎代謝の測定条件を満たす、早朝空腹仰臥位安静時代謝を複数回測定し、測定値の安定性について検討したが、初回と最終回の測定値との間に有意差が示された。また、同時に測定した項目では、脂厚より推定した体脂肪率の低下はみられなかったものの、初回と最終回の測定結果を比較すると、体重、血清総コレステロール、血色素量の値が有意に低値になった。

体重の変化に伴う安静時代謝の変化について、体組成との関係を指摘する報告が多い。20~30歳代女性を対象とした先行研究では、20~24週間の摂取エネルギー量制限で13.7%の体重減少と2.5 kgのLBM減少に対し9.9%の安静時代謝の低下¹⁵⁾、あるいは24週間のトレーニングで3.8%の体重増加と1.9 kgのLBM増加に対し2.6%の安静時代謝の増加³²⁾が報告されている。本実験では、0.5 kg(1%)の体重減少と約4.6%の代謝減少であり、それがすべて筋量の減少によるものとしても、代謝測定量の変化は体重変化に比較するとはるかに多い。本実験での代謝測定値の変化と体重

変化とは相関しないこと, また先行研究と照らし合わせても, 本実験における代謝測定値の変化を除脂肪体重の低下で説明することはできない。

本実験において, 体重減少は, 実験初回の体重が重いものほど顕著である (Figure 2)。実験期間中は体格によらず同量の食事を摂取していることから, 体重減少の原因として, 消費エネルギー量に対して摂取エネルギー量が少なかったこと, 特に実験期間中の摂取エネルギーが実験前より少なかった可能性が考えられる。

体重あたりの早朝空腹仰臥位安静時代謝は, 実験初回で体重との相関関係はみられなかったが, 最終回では, 体重の重い者ほど体重あたりの早朝空腹仰臥位安静時代謝が低くなる傾向がみられた (Figure 3)。

すなわち, 実験期間中に摂取エネルギーが不足しているものほど, 体重が減少し, 早朝空腹仰臥位安静時代謝が低下した可能性が推察される。

ヒトの, 過剰摂取による安静時代謝の上昇について, または摂取エネルギー制限による安静時代謝の低下について, 一定の見解は得られていない^{33,34)}。しかし, 測定前日の摂取エネルギー量が基礎代謝に影響すると報告されている³⁴⁾ことから, 測定条件に定量化されていないが, エネルギー摂取状況は基礎代謝の変動要因の一つと考えられる。摂取エネルギー量の変化や三大栄養素の摂取比率の変化に伴ってエネルギー代謝が変化するメカニズムは, 甲状腺ホルモンやカテコールアミンの代謝を検討する必要がある^{9,35)}。微量栄養素の摂取量が, どの程度生体内の代謝を調節するのか, 定量的には十分に明らかにされていない。本研究ではこのような指標をすべては測定していないので結論は出せないが, 体重や血液指標の低下が同時に起きていることを考え合わせると, 食事を規定した長期研究では, 実験期間前に比較して摂取エネルギーが低下した等の理由により, 安静時代謝が低下した可能性が考えられる^{36,37)}。

ベットレストなど特殊な条件下の実験は, 心理的影響が大きいと指摘されている⁸⁾。本実験の条件下においても, 初回の測定では実験に対する緊張感のため測定値が高値であり, 最終回との測定

値の間に有意差が生じた可能性も推測される。

本研究における早朝空腹仰臥位安静時代謝の低下要因を特定することは困難である。今後, 基礎代謝測定条件の一つとして摂取エネルギーを変動させるなどして検討する必要がある課題である。

E. 基礎代謝基準値との比較

本研究で測定された早朝空腹仰臥位安静時代謝は, 第6次改定日本人の栄養所要量¹⁾に提示されている基準値や近年報告されている測定値と比較して低値である。第6次改定日本人の栄養所要量では, 18~29歳女性の基礎代謝量は1,210 kcal, 基礎代謝基準値は23.6 kcal/kg/日であるが, 本研究の測定値をWeirの方法に基づきエネルギー消費量に換算すると $1,033 \pm 79$ kcal, 体重あたりで 20.7 ± 2.0 kcal/kg/日であり, 指標より約10%低く算出された。山本と小松³⁸⁾は, 1951年~1966年までの基礎代謝値と報告されたものの大部分が空腹時の安静時代謝であったとすると, 過去の基礎代謝量は実際よりも10%高く見積もられていた可能性を指摘している。本研究は, 山本と小松の指摘を支持しているが, 近年報告されている基礎代謝値は, 指標より低値である報告^{39,40)}があるものの, その誤差は2~5%程度であり, 本研究ほどの低値ではない。測定器具や測定条件の違いが安静時代謝の測定に影響する可能性が推測されるが, 今後エネルギー摂取基準値を策定するためには, 早朝空腹仰臥位安静時代謝(基礎代謝), 安静時代謝, 活動時代謝などを, 策定対象者の実測を基本に, 精度の高い方法で測定し, データを蓄積して検討する必要がある。

V. 結 語

エネルギー摂取基準値を算定するための基礎代謝量を測定する場合には, 測定条件を厳密に設定した精度管理を実施した上で, 集団の平均値および変動幅を明らかにするとともに, 個体間の変動を標準化する指標を検討する必要がある²⁾。本研究の目的は, 早朝空腹仰臥位安静時代謝について, 一定の食事条件下に, 基礎代謝測定条件に従って, 個体内および個体間の変動を明らかにすること,

および標準化の指標を検討することであった。平均年齢 20.1 ± 0.7 歳の、運動習慣のない女子大学生10名について、18日間の実験期間中に4回測定した早朝空腹仰臥位安静時代謝量の実測値は、個体内変動は $3.5 \pm 1.8\%$ 、個体間変動は 7.2% となり、本実験条件下での、高い個体内再現性と個体間再現性が確認された。体表面積、除脂肪体重、体重、尿中クレアチニン排泄量で早朝空腹仰臥位安静時代謝量を標準化すると、体表面積で標準化とした基準値が、もっとも個体間変動係数が小さかった。これらの結果は、基礎代謝量に対するトレーニング効果の判定や、エネルギー摂取基準値を算定するにあたって、評価の目安になると考えられる。

一方、初回と最終回の測定結果はそれぞれ、体重、血色素量、総コレステロール、酸素摂取量について、有意な減少が認められた。第6次改定日本人の栄養所要量では、18~29歳女性の基礎代謝量は1,210 kcal、基礎代謝基準値は23.6 kcal/kg/日となっているが、Weirの方法に基づき換算した本研究の結果(全測定の平均値)は、 $1,033 \pm 79$ kcal、または 20.7 ± 2.0 kcal/kg/日となり、基礎代謝基準値より約10%低い値であった。早朝空腹仰臥位安静時代謝量が先行研究と比較して低値を示したことから、実験期間中に低下したことの理由については今後の検討課題である。

(受理日 平成15年8月29日)

参 考 文 献

- 健康・栄養情報研究会, 第六次改定日本人の栄養所要量—食事摂取基準—, 初版, エネルギー所要量, 第一出版, 東京, (1999), 27.
- 小林修平編著, 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, 初版, エネルギー所要量の歴史と現状, 建帛社, 東京, (1997), 61-126.
- Greenleaf, J. E. Energy and thermal regulation during bed rest and spaceflight. *J. Appl. Physiol.*, (1989), **67**, 507-516.
- Kashiwazaki, H., Watanabe, S., and Suzuki, T. Does BMR represent BMR?, Overestimation in the BMR standards. *Nutr. Res.*, (1986), **6**, 1013-1021.
- Kashiwazaki, H., Dejima, Y., and Suzuki, T. Influence of upper and lower thermoneutral room temperatures (20 and 25) on fasting and post-prandial resting metabolism under different outdoor temperatures. *Eur. J. Clin. Nutr.*, (1990), **44**, 405-413.
- 山村千晶, 柏崎 浩, 早朝空腹時安静時代謝の変動要因, 公表された個人別測定値の再検討より, 栄養学雑誌, (2002), **60**, 75-83.
Yamamura, C., and Kashiwazaki, H. Factors affecting the post-absorptive resting metabolic rate of Japanese subjects: Reanalysis based on published data. *Jpn. J. Nutr.*, (2002), **60**, 75-83 (in Japanese).
- Stremel, R. W., Convertino, V. A., Bernaure, E. M., and Greenleaf, J. E. Cardiorespiratory deconditioning with static and dynamic leg exercise during bed rest. *J. Appl. Physiol.*, (1986), **41**, 905-909.
- Haruna, Y., Suzuki, K., Kawakubo, K., Yanagibori, R., and Gungi, A. Incremental reset in basal metabolism during 20-days bed rest. *Acta. Physiol. Scand.*, (1994), **150**, suppl 616, 43-49.
- Poehlman, H. A review, Exercise and its influence on resting energy metabolism in man. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, (1989), **21**, 515-525.
- 松枝秀二, 小野章史, 松本義信, 平川文江, 平田圭, 守田哲朗, 長尾憲樹, 長尾光城, 8週間の低強度有酸素運動が運動習慣のない若年女性の体組成と基礎代謝に与える影響, 栄養学雑誌, (2001), **59**, 233-239.
Matsueda, S., Ono, A., Matsumoto, Y., Hirakawa, F., Hirata, K., Morita, T., Nagao, N., and Nagao, M. Effects of 8-weeks low-intensity aerobic training on the body composition and basal metabolism in untrained young females. *Jpn. J. Nutr.* (2001), **59**, 233-239 (in Japanese).
- Ferraro, R., Lillioja, S., Fontvieille, A. M., Rising, R., Bogardus, C., and Ravussin, E. Lower sedentary metabolic rate in women compared with men. *J. Clin. Invest.*, (1992), **90**, 780-784.
- Solomon, J. S., Kurzer, M. S., and Calloway, D. H. Menstrual cycle and basal metabolic rate in women. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1982), **36**, 611-616.
- Webb, P. 24-hour energy expenditure and the menstrual cycle. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1986), **44**, 614-619.
- Meijer, G., Westerterp, K. R., Saris, W., and Hoor, F. Sleeping metabolic rate in relation to body composition and menstrual cycle. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1992), **55**, 637-640.
- Foster, G. D., Wadden, T. A., Swain, R. M., Anderson, D. A., and Vogt, R. A. Change in resting energy expenditure after weight loss in obese African American and white women. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1999), **69**, 13-17.
- Kimm, S. Y. S., Glynn, N. W., Aston, C. E., Poehlman, T. E., and Daniels, S. R. Effect of race, cigarette smoking, and use of contraceptive medication on resting energy expenditure in young women. *Am. J. Epidemiol.*, (2001), **154**, 718-724.
- Weststrate, J. A. Resting metabolic rate and diet-induced thermogenesis, a methodological reap-

- praisal. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1993), **92**, 585-601.
- 18) Leonard, W. R., Sorensen, M. V., Galloway, V. A., Spencer, G. G., Mosher, M. J., Osipova, L., and Spitsyn, V. A. Climatic influences on basal metabolic rate among circumpolar populations. *Am. J. Hum. Biol.*, (2002), **14**, 609-620.
- 19) 佐々木 隆, 日本人の基礎代謝の推移, 代謝, (1979), **16**, 3-12.
- 20) 中林勝秀, 日本人女子(20才台)の基礎代謝の季節変動, 長崎総合公衆衛生学雑誌, (1963), **12**, 13-24.
- 21) 藤本薫喜, 白井伊三郎, 石崎有信, 西尾雅七, 鈴木幸夫, 日本人発育期の基礎代謝の研究, 文部省総合研究報告集録(医学および薬学編), (1956), 107-114.
- 22) 沖洲吉博, 発育期日本人基礎代謝の研究 中学女子篇, 長崎県総合公衆衛生学雑誌, (1961), **5**, 169-195.
- 23) 科学技術庁資源調査会, 五訂日本食品標準成分表, 大蔵省印刷局, 東京, (2001).
- 24) Nagamine, S., and Suzuki, S. Anthropometry body composition of Japanese young men and women. *Hum. Biol.*, (1964), **36**, 8-15.
- 25) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., and Keys, A. Densitometric analysis of body composition, revision of some quantitative assumption. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, (1963), **110**, 113-140.
- 26) Brooks, G. A., Fahey, D. F., White, T. P., and Baldwin, K. M. Exercise physiology Human bioenergetics and its applications 3 ed. Mayfield publishing company London, (2000), 208.
- 27) 加賀谷淳子, 心拍数に基づいた消費カロリーの算出法とその問題点, 体育の科学, (1986), **27**, 881-889.
- 28) 健康・栄養情報研究会, 第2次改定日本人の栄養所要量, 第一出版, 東京, (1975), 34-38.
- 29) Benedict, F. G. Factor affecting basal metabolism. *J. Bio. Chemistry.*, (1915), **20**, 263-299.
- 30) Smith, D. A., Withers, R. T., Brinkman, M., Tucker, R. C., Chatterton, B. E., Schultz, C. G., and Clark, D. G. Resting metabolic rate, body composition and aerobic fitness comparisons between active and sedentary 54-71 year old males. *Eur. J. Clin. Nutr.*, (1999), **53**, 434-440.
- 31) Young, V. R. Energy requirements in the elderly. *Nutr. Reviews.*, (1992), **50**, 95-101.
- 32) Lemmer, J. T., Ivy, F. M., Ryan, A. S., Martel, G. F., Hurlbut, D. E., Metter, J. E., Fozard, J. L., Fleg, J. L., and Hurley, B. Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity, age and gender comparisons. *Med Sci. Sports Exerc.*, (2001), **33**, 532-541.
- 33) Sims, E. A. H., and Danforth, E. Expenditure and storage of energy in man. *J. Clin. Invest.*, (1987), **79**, 1019-1025.
- 34) Dauncey, M. J. Metabolic effects of altering the 24 h energy intake in man, using direct and indirect calorimetry. *Br. J. Nutr.*, (1980), **43**, 257-269.
- 35) Rosenbaum, M., Hirsch, J., Murphy, E., and Leibel, R. L. Effects of changes in body weight on carbohydrate metabolism, catecholamine excretion and thyroid function. *Am. J. Clin. Nutr.*, (2000), **71**, 1421-1432.
- 36) Weinsier, R. L., Nagy, T. R., Hunter, G. R., Darnell, B. E., Hensrud, D. D., and Weiss, H. L. Do adaptive changes in metabolic rate favor weight regain in weight-reduced individual? An examination of the set-point theory. *Am. J. Clin. Nutr.*, (2000), **72**, 1088-1094.
- 37) Kajioka, T., Tsuzuka, S., Shimokata, H., and Sato, Y. Effect of intentional weight cycling on non-obese young women. *Metabolism*, (2002), **51**, 149-154.
- 38) 山本 茂, 小松龍史, 日本人の基礎代謝資料の評価, 栄養学雑誌, (2001), **59**, 51-59.
Yamamoto, S., and Komatsu, T. Evaluation of data on basal metabolic rate for Japanese. *Jpn. J. Nutr.*, (2001), **59**, 51-59 (in Japanese).
- 39) 松枝秀二, 松本義信, 平川文江, 小野章史, 守田哲朗, 佐々木敏文, 長尾光城, 長尾憲樹, 健康スポーツ教室に参加した中高年者の基礎代謝量, 栄養学雑誌, (2000), **58**, 131-135.
Matsueda, S., Matsumoto, Y., Hirakawa, F., Ono, A., Morita, T., Sasaki, T., Nagao, M., and Nagao, N. Metabolic rate of elderly subjects at a health sports class. *Jpn. J. Nutr.*, (2000), **58**, 131-135 (in Japanese).
- 40) 柏崎 浩, 田中茂穂, 樋口 満, 岡 純, 高田和子, 二見 順, 栄養所要量策定のための基礎代謝基準値作成に関する研究, 厚生科学研究費補助金健康科学総合研究事業 平成12年度～平成14年度総合研究報告書, (2003), 92-104.