

Table 3 Correlation coefficients of observed basal metabolic rate(kcal/24h) with the variables examined

Variables	Age groups					
	3 to 9 years <sup>#</sup>		10 to 17 years <sup>#</sup>		18-years <sup>#</sup>	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Age	.25*	.32*	-.19*	-.02	-.62*	-.56*
Height	.35*	.43*	.19*	.25*	.61*	.47*
Weight	.47*	.49*	.30*	.42*	.72*	.70*
BMI	.24*	.04	.26*	.31*	.42*	.54*
Temperature-outdoor	-.15	-.07	-.55*	-.36*	-.23*	-.35*
Temperature-indoor	.01	-.09	-.38*	-.27*	-.11*	-.20*
Humidity	-.12	-.01	-.45*	-.24*	-.23*	-.20*

BMR: basal metabolic rate, BMI: body mass index, \*: p<0.01.

#: See Table 2.

Table 4 Major variables selected by multiple regression on basal metabolic rate and cumulative percentage of variance explained (R<sup>2</sup>)

Variables	All Subjects		Male subjects			Female subjects		
	% explained	Added %	Variables	% explained	Added %	Variables	% explained	Added %
Weight	47.7		Weight	47.8		Weight	40.9	
Age	61.2	13.5	Age	67.9	20.1	Age	59.6	18.7
Sex	71.4	10.2	T-outdoor	73.4	5.5	T-indoor <sup>2</sup>	64.5	4.9
T-outdoor	75.2	3.8	Height	75.1	1.7	Age <sup>2</sup>	67.0	2.5
Height	76.7	1.5	T-outdoor <sup>2</sup>	75.4	0.3	BMI	69.0	2.0
Age <sup>2</sup>	77.5	0.8	Age <sup>2</sup>	75.5	0.1	Age <sup>2</sup>	70.0	1.0
T-outdoor <sup>2</sup>	77.7	0.2	Humidity	75.6	0.1	T-outdoor	70.3	0.3
BMI	77.8	0.1						
T-indoor <sup>2</sup>	77.9	0.1						

Dependent variable: basal metabolic rate (kcal/24h). Independent variables: age (years), sex (dummy variable: male=1, female=0), height (cm), weight (kg), BMI (body mass index) (kg/m<sup>2</sup>), T-outdoor (temperature-outdoor) (°C), T-indoor (temperature-indoor) (°C), humidity (%).

Table 5 Summary of the statistical analyses on the differences between the predicted and the observed values

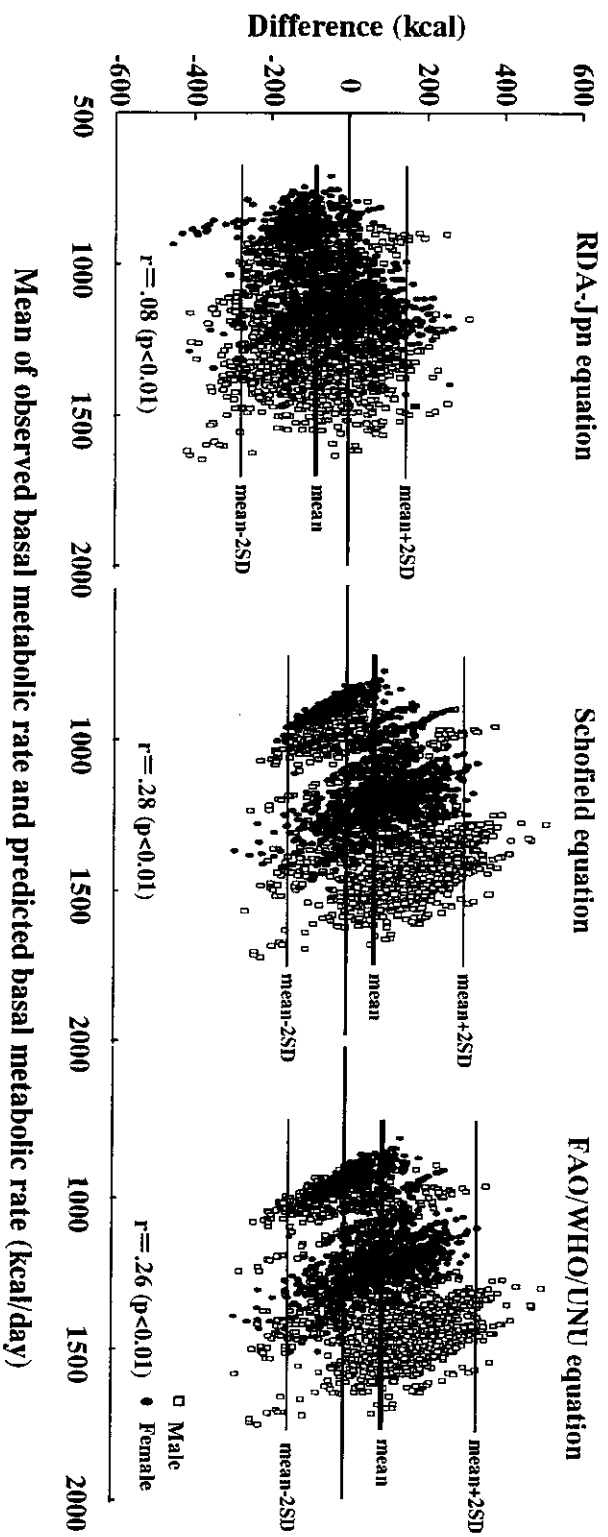
Predicted BMR and observed BMR	Mean±SD (kcal/day)	Mean difference±SD* (kcal)	Paired t test P value	TE		SEE	
				(kcal)	R <sup>2</sup>	P value	(kcal)
<b>All subjects</b>							
RDA-Jpn equation	1125.4±196.1	-68.2±110.6	0.000	129.7	0.697	0.000	103.4
Schofield equation	1277.1±219.4	83.5±118.4	0.000	144.6	0.709	0.000	101.3
FAO/WHO/UNU equation	1282.8±216.8	89.3±119.1	0.000	148.5	0.699	0.000	103.0
Observed BMR	1193.6±187.7	-	-	-	-	-	-
<b>Male subjects</b>							
RDA-Jpn equation	1193.9±190.2	-84.2±113.9	0.000	141.5	0.665	0.000	106.7
Schofield equation	1380.9±222.8	102.8±131.8	0.000	167.0	0.650	0.000	109.0
FAO/WHO/UNU equation	1381.2±231.7	103.1±138.7	0.000	172.7	0.641	0.000	110.4
Observed BMR	1278.1±184.3	-	-	-	-	-	-
<b>Female subjects</b>							
RDA-Jpn equation	1055.1±176.3	-51.9±104.7	0.000	116.5	0.648	0.000	87.5
Schofield equation	1170.8±156.0	63.8±99.0	0.000	117.4	0.621	0.000	90.7
FAO/WHO/UNU equation	1182.1±142.0	75.1±92.7	0.000	118.9	0.632	0.000	89.4
Observed BMR	1107.0±147.4	-	-	-	-	-	-

BMR: basal metabolic rate, RDA-Jpn: Japanese Recommended Dietary Allowance, TE: total error, SEE: standard errors of estimate, \*: predicted value-observed value.

Table 6 The differences between the predicted and the observed values in the lean and normal-weight subjects (18-year)

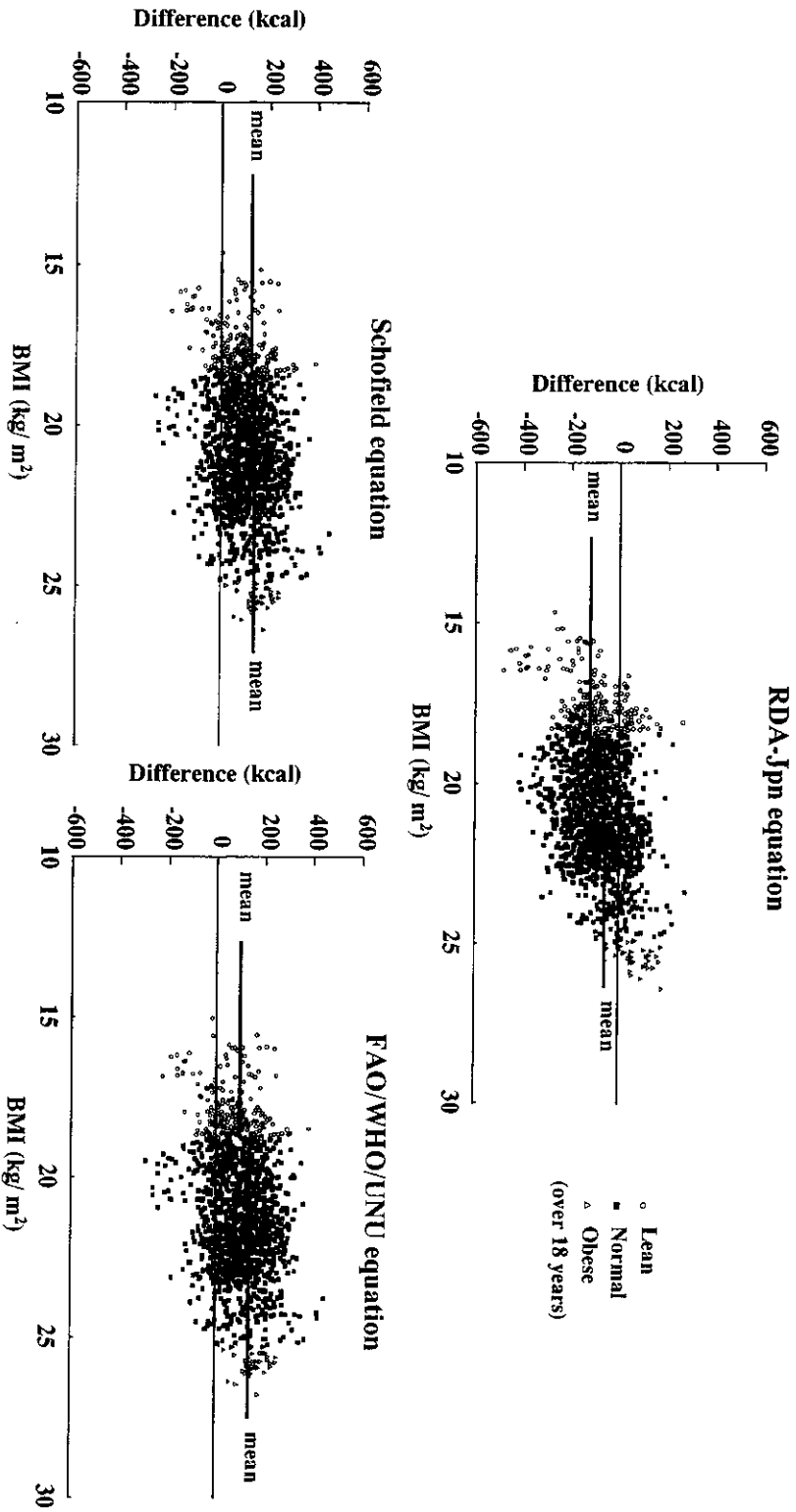
Predicted BMR and observed BMR	Mean±SD (kcal/day)	Mean difference±SD* (kcal)	Paired t test P value	TE		SEE	
				(kcal)	R <sup>2</sup>	P value	(kcal)
<b>Lean</b>							
RDA-Jpn equation	976.8±171.7	-116.4±109.2	0.000	159.4	0.611	0.000	97.8
Schofield equation	1198.7±192.4	105.4±99.8	0.000	145.0	0.732	0.000	81.2
FAO/WHO/UNU equation	1196.1±199.5	102.8±102.9	0.000	145.3	0.738	0.000	80.2
Observed BMR	1093.3±156.7	-	-	-	-	-	-
<b>Normal</b>							
RDA-Jpn equation	1183.8±166.4	-60.5±106.4	0.000	122.3	0.667	0.000	104.9
Schofield equation	1380.4±185.1	136.1±102.8	0.000	170.4	0.711	0.000	97.7
FAO/WHO/UNU equation	1387.4±189.7	143.0±104.8	0.000	177.1	0.708	0.000	98.2
Observed BMR	1244.4±181.7	-	-	-	-	-	-

BMR: basal metabolic rate, RDA-Jpn: Japanese Recommended Dietary Allowance, TE: total error, SEE: standard errors of estimate, \*: predicted value-observed value.



Difference: predicted basal metabolic rate – observed basal metabolic rate, RDA-Jpn: Japanese Recommended Dietary Allowance.

Figure 1 Agreements of predicted basal metabolic rate with observed basal metabolic rate



Difference: predicted basal metabolic rate – observed basal metabolic rate, BMI: body mass index, RDA-Jpn: Japanese Recommended Dietary Allowance.  
 Figure 2 Differences between predicted basal metabolic rate and observed basal metabolic rate

## 成人男女の基礎代謝量について

分担研究者 高田 和子（旧姓：石川）

独立行政法人 国立健康・栄養研究所 主任研究員

10~70歳代の健康な男女115名についてダグラスバック法を用いて基礎代謝量を測定した。体重あたりの基礎代謝量は基礎代謝基準値と比べて男性ではやや低い傾向にあったが、女性ではほぼ同じ値となった。第六次改定栄養所要量に示されている体重のみを用いた基礎代謝の推定式から求めた推定値は集団として比較した場合は実測値との差が3.5%とやや過大ではあるが、比較的良く推定していると思われた。しかし、個別に見た場合には推定値と実測値の差は-17.3~25.9%とばらつきがあり、±5%以内の差の者が38%と推定値と実測値の差が大きい者が多く見られた。基礎代謝量と大きく関連する項目には、性と除脂肪体重があげられた。

### A. 研究目的

栄養所要量におけるエネルギー所要量の値は、各種給食における供食エネルギー量の設定や肥満・生活習慣病の予防・治療における食事指導の基本となるものである。基礎代謝量は、消費エネルギーの60~70%を占め、エネルギー所要量算出において重要なものである。しかし、体重あたりの基礎代謝基準量には個人により実測値との差がみられるといわれている。本研究においては、10~80歳の男女について基礎代謝量を実測し、基礎代謝基準値との比較と体組成など基礎代謝量に影響する要因の検討を行うことを目的とした。本研究成果は、栄養所要量の策定において参考となると考える。

### B. 研究方法

#### ① 対象者

10歳代~70歳代の健康な男女115名を対象とした。対象者の職業は学生、会社員、主婦等多岐に渡っていた。

#### ② 測定項目及び方法

測定の前日には、夜9時までに夕食を終え、その後の飲食は禁じた。また、前日の激しい運動、飲酒を禁じ、8時間以上の睡眠をとるようにした。測定当日は朝食はとらず、喫煙もせずに、できるだけ静かに研究所に來所してもらった。研究所に到着後、測定の説明、アンケートのチェック等をした後、30分の横臥安静をとり、その後ダグラスバックを用いて10分間の呼気を2回採集した。採集した呼気は、質量分析計（ARCO SYSTEMS, ARCO-1000）を用いて酸素と

二酸化炭素濃度を分析した。呼気量は乾式ガスメーター (SHINAGAWA W-NK-5A) を用いて測定した。測定時には流量が一定になるようにポンプ (MEIKOSYA, VACUUM PUMP) を用いて呼気を流出した。

対象者には健康状態、生理の状態等に関するアンケート、自覚的な身体活動量に関するアンケートを実施した。また、身長、体重の測定、上腕・大腿・腹囲などの各周径囲の測定、皮下脂肪厚の測定 (GPM-Skinfold Caliper) を行った。

(倫理面への配慮)

本研究は、独立行政法人 国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の許可を得て実施

している。測定に際しては対象者に測定の利益、不利益、危険性、データの管理方法、データの公表方法について説明を行い、書面にて同意を得た。測定はすべて安全なものであり、対象者に対して危険性のあるものではない。データの管理に際しては個人を同定する ID と測定データは別に管理し、データの管理は鍵のかかる場所に保管した。また、磁気データに関しては外部からのアクセスができないようにした。

### C. 研究結果

対象者の年齢、身長、体重、BMI、座高、体脂肪量を性別、10歳きざみの年齢別に表 1 に示した。身長と座高は年齢とともに、低くなったが、体重、BMI、体脂肪率には年齢による傾向はみられなかった。

表 1 対象者の特性

男性							
	n	年齢 (yr.)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	座高 (cm)	体脂肪率 (%)
10 歳代	3	18.3 ± 0.6	172.5 ± 7.1	63.1 ± 4.4	21.2 ± 0.3	93.5 ± 1.8	21.8 ± 0.7
20 歳代	16	24.5 ± 3.1	173.3 ± 5.0	70.0 ± 9.1	23.3 ± 3.0	94.6 ± 2.7	24.4 ± 4.2
30 歳代	9	33.3 ± 2.4	169.8 ± 5.7	74.7 ± 12.8	25.8 ± 3.4	93.5 ± 2.3	25.8 ± 3.3
40 歳代	7	43.4 ± 2.1	169.4 ± 6.9	76.3 ± 11.4	26.6 ± 3.6	92.1 ± 3.0	28.0 ± 4.9
50 歳代	1	50.0	167.2	81.0	29.0	92.3	33.4
60 歳代	1	66.0	159.0	62.4	24.7	89.0	21.5
70 歳代	1	72.0	159.7	56.9	22.3	88.7	26.8
女性							
	n	年齢 (yr.)	身長 (cm)	体重 (kg)	BMI (kg/m <sup>2</sup> )	座高 (cm)	体脂肪率 (%)
20 歳代	17	26.5 ± 2.2	162.0 ± 5.6	54.5 ± 10.4	20.8 ± 4.4	89.0 ± 2.9	25.3 ± 4.2
30 歳代	29	33.4 ± 2.4	159.1 ± 6.1	49.5 ± 5.2	19.6 ± 2.0	87.7 ± 2.4	24.2 ± 2.7
40 歳代	8	44.3 ± 2.5	161.3 ± 4.9	55.5 ± 7.0	21.3 ± 2.5	89.8 ± 4.7	26.9 ± 4.0
50 歳代	11	54.2 ± 3.4	157.3 ± 4.3	58.1 ± 6.6	23.5 ± 2.4	87.3 ± 2.3	28.8 ± 3.3
60 歳代	10	64.0 ± 2.6	151.5 ± 4.4	50.1 ± 5.2	21.8 ± 2.0	83.6 ± 2.4	28.0 ± 3.7
70 歳代	2	75.5	146.6	50.4	23.4	80.6	26.7

1 日あたりの基礎代謝量と 1 日あたり体重 1kg あたりの基礎代謝量を性別、10 歳き

ざみの年齢別に表 2 に示した。1 日あたりの基礎代謝量は男性では年齢とともにやや

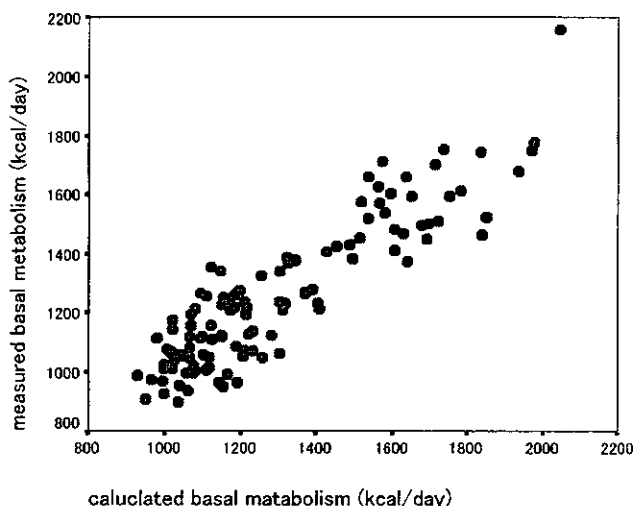
減少する傾向が見られたが、女性では年齢による差は顕著でなかった。体重あたりの基礎代謝量でも同様の傾向であった。

表2 男女別、年代別の基礎代謝量

	基礎代謝量(kcal/day)			体重あたりの基礎代謝量(kcal/kg/day)		
	男性	女性	合計	男性	女性	合計
10 歳代	1563 ± 153		1563 ± 153	24.7 ± 1.1		24.7 ± 1.1
20 歳代	1553 ± 259	1183 ± 160	1362 ± 260	22.3 ± 1.9	22.0 ± 2.7	22.1 ± 2.3
30 歳代	1522 ± 155	1099 ± 107	1199 ± 217	20.6 ± 1.9	22.3 ± 2.3	21.9 ± 2.3
40 歳代	1565 ± 194	1127 ± 90	1332 ± 267	20.6 ± 1.9	20.5 ± 2.2	20.6 ± 2.0
50 歳代	1595	1164 ± 136	1200 ± 180	19.7	20.1 ± 1.7	20.1 ± 1.6
60 歳代	1376	1076 ± 131	1103 ± 154	22.0	21.5 ± 1.7	21.5 ± 1.6
70 歳代	1274	982	1079 ± 169	22.4	19.5	20.5 ± 1.8
合計	1538 ± 180	1124 ± 130	1261 ± 245	21.7 ± 2.1	21.6 ± 2.4	21.6 ± 2.3

実測した基礎代謝量と第六次改定栄養所要量に示されている体重を用いた基礎代謝量の推定式によりもとめた基礎代謝量の推定値を比較した(図1)。実測値と推定値の相関係数は0.901(p<0.01)と高かったが、個

別に実測値と推定値を比較するとその差は-17.3~25.9% (平均3.5%)あり、全体としては推定値がやや過大評価する傾向にあり、個人により実測値と推定値の差にばらつきがみとめられた。



1日あたりの基礎代謝量と性、年齢、身長、体重等との単相関係数を全体と男女別に表3に示した。全体では、除脂肪体重、体重、性、身長が0.7以上の高い相関を示した。

男女別では、男性では除脂肪体重と体重が0.7以上の相関をしめした。女性では0.7以上の相関を示す項目は見出せなかったが、除脂肪体重と体重で0.6以上の相関が認め

られた。

1日あたりの基礎代謝量を目的変数に、性、年齢、身長、体重、除脂肪体重、座高を説明変数としてステップワイズを用いて重回

帰分析を行った。全体では抽出された項目は除脂肪体重と性であった。男女別で男女とも除脂肪体重のみが抽出された。

表3 1日あたりの基礎代謝量と各身体組成との相関係数

	計 (n=115)	男性 (n=38)	女性 (n=77)
性 (Male:1, Female:0)	0.7981 **		
年齢	-0.3284 **	-0.2342	-0.1549
体重	0.8610 **	0.7317 **	0.6452 **
身長	0.7270 **	0.4530 **	0.4073 **
BMI	0.6251 **	0.5564 **	0.4168 **
体脂肪量	0.6426 **	0.5569 **	0.5288 **
除脂肪体重	0.8989 **	0.7657 **	0.6665 **
座高	0.6729 **	0.1902	0.4070 **
腹部矢状径	0.4878 **	0.3613 *	0.3252 **

\*\* p<0.01, \* p<0.05

表4 基礎代謝量と身体組成の重回帰分析の結果

	全体 (n=115) <sup>1)</sup>		男性 (n=38) <sup>2)</sup>		女性 (n=77) <sup>2)</sup>	
	$\beta$	B	$\beta$	B	$\beta$	B
除脂肪体重	0.732 **	21.5	0.667 **	22.4	0.766 **	20.6
性	0.207 **	107.1				
定数		290.4		349.2		327.0
$r^2$	0.823 **		0.586 **		0.444 **	

1) 性、年齢、身長、体重、除脂肪体重、座高を投入してステップワイズにより重回帰分析

2) 年齢、身長、体重、除脂肪体重、座高を投入してステップワイズにより重回帰分析

#### D. 考察

本研究の対象者は性別、年齢別にみると第六次改定栄養所要量における基準体位と比較すると、男性では身長は50歳代が高く、60歳代で低かった。体重は10歳代、20歳代、50歳代が多かった。女性では身長は20~50歳代のそれぞれで高く、体重は20歳代と50歳代で重く、30歳代で軽かった。また、平成11年国民栄養調査における体位と比較すると男性では各年代で体重が重い傾向にあり、そのためBMIも大きくなった。女性では身長が各年代で高く、体重は30歳代を除いて重い傾向にあったが、BMIは30

歳代と60歳代がやや小さかったが、他の年代ではほぼ同じ値となった。以上より、本研究の対象者は日本人全体からみると男性はやや肥満よりであり、女性はほぼ標準的な体型であるといえる。

体重当たりの基礎代謝量を第六次改定栄養所要量に示された基礎代謝基準値と比較すると、男性では20~50歳代のそれぞれで基準値より実測値は低く、女性では20歳代で基準値より実測値が低かった。また、第六次改定栄養所要量に示されている体重のみを用いた基礎代謝の推定式からもとめた基礎代謝量の推定値と実測値を比較すると、



集団として見た場合には推定値と実測値の差の平均値は3.5%であり、推定値がやや過大評価しているものの比較的良く推定されていると考えられる。しかし、個別の値をみると差は-17.3 から 25.9%に分布しており、±5%以内の差であった者は38%の留まり、個別の推定においてはあまり精度が良くないと考えられた。

基礎代謝量の推定において、基礎代謝量に大きく影響する要因を抽出するため1日あたりの基礎代謝量と体組成の測定値について単相関係数とステップワイズを用いた重回帰分析を行った。単相関が高い項目には除脂肪体重、体重、身長、性があったが、重回帰分析の結果からは全体では性別と除脂肪体重が男女別では男女とも除脂肪体重のみが抽出された。体組成からは身長、体重よりも除脂肪体重が強く関連していた。年齢の差は除脂肪体重の差で説明されると推測されるが、全体の重回帰分析では性も残っており、除脂肪体重の違いからだけでは説明しきれない性差がある可能性がみとめられた。女性においては、身体組成の各項目との相関係数が男性より小さかったが、これは女性では生理周期により基礎代謝量が影響をうけることなどが影響していると考えられる。

本研究では、身体活動量の調査や生理周期の調査があわせて行われているので、今後、例数を増やして解析をすすめることにより、より精度の高い推定式の検討が行えると考えられる。

## E. 結論

基礎代謝量の推定式は集団としては比較的良く基礎代謝量を推定したが、個別には

推定値と実測値の差があるものが多かった。また、基礎代謝量に大きく関連する項目としては性と除脂肪体重があげられた。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

なし

### 2. 学会発表

なし

## H. 知的財産権の出願・登録状況

### 1. 特許取得

なし

### 2. 実用新案登録

なし

### 3. その他

なし

栄養所要量策定のための基礎代謝量基準値作成に関する研究

—閉経後中高年女性の基礎代謝に関する研究—

分担研究者 樋口 満 国立健康・栄養研究所 健康増進研究部 部長代理  
岡 純 同上 応用栄養学研究部 部長代理

閉経後の中高年女性の基礎代謝を年齢、日常の身体活動レベル、及び身体組成との関連で検討した。50歳代と60歳以上に分けて年齢の影響をみたが、両年齢層の間に基礎代謝量の差はみられなかった。また、ウォーキングやスイミングなど有酸素運動を日常的に行っている生活活動レベルの高い中高年女性と生活活動レベルの低い中高年女性を比較してみたが、体重、除脂肪体重（LBM）、BMTに差はなく、基礎代謝量にも差は認められなかった。中高年女性の基礎代謝量（kcal/day）は体重、LBMと高い相関関係が認められた。

A. 研究目的

栄養所要量策定のための基礎代謝量基準値を作成するための基礎資料を得ること、及び基礎代謝に及ぼす諸因子の影響を明らかにすることを目的として、昨年度に引き続いて、わが国においてこれまでの測定データが不十分な閉経後の中高年女性を対象として、年齢、日常の身体活動レベル、身体組成を考慮して基礎代謝を検討した。

B. 研究方法

1. 被検者

平成13年度において対象とした被検者は昨年度と同様に、閉経後の健康な中高年女性であり、昨年度の被検者を加えた人数は、月1回のウォーキングをしているグループから25人、週に3-5回のウォーキングをしているグループから20人、当所でスイミング・トレーニングを週に1-2回行っているグループから22人、そして都内のスイミング・スクールで週に数回泳ぎ、競技会にも積極的に参加しているグループから12人で、合計79人である。本報告は昨年度と今

年度の対象者を合わせてまとめた。

各被検者は夕食を午後9時までにとり、国立健康・栄養研究所に來所して、室温を23-25℃に保たれた被検者宿泊施設に宿泊した。

2. 身体計測と身体組成の測定

身長及び体重を計測した。各被検者の体脂肪率はBOD PODシステムにより体密度を測定して、Brozekの式から算出した。得られた体重と体脂肪率から除脂肪体重(LBM; Lean Body Mass)を算出した。

3. 食事調査

管理栄養士の指導のもと、來所前3日間の食事摂取量を秤量法を原則として実施した。秤量が困難な食品については目安量を記入した。四訂日本食品成分表にてエネルギー、及びエネルギー源栄養素（P:たんぱく質、F:脂質、C:炭水化物）の摂取比率と各種栄養素の摂取量を求めた。

#### 4. 基礎代謝測定

すべての被検者は当所被検者室において午後10時に就寝し、測定当日は朝6時に起床、排便・排尿後、室温23-25℃の被検者室において、覚醒・仰臥安静状態で基礎代謝を測定した。基礎代謝量の測定に先立ち、基礎体温、仰臥安静時心拍数を計測した。

基礎代謝量の測定は、ルドルフマスクを装着後30分経過した後、ダグラスバッグ法により呼気を10分間採取し、換気量は品川製作所製ガスメータで、呼気のO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>濃度はアルコシステム社製・質量分析計にて測定し、これらのデータから標準状態に換算した酸素摂取量 (V<sub>O2</sub>) を求め、さらに得られたV<sub>O2</sub> (ml/min)とVC<sub>O2</sub>/V<sub>O2</sub> (RQ)を基準としたWeirの換算式によりエネルギーに換算して基礎代謝量 (Kcal/day)を算出した。なお、基礎代謝量のデータとしてはRQが0.75以上0.99以下の場合のみ採用した。基礎代謝量は体重当たり、及びLBM当たりでも算出した。

#### 5. 血液検査

エネルギー代謝に関連する血液指標 (甲状腺ホルモン: T<sub>3</sub>, エストラジオール; E<sub>2</sub>)を測定した。血液検査は(株)SRLに委託して行った。

#### 6. 運動負荷試験

トレッドミルによる歩行と走行を併用した負荷漸増法により最大酸素摂取量 (V<sub>O<sub>2</sub>max</sub>)を求めた。呼気の実験は基礎代謝測定と同様の機器を用いて行った。

(倫理面への配慮)

本研究は独立行政法人国立健康・栄養研究所「人間を対象とする生物医学的研究に関する倫理委員会」の承認を得て、ヘルシンキ宣言の精神を遵守し、被検者にはあらかじめ実験の目的と内容を説明し、同意を

得て諸検査を実施した。

#### C. 研究結果と考察

被検者79人全体の年齢 (平均±標準偏差)は61±4歳 (範囲 53-72歳)、身長: 155±5 cm、体重: 53±7kg、そしてBMI: 22.0±2.3 kg/m<sup>2</sup>であった。また、体脂肪率は33±5%であった。平均的にみるとBMIは適正であったが、体脂肪率はやや高く肥満に分類されるレベルであった。

T<sub>3</sub>, E<sub>2</sub>の測定から本研究で対象となったすべての中高年女性に甲状腺機能の異常はなく、女性ホルモンも著しく低下していることが確認された。また、これらの指標にはグループ間の差は認められなかった。基礎体温は36.0±0.5℃、仰臥安静時心拍数は60±7 bpmであった。

本研究で対象とした中高年女性の体格は、第六次改定日本人の栄養所要量一食事摂取基準一 (以下「所要量」と記す)において基準とされている同年齢層 (50~69歳)の女性より身長は高くなっていたが、体重はほぼ同じ水準であった。そして、本研究の被検者の栄養摂取状況は、エネルギー摂取量 (1,911±301 kcal)が「所要量」の生活活動強度がⅢ (適度)に示されている1,900 kcalと同レベルになっていた。一方、たんぱく質摂取量 (81±14 g, 1.55±0.32 g/kg体重)は「所要量」に示されている同年齢層の女性の55gよりもおよそ50%も高くなっていた。さらに、脂肪エネルギー比率は平均で27%であり、「所要量」に示されている20~25%よりも高くなっていた。

トレッドミルによる運動負荷テストの結果、V<sub>O<sub>2</sub>max</sub>はそれぞれ、1.60±0.22 L/min, 30.6±4.4 ml/kg体重/min, 45.6±5.5 ml/kgLBM/minであった。平均年齢が60歳のグループの値としては「非常に優れている」(参照: 一般人・スポーツ選手のための体力診断システム, ソニー企業, 1986)に分類され

るレベルであった。

本被検者の平均基礎代謝量は $1,146 \pm 128$  kcal/dayであり、体重当たりでみると $21.9 \pm 2.4$  kcal/kg/day, そしてLBM換算でみると $32.7 \pm 3.4$  kcal/kgLBM/dayであった。これらの値は「所要量」における同年齢層の基礎代謝量( $1,110$  kcal/day,  $20.7$  kcal/kg/day) よりやや高い水準であり、体重当たりでみると、約6%だけ本研究データが高くなっていた。

「所要量」では身体組成(体脂肪率、LBM)の基準値が示されていないので、本研究で得られた値と「所要量」で示されている基礎代謝基準値を単純に比較はできないが、「所要量」の基礎代謝基準値は、現在生活している健康な中高年女性に適用することがおおむね妥当であると考えられる。

なお、本研究での被検者を50歳代と60歳以上に区分して、基礎代謝に及ぼす加齢の影響を検討した。50歳代( $N=32$ ,  $57 \pm 2$ 歳, BMI  $21.8 \pm 2.4$  kg/m<sup>2</sup>)の基礎代謝量は、 $1,151 \pm 126$  kcal/day,  $22.1 \pm 2.0$  kcal/kg/day,  $32.3 \pm 2.7$  kcal/kgLBM/dayであり、60歳以上( $N=47$ ,  $64 \pm 3$ 歳,  $22.2 \pm 2.2$  kg/m<sup>2</sup>)の基礎代謝量は、 $1,143 \pm 130$  kcal/day,  $21.7$  kcal/kg/day,  $33.0 \pm 3.8$  kcal/kgLBM/dayであり、両年齢グループ間には顕著な差が認められなかった。

次に、全被検者を体脂肪率(35%以上と35%以下)に従って2区分して、基礎代謝量に及ぼす身体組成の影響を検討した。体脂肪率が35%以下のグループ( $N=54$ ,  $60 \pm 4$ 歳, BMI  $21.1 \pm 1.8$  kg/m<sup>2</sup>, 体脂肪率  $30.4 \pm 3.3\%$ ,  $VO_2\max$   $1.61 \pm 0.23$  L/min,  $32 \pm 4$  ml/kg/min,  $46 \pm 6$  ml/kgLBM/min)の基礎代謝量は、 $1,125 \pm 125$  kcal/day,  $22.3 \pm 2.4$  kcal/kg/day,  $32.1 \pm 3.4$  kcal/kgLBM/dayであり、35%以上のグループ( $N=25$ ,  $62 \pm 5$ 歳,  $24.1 \pm 1.8$  kg/m<sup>2</sup>,  $38.7 \pm 2.3\%$ ,  $1.60 \pm 0.21$  L/min,  $28 \pm 3$  ml/kg/min,  $45 \pm 5$  ml/kgLBM/min)の値

はそれぞれ $1,191 \pm 125$  kcal/day,  $20.8 \pm 1.9$  kcal/kg/day,  $34.0 \pm 3.1$  kcal/kgLBM/dayであった。これらの結果から、体脂肪率の高い中高年女性に比べて、体脂肪率の低い中高年女性に比べて、体重当たりの基礎代謝量は低く、1日当たりの絶対値、LBM当たりの値はやや高くなっていることが示された。

さらに、アンケート調査による日常の身体活動レベルを基準として、高活動グループ( $N=42$ , 年齢  $61 \pm 4$ 歳, BMI  $21.9 \pm 2.1$  kg/m<sup>2</sup>,  $VO_2\max$   $32 \pm 4$  ml/kg/min)と低活動グループ( $N=37$ ,  $60 \pm 4$ 歳,  $21.8 \pm 2.2$  kg/m<sup>2</sup>,  $29 \pm 4$  ml/kg/min)に分けて検討した。1日当たりのエネルギー摂取量( $1,965 \pm 299$  kcal)は身体活動レベルが高いグループの方が低いグループの値( $1,849 \pm 296$  kcal)よりも約120kcal高くなっていたが、統計的には有意な差ではなかった。そして、基礎代謝量は1日当たり(高レベル $1,159 \pm 136$  vs. 低レベル $1,131 \pm 119$  kcal/day), 体重当たり( $22.4 \pm 2.7$  vs.  $21.0 \pm 2.4$  kcal/kg/day), およびLBM当たり( $33.4 \pm 4.3$  vs.  $32.0 \pm 2.9$  kcal/kgLBM/day)のいずれも顕著な差が認められなかった。

最後に、全被検者を対象にして、体格(体重)、身体組成(体脂肪率とLBM)と基礎代謝量の関連について検討した。その結果、若年女性と同様に、体重、あるいはLBMと基礎代謝量(Y kcal/day)との間には有意な正の相関関係が認められ、以下のような回帰直線が得られた。

体重(X kg) :  $Y = 11.8 X + 522$ ,  $r=0.609$ ,  $P < 0.001$

LBM(X kg) :  $Y = 19.4 X + 462$ ,  $r=0.567$ ,  $P < 0.001$

我々はすでに、ランニングやローイングを行っている若年女性と運動習慣のない若年女性を含めて、体重あるいはLBMと基礎代謝量(kcal/day)の関係を検討し、それぞれ有意な正の相関関係を認めている(参照；

田口ら：栄養学雑誌, 2001)。 これら横断的な観察によって得られた結果から、中高年女性においても、基礎代謝量(kcal/day)は体格(体重、LBM)の影響が大きく、日常の身体活動レベルの違いによる影響はそれほど大きくない可能性が示唆された。

#### D. 結論

本研究で対象とした中高年女性被検者では年齢による基礎代謝量への影響は認められなかった。さらに、日常の運動・スポーツなどによる生活活動レベルが異なり、有酸素性能に差があっても、身体組成、及び基礎代謝量には大きな差がみられなかった。基礎代謝量(kcal/day)は体格による影響が顕著であった。

2年間にわたる研究から、「所要量」で日常の生活活動強度が「やや低い」、あるいは「適度」に分類されると考えられる中高年女性(年齢 50-69歳)の基礎代謝量は「所要量」に示されている基準値よりやや高い水準であることが示された。

#### E. 研究発表

##### 1. 論文発表

- ①田口素子, 樋口 満, 岡 純, 吉賀千恵, 石田良恵, 松下雅雄: 女子持久性競技者の基礎代謝量. 栄養学雑誌 59(3):127-134, 2001.
- ②Yoshiga C, Kawakami Y, Okamura K, Okamoto J, Higuchi M: Serum lipoprotein cholesterol levels in male collegiate rowers. *Advances in Exercise and Sports Physiology* 7(1):33-37, 2001.
- ③Wu J, Wang X, Takasaki M, Ohta A, Higuchi M, Ishimi Y: Cooperative effects of exercise training and genistein administration on bone mass in ovariectomized mice. *Journal of Bone and Mineral Research* 16(10):

1829-1836, 2001.

- ④関根豊子, 高橋裕子, 井上喜久子, 樋口 満: 大学女子テニス選手におけるビタミンB1、B2、C摂取量とビタミン栄養状態との関連性. 栄養学雑誌 59(2):79-86, 2001.
- ⑤樋口 満: 生活習慣病と運動療法 運動療法に必要な運動生理学の基礎(1)有酸素運動. *Modern Physician* 21(2):161-165, 2001.
- ⑥樋口 満: 成人病・生活習慣病の予防: 生活習慣病改善の有用性と限界 成人病・生活習慣病の予防のための身体活動の有用性と限界. *臨床成人病* 31(5):598-602, 2001.
- ⑦佐藤祐造, 樋口 満: 肥満の運動療法の今日的課題と今後の動向. *The Japanese Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 23(4):189-193, 2001.

##### 2. 学会発表

- ①樋口 満, 岡 純, 瀧本秀美, 佐々木由美, 吉賀千恵, 田口素子: 閉経後の中高年女性の基礎代謝量. 第48回日本栄養改善学会学術総会, 大阪, 2001.
- ②呉 堅, 王新祥, 樋口 満, 高寄みさお, 太田篤胤, 石見佳子: 卵巣摘出骨粗鬆症モデル動物の骨量に対する運動と大豆イソフラボンの併用効果. 第55回日本栄養・食糧学会 5.7, 2001, 京都
- ③稲山貴代, 斉藤 実, 岡 純, 加柴美里, 樋口 満, 梅垣敬三, 山本順寛, 久保博司, 松田光生: トレーニング状況によって異なる運動誘発性酸化ストレスに対する血管内チオールへの応答. 第55回日本栄養・食糧学会 5.8, 2001, 京都
- ④吉賀千恵, 樋口 満, 岡 純, 川上泰雄, 柳沢香絵: 3ヶ月のローイング・トレーニングが若年成人の有酸素性能および血中脂質・リポ蛋白プロファイルに及ぼす影響. 第9回日本運動生理学会大会 7.31, 2001,

横浜

⑤吉賀千恵,樋口 満,岡 純,松下雅雄,  
川上泰雄:中高年ボート選手の身体組成と  
呼吸循環機能.第56回日本体力医学会大会  
9.20,2001,仙台

⑥Ogawa K, Yamakawa J, Oka J, Higuchi  
M: Participating in a swimming program  
enhanced the natural immune system in  
elderly women. International Society  
of Exercise and Immunology 5th  
Convention 5.30,2001, Baltimore,  
U.S.A.

⑦Yoshiga C, Higuchi M, Kawakami Y,  
Tabata I: Maximal oxygen uptake, blood  
lactate accumulation, and rowing  
performance in young and master rowers.  
6th Annual Congress of the European  
College of Sports Science 7.26,2001,  
Cologne, Germany

厚生科学研究費補助金（健康科学総合研究事業）

分担研究報告書

エネルギー消費量に影響する食物摂取に関する基礎的研究

分担研究者 笠岡（坪山） 宜代

（独立行政法人国立健康・栄養研究所 生活習慣病研究部 研究員）

研究要旨

エネルギー消費を高め肥満を予防する作用が知られている共役リノール酸（CLA）は、マウスの体脂肪を極端に減少させる為、脂肪肝や高インスリン血症等の副作用を生じる。そこで、副作用を生じずに効率良く体脂肪を減少させる食事条件を検討する目的で、食事時の脂肪含量の影響を検討した。低脂肪食に CLA を添加すると体脂肪は減少するが脂肪肝、高インスリン血症が認められた。一方、高脂肪食に CLA を添加した場合には脂肪肝や高インスリン血症などの副作用は全く認められず、効果的に体脂肪が減少した。CLA は脂肪含量に関わらずエネルギー消費を高め体脂肪を減少させるが、摂取脂肪レベルが高い場合には副作用が生じないことが明らかとなった。

A. 研究目的

本研究は、ヒトメタボリックチャンバーを用いたエネルギー消費量を解釈する上での基礎データとすることを目的として、エネルギー消費量に影響する食事成分を探索した。

昨年度の本研究において我々は、マウスに共役リノール酸（CLA）を摂取させるとエネルギー消費が亢進し、体脂肪が劇的に減少することを報告している。しかし、低脂肪食への CLA の添加は脂肪肝、高インスリン血症を引き起こした。そこで、本研究では、エネルギー消費を高める食事成分としての CLA の有用性を明らかにする目的で、高脂肪食摂取下での CLA の作用について検討した。

B. 研究方法

7 週齢の C57BL/6 マウスに低脂肪食（脂肪エネルギー比 10%）と高脂肪食（脂肪エネルギー比 60%）を与え、それぞれ CLA の添加、非添加の条件下で 19 週間飼育した。CLA の添加は飼料中 1%（W/W）とした。実験動物用メタボリックチャンバーを用いて酸素消費量を測定し、肝臓中脂肪含量、血中インスリン、GOT、GPT 等を測定した。

C. 研究結果

摂取脂肪レベルに関わらず CLA の添加は脂肪組織重量を減少させ、酸素消費量を増加させた（ $p < 0.05$ ）。低脂肪食に CLA を添加した場合には、脂肪肝および血中インスリンの増加が認められたが、高脂肪食への CLA の添加では脂肪肝、

高インスリン血症は全く認められなかった。さらに、血中 GOT、GPT は低脂肪食への CLA 添加では著明な増加を示したが、高脂肪食に CLA を添加してもほとんど増加しなかった。

#### D. 考察

CLA は摂取脂肪レベルに関係なくエネルギー消費を亢進させ肥満を予防することが明らかとなった。摂取脂肪レベルが高い場合には脂肪肝や高インスリン血症を防ぐことから、CLA は食事中の絶対量ではなく摂取脂肪中の比率によって作用が異なる可能性が示唆された。

今後、低容量 CLA 摂取でのエネルギー消費亢進作用、副作用の有無を検討し、CLA の安全性を明らかにするとともに、ヒトの肥満に対する有効性についても検討したい。

#### E. 研究発表

##### 1. 論文発表

1. Nobuyo Tsuboyama-Kasaoka and Osamu Ezaki (2001) Mitochondrial uncoupling protein 3 (UCP3) in skeletal muscle. *Front Biosci* 6, D570-D574.

2. Yamauchi T, Kamon J, Waki H, Terauchi Y, Kubota N, Hara K, Mori Y, Ide T, Murakami K, Tsuboyama-Kasaoka N, Ezaki O, Kadowaki T (2001) The fat-derived hormone adiponectin reverses insulin resistance associated with both lipodystrophy and obesity. *Nat. Med.* 7, 941-946.

3. Yamauchi T, Waki H, Kamon J, Murakami K, Motojima K, Komeda K, Miki H, Kubota N, Terauchi Y, Tsuchida A, Tsuboyama-Kasaoka N, Yamauchi N, and Kadowaki T (2001) Inhibition of RXR and PPAR $\gamma$  ameliorates diet-induced obesity and type 2 diabetes. *J. Clin. Invest.* 108, 1001-13.

4. Mayumi Takahashi, Nobuyo Tsuboyama-Kasaoka, Teruyo Nakatani, Masami Ishii, Shuichi Tsutsumi, Hiroyuki Aburatani and Osamu Ezaki (2002) Fish oil feeding alters liver gene expressions to defend against PPAR $\alpha$  activation and ROS production. *Am. J. Physiol.* 282, G338-G348.

5. Teruyo Nakatani, Nobuyo Tsuboyama-Kasaoka, Mayumi Takahashi, Shinji Miura and Osamu Ezaki (2002) Mechanism for PPAR $\alpha$  activator-induced up-regulation of UCP2 mRNA in rodent hepatocytes. *J Biol Chem.* 277, 9562-9569.

##### 2. 学会発表

1. 笠岡(坪山) 宜代, 中込圭, 高橋真由美, 仲谷照代 and 江崎治 (2001) UCP2 過剰発現トランスジェニックマウスの解析——遺伝性肥満(KKAy)に対する影響——. 第 55 回日本栄養・食糧学会, 京都, 5 月.

2. 笠岡(坪山) 宜代, 中込圭, 高橋真由美, 仲谷照代 and 江崎治 (2001) 肥満、糖尿病、高脂血症の発症に及ぼす UCP2 過剰発現の影響. 第 33 回日本動脈硬化学会, 東京, 6 月.

3. Nobuyo Tsuboyama-kasaoka, Mayumi Takahashi, Kei Nakagomi, Teruyo Nakatani and Osamu Ezaki. (2001) Mice overexpressing human uncoupling protein 2 (UCP2) in adipose tissues prevents high fat diet-induced obesity and diabetes. 17th International Congress of Nutrition, Austria, August.

4. 笠岡(坪山) 宜代 and 江崎治 (2001) 摂取脂肪レベルの違いによる共役リノール酸 (CLA) の肥満/糖尿病に対する影響. 第 48 回日本栄養改善学会, 大阪, 10 月.

#### G. 知的財産権の出願・登録状況

##### 1. 特許取得

なし

##### 2. 実用新案登録

なし

##### 3. その他

なし



厚生科学研究費補助金(健康科学総合研究事業)  
分担研究報告書

ヒューマンカロリメーターによるエネルギー消費量測定に関する研究

分担研究者	二見 順	東日本国際大学	助教授		
研究協力者	田中茂穂	独立行政法人国立健康・栄養研究所	栄養所要量研究部	室 長	
	山村千晶	独立行政法人国立健康・栄養研究所	栄養所要量研究部	流動研究員	
	岡 純	独立行政法人国立健康・栄養研究所	応用栄養学研究部	部長代理	
	高田和子	独立行政法人国立健康・栄養研究所	健康増進部	主任研究員	
主任研究者	柏崎 浩	独立行政法人国立健康・栄養研究所	栄養所要量研究部	部 長	

間接熱量測定法を用いたヒューマンカロリメーター(indirect human calorimeter: IHC)によるエネルギー消費量(energy expenditure: EE)測定の精度を、アルコール燃焼試験により確認した。IHC の測定室内でエタノールを6時間燃焼させた8例の実験を行った。燃焼したアルコールの重量から求めた理論燃焼熱量と、IHCにより測定した21時間のEEとの差は、 $-0.5 \pm 1.7\%$  (mean  $\pm$  SD, n=8)であった。また、燃焼熱量を時間差なしに算出する高速アルゴリズムを使用した6時間のEEは、理論燃焼熱量との差が $1.1 \pm 1.9\%$  (mean  $\pm$  SD, n=8)であった。

#### A. 研究目的

IHC は、心拍数法や要因加算法に比し EE を高精度かつ連続して測定可能とする。1日の総EEの正確な測定は、基礎代謝基準値を用いてエネルギー所要量を推定する方法の問題点を検討する上で重要である。そこで、本研究では、国立健康・栄養研究所に設置されたIHCによるEE測定の精度を、アルコール燃焼試験により評価・確認した。

#### B. 研究方法

エタノール (model:050-00446, purity:99.5%, WAKO pure chemical industries, Ltd., Osaka, Japan) を満たしたアルコールランプ (model: 180-821, capacity: 125mL, YAZAWA Scientific Co., Ltd., Tokyo, Japan) を、無人状態で運転されるIHCの測定室内で着火し、6時間後消火、測定室から取り出した。燃焼前後のアルコールランプの重量をバランサー (model:PB303-S, readability:0.01g, Mettler Toledo, Inc., OH, USA) により測定し、燃焼したアルコールの重量を求め、これに 1g 当たりのアルコールの燃焼熱量 7.09kcal/g を乗じることにより燃焼熱量の理論値とした。

IHC による EE の測定は、測定室の給気・排気側

における酸素・二酸化炭素濃度および流量から酸素消費量・二酸化炭素産生量を毎分求め Weir の式 (Journal of Physiology (London), Vol.109, pp.1-9, 1949)により算出される。特にアルコール燃焼試験においては、1L の酸素が消費された際のアルコールの燃焼熱量 4.87kcal/L を、酸素消費量に乗じて EE の測定値とした。1分毎に加算した  $\Sigma$  EE を経時的に算出し、その動態を検討した。また、測定された呼吸商 (=二酸化炭素産生量/酸素消費量) を、アルコールの燃焼化学式から求められる理論値 (0.667) と比較することにより、測定室内空気とアルコールランプとの間のガス交換について検討した。

さらに本研究では、燃焼熱量を時間差なしに算出する高速アルゴリズムによる EE 測定の妥当性を検討した。IHC では、測定室内で発生したガスが拡散・希釈され排気される。このため、ある時点で発生したガスがすべて排気されるには、発生後時間差が生じる。時間差なしに EE を求めるには、測定室の給気・排気側に加えて、室内での酸素・二酸化炭素の濃度変化を考慮した高速アルゴリズムが必要となる。ここでは、Schoffelen ら (Journal of Applied Physiology, Vol.83, No.6, pp.2064-2072, 1997) の方法に改良を加えたアルゴリズムにより、1

分毎に EE を算出し、これを 6 時間加算した 6h  $\Sigma$  EE を上述の理論燃焼熱量と比較・検討した。

(倫理面への配慮)

本研究はヒトや動物を対象としないため、倫理面への配慮は特に行わなかった。

### C. 研究結果

図 1 に  $\Sigma$  EE の測定結果の代表例を示す。 $\Sigma$  EE の測定値は、アルコールランプの着火後上昇し、燃焼終了後 6 時間でほぼ理論値と一致、その後一定値を示す動態であった。測定開始 21 時間後(燃焼終了 15 時間後)の 21h  $\Sigma$  EE の測定誤差は、-0.32%であった(式(1))。繰り返し行った同様の実験における 21h  $\Sigma$  EE の測定誤差は、mean  $\pm$  SD で  $-0.5 \pm 1.7\%$  (n=8, 理論燃焼熱量 603.3 ~ 689.5kcal)であった。

図 2 に呼吸商の測定結果を示す。呼吸商はアルコールの燃焼開始直後から理論値 0.667 に近づき、燃焼終了時には 0.668 を示した。繰り返し行った同様の実験における燃焼終了時の呼吸商は、mean  $\pm$  SD で  $0.670 \pm 0.009$  (n=8)であった。

図 3 に高速アルゴリズムを用いた  $\Sigma$  EE の測定結果を示す。燃焼終了時の 6h  $\Sigma$  EE の測定誤差は 0.76%であった(式(1))。繰り返し行った同様の実験における 6h  $\Sigma$  EE の測定誤差は、mean  $\pm$  SD で  $1.1 \pm 1.9\%$  (n=8, 理論燃焼熱量 603.3~689.5kcal)であった。

$$\begin{aligned} & \Sigma EE \text{ の測定誤差} \\ & = (\Sigma EE \text{ 測定値} - \Sigma EE \text{ 理論値}) \\ & / \Sigma EE \text{ 理論値} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

### D. 考察

アルコールの燃焼により発生した熱量が、燃焼終了 6 時間後にはほぼ回収され、測定開始 21 時間後(燃焼終了 15 時間後)には理論値と一致した。この動態は合理的であり、発生熱量の測定が、IHC により正しく行われていると考えられる。燃焼開始 6 時間後の呼吸商が、理論値とほぼ一致したことから、測定室内空気とアルコールランプとの間で、酸素・二酸化炭素のガス交換が正しく行われていると考えられる。

アルコールランプの消火・回収作業は、測定室の扉を開閉して行った。高速アルゴリズムを用いない場合には、扉の開閉による測定室内空気の室外への流出が、その後の  $\Sigma$  EE 測定に影響を及ぼす。測定室内での作業中は呼吸をしないよう努めたが、扉の開閉により測定室内の酸素・二酸化炭素濃度がともに 0.01%程度変化した。これは、測定室全体

の 6%の空気が室外に流出し、これにともないアルコールの燃焼熱が室外へ放出されたことを意味する。扉の開閉から測定終了までの  $\Sigma$  EE が、測定室内空気の流出がなかった場合の 94%であると仮定すると、扉の開閉を行わなかった場合の 21h  $\Sigma$  EE は、それを行った値から 1%程度増加し、上述の測定誤差は平均 0.5%程度と見積もられる。

高速アルゴリズムを用いた 6h  $\Sigma$  EE の測定誤差は平均 1%程度であったことから、高速アルゴリズムは  $\Sigma$  EE の高精度測定に有用であると考えられる。

### E. 結論

アルコール燃焼試験により、IHC での EE 測定の精度を確認した。燃焼時間を 6 時間とした 8 例のアルコール燃焼試験において、本 IHC による 21h  $\Sigma$  EE の測定誤差は、 $-0.5 \pm 1.7\%$  (mean  $\pm$  SD, n=8)であった。また、高速アルゴリズムは、6h  $\Sigma$  EE を誤差  $1.1 \pm 1.9\%$  (mean  $\pm$  SD, n=8)で算出し、 $\Sigma$  EE の高精度測定に有用であることを確認した。

### F. 健康危険情報

なし

### G. 研究発表

1. 論文発表  
なし
2. 学会発表

①二見 順, 柏崎 浩, 田中茂穂, 山村千晶, 岡 純, 高田和子:ヒューマンカロリメーターによるエネルギー消費量測定を高速応答で実現するアルゴリズムの検討. 第 56 回日本栄養・食糧学会 2002.7., 札幌(予定).

### H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得  
なし
2. 実用新案登録  
なし
3. その他  
なし

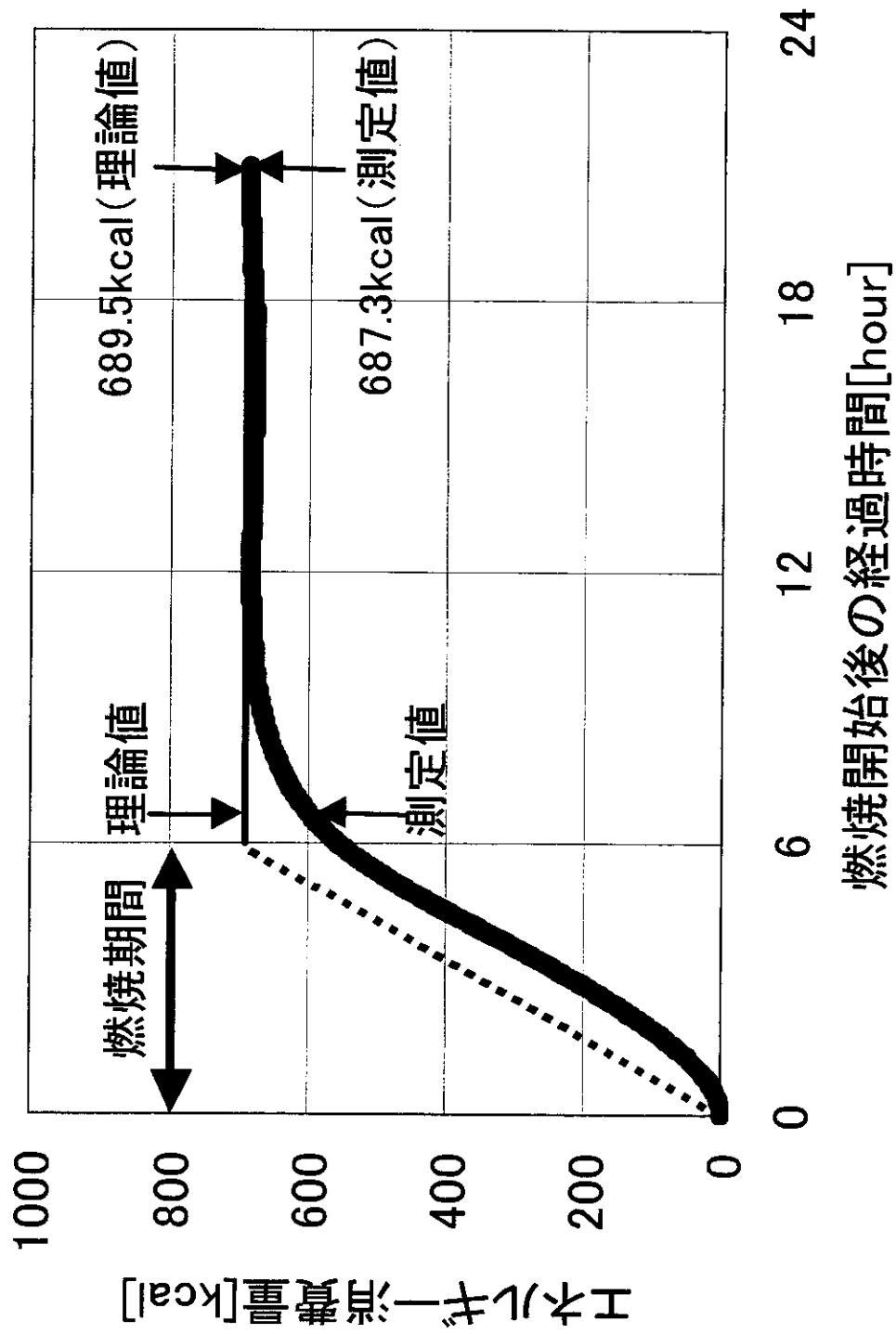
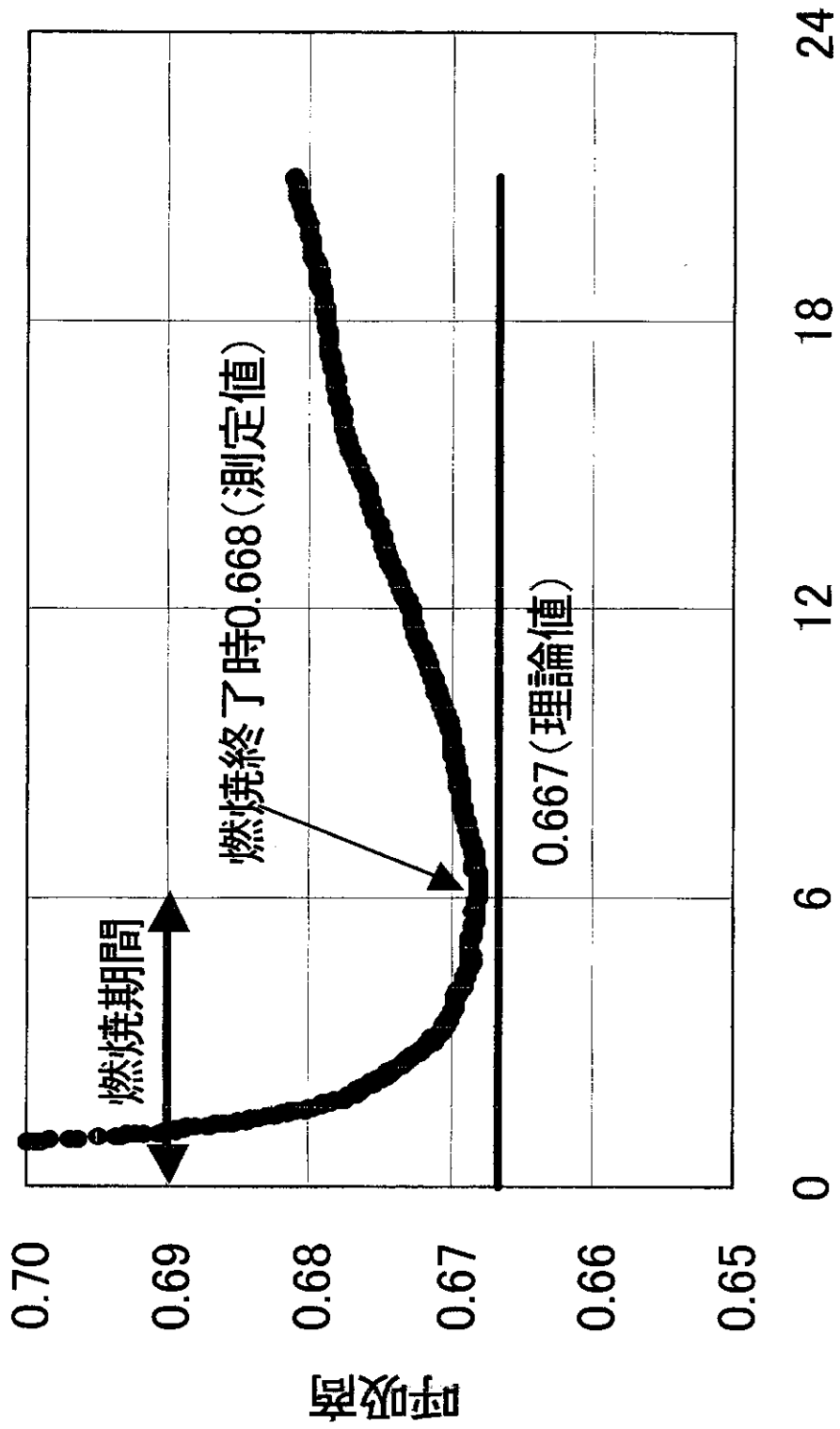


図1 アルコール燃焼試験によるエネルギー消費量測定



燃烧開始後の経過時間[hour]

図2 アルコール燃烧試験による呼吸商