体構成成分の *in vivo* における基礎代謝産熱量の推算

池 鯉 鮒 治 明

長崎大学医学部衛生学教室

Estimation of Basal Heat Production Rates from Body Compartments *in vivo*

Haruaki CHIRIFU

Department of Hygiene, School of Medicine, Nagasaki University, Nagasaki

In order to find how fat tissue mass plays a role in basal energy metabolic rate of human beings, following experiment was carried out for presuming the heat production rates from fat tissue mass (FTM) and essential body mass (EBM) in basal metabolic conditions.

Body density and basal metabolic rate (BMR) were examined on 15 healthy men aged 18-19 years in January and July 1977. The two compartments of FTM and EBM were calculated from formula; $FTM = \text{body weight} \times (6.970/D - 6.353)$, advocated by Chien *et al.* in 1975. Supposing that heat production rates per weight of FTM (b) and that of EBM (a) are the same for all the subjects respectively, each value of b and of a was calculated from a statistical analysis devised by the present author. Obtained value of b was 18.7 kcal/kg/day in July and 25.0 kcal/kg/day in January, and that of a was 28.5 kcal/kg/day and 29.0 kcal/kg/day respectively.

Above results suggest that metabolic activity of fat tissue is considerably high and also higher in winter than in summer. If stored fat mass occupies 80 per cent of FTM (Forbes), heat production rate of the remaining active mass in FTM is estimated as 93.5 kcal/kg/day in summer and 125 kcal/kg/day in winter, being far higher than the heat production rate of EBM.

Nagamine *et al.* (in National Institute for Nutrition) reported experimental data on body composition and basal metabolism for 84 females aged 19-22 years in 1964. From this data, heat production rate of body composition was estimated by the author as 16.8 kcal/kg/day for FTM and 26.1 kcal/kg/day for EBM. And it was suggested that the lean body mass correlates highly to BMR of the whole body and similarly EBM does to the partial BMR from EBM, however these correlations are not linear but curvilinear.

(Received May 1, 1981)

近年の脂肪組織に関する生理学・生化学・形態学的な各研究によって、脂肪組織が単にエネルギーの貯蔵庫ではなくて、ホルモン・神経系のコントロールのもとに、活発な物質代謝を営んでいることが明らかになってきた。しかしながら *in vivo* における脂肪組織の代謝活性量についての知見は、最近まで得られていない。

1970年、Bray¹⁾は、基礎代謝条件下における超肥満者の脂肪組織の酸素消費量はかなり大きく、その重量と正相関すると報告した。

同じころ、中村ら^{2,3)}は、20~50歳の成人男女49人について、皮下脂肪厚からの体構成成分、および基礎代謝量(以下BMR)を測定し、両者の関係を統計的に解

析することによって体脂肪成分と除脂肪成分のエネルギー代謝量を推定している。その結果、単位重量当たり代謝量が、脂肪成分でも決して無視できるほど低くなく、またその活性度は成人より小児に高い傾向を見いだしている。

本研究において、青年期男子を被験者として、基礎代謝状態における脂肪組織成分(fat tissue mass, 以下FTM)、除脂肪組織成分(fat tissue free mass, すなわちChien⁴⁾の提唱するessential body mass, 以下EBM)の各代謝産熱量を推定し、その季節変動を知ろうとした。

さらに、1965年、長嶺、鈴木⁵⁾らが報告したデータから、青年期女子のFTM、EBMの各代謝産熱量を算定し、検討を加えた。

実験方法

1. 被験者

某各種学校に在学し、団体生活を営んでいる健康な18~19歳の男子学生15人。

2. BMRの測定

午前6時、安静臥床状態で、ダグラスバッグに約10分間採気し、ガス量はあらかじめ Tissot 型のガスメータで補正した乾式ガスメータで測定し、呼気分析は労研式ガス分析器で行なった。測定は、1977年1月と7月に各1日を選び行なった。

3. 体構成成分の測定

BMR 測定終了後、体重と皮下脂肪厚の測定を行なった。続いて Fig. 1 に示す木製のボックスを使用して、長嶺ら⁶⁾の water displacement method によって体容積を測定した。最大呼気時の残気量測定は Rahnら⁷⁾の forced breathing method によった。得られた体重、体容積、残気量から体密度 (D) を算出した。FTM と EBM の密度として、それぞれ Keysら⁸⁾の 0.948、Rathbun ら⁹⁾の 1.097 を用い、Chienら⁴⁾が提唱している次式によって、FTM (M_A)、EBM (M_E) を算出し

Fig. 1. Wooden box for measurement of whole body volume designed by the author.

One scale on the Burette corresponds to 220 ml of water.

Table 1. Formula for calculation of fat tissue mass, proposed by Chien *et al.* in 1956.

$$F = W \left(\frac{6.970}{D} - 6.353 \right)$$

F : fat tissue mass (kg)

W : body weight (kg)

D : body density

Density of fat tissue mass: 0.948

Density of essential body mass: 1.097

た (Table 1 参照)。

$$M_A = M_T (6.970/D - 6.353)$$

$$M_E = M_T - M_A$$

ただし、 M_T は体重

ここで、Chien の EBM は、一般に脂肪成分 (fat mass) と除脂肪成分 (fat free mass, すなわち lean body mass) とに分けた場合の lean body mass とは厳密には異なる。すなわち、EBM は脂肪組織全体の成分を除去した残りの体成分であり、したがって、EBM は lean body mass に比べその重量は小さい。

4. EBM と FTM の各産熱量の推定

被験者の身体、生活条件 (性、年齢、環境、運動、生活など) が同じで、EBM、FTM の各単位重量当たり産熱量が等しいと仮定し、これを a, b とすれば、次の一般式が全員について成立する。

$$B_i = E_i \cdot a + F_i \cdot b$$

ただし、 B_i は BMR/day, E_i は EBM, F_i は FTM の各重量 kg

そこで、Table 2 に示したごとく、上記の等式を変形した

$$B_i/F_i = (E_i/F_i) \cdot a + b \quad (1)$$

$$B_i/E_i = a + (F_i/E_i) \cdot b \quad (2)$$

における E_i/F_i と B_i/F_i 、および F_i/E_i と B_i/E_i をそれぞれ変数として相互間の相関状態を検討した結果、いずれも高い相関関係が得られた。そこで、これに直線回帰式を適用して、その回帰係数、常数項を a, b の値とした。

5. その他

1976年4月から、1977年2月まで同一被験者の中の8人について、毎月1回ずつ BMR、皮厚、身長、体重を測定し、体表面積当たり BMR の水準と、その季節変動の観察を行なった。

Table 2. Equation of BMR values being composed of two body compartments.

$$B_i = E_i \cdot a + F_i \cdot b$$

B_i : BMR (kcal/day)

E_i : essential body mass (kg)

F_i : fat tissue mass (kg)

a : heat production of E (kcal/kg/day)

b : heat production of F (kcal/kg/day)

Above formula is transformed as follows:

$$\frac{B_i}{F_i} = \frac{E_i}{F_i} \cdot a + b \quad (\text{formula 1})$$

$$\frac{B_i}{E_i} = a + \frac{F_i}{E_i} \cdot b \quad (\text{formula 2})$$

また、長嶺らの成績を借用して、19~22歳青年女子84名の体重、体密度、BMR値から上述の方法で、体組成をEBM、FTMに分けて、それぞれの産熱量を推定した。

実験成績

1. 毎月のBMR, 体重, 皮厚

Table 3に示すごとく、同一被験者8人の体表面積当たりのBMRは、夏低く冬高い傾向を示しており、年間変動率は11.5%であった。この変動率は、当教室で得られた吉田¹¹⁾(17.0%)と陳¹²⁾(6.5%)の値のほぼ中間値を示している。1976年7月のBMR測定値は、その前日スポーツテスト(1,500m走, step test, 自転車エルゴメータ負荷)を実施したためか、前月に比べ有意($p<0.05$)に上昇していた。毎月のBMR平均値はすべて厚生省の19歳男子基準値38.8 kcal/m²/hrよりも高く、年間平均値と標準偏差(以下SD)は、42.06±3.72 kcal/m²/hrである。これは彼らが激しい肉体訓練を受けているためと考えられる。身長、体重の平均±SDは、167.0±5.1 cm, 57.64±4.02 kgであり、19歳男子基準値より若干下回る体位であった。また体重は、夏減冬増の傾向を示した。

皮厚値(上腕+背部)は、年間平均で17.83±3.97 mmであり長嶺ら⁹⁾が同年齢層の男子学生について調べた結果と似かよっている。

2. 水浸法による体構成成分の分析

1977年1月と7月に測定した同一被験者15名の体

格、体密度、BMR、およびBrozekら¹⁰⁾の式($F\% = 4.570/D - 4.14$)により算定した体構成成分値をTable 4に示す。体密度の1月平均値は、1.0771であり、7月の1.0707より有意($p<0.05$)に高く、それを反映して1月では、lean body massは増加、fat massは減少している。ちなみに、このlean body massおよびfat massは、Chienらの式⁴⁾で算出したEBM、FTMの値(Table 5)とは異なり、lean body mass>EBM, fat mass<FTMとなっている。

3. 夏冬のEBM, FTM単位重量当たり産熱量(a および b)

Table 2のformula 1による各被験者の E_i/F_i と B_i/F_i との相関分布状態をFig. 2に示す。相関係数は、1月で+0.996, 7月+0.995といずれもきわめて高い。 $E_i/F_i(X)$ に対する $B_i/F_i(Y)$ の回帰方程式は、1月: $Y=29.7X+25.2$, 7月: $Y=28.4X+18.9$ となった。回帰係数および定数項の値は、 E_i, F_i の各kg当たり産熱量 a, b に相当する。

a, b 両値とも、夏よりも冬に高い傾向を示すが、夏と冬の差は b (FTM)では、6.3 kcal/kg/day, a (EBM)では、1.4 kcal/kg/dayであった。代謝活性の季節変動は、EBMよりもFTMのほうが大きい傾向がうかがわれる。

次にformula 2 (Table 2)によって得た F_i/E_i と B_i/E_i の関係をFig. 3に示す。ここで得られた回帰式では、EBMの単位重量当たり産熱量 a は定数項に、FTMの産熱量 b は回帰係数にそれぞれ相当する。相関度は

Table 3. Monthly means and standard deviations of body weight (BW), skin fold thickness (SFT) and basal metabolic rate (BMR) per surface area (8 subjects).

Month	BW (kg)	SFT (mm)	BMR (kcal/m ² /hr)
'76, 4	57.48±3.77	16.87±3.77	44.09±2.80
5	57.87±3.72	18.22±3.53	42.17±2.99
6	57.87±3.90	20.89±3.81	39.48±2.74
7	57.53±3.51	22.11±2.99	43.72±2.78
8	56.29±3.74	18.72±3.21	38.97±5.53
9	56.94±4.01	16.89±3.28	40.74±2.73
10	57.72±4.03	17.83±3.62	42.02±2.59
11	58.03±4.01	17.89±3.72	42.33±3.54
12	57.85±4.25	16.33±3.14	42.51±1.77
'77, 1	58.13±4.30	15.50±2.98	43.44±3.09
2	58.43±4.58	14.63±2.88	43.33±4.74
Mean	57.64±4.02	17.83±3.97	42.06±3.72
'77, 7	58.78±5.08	19.06±3.14	40.83±1.82

Body height (cm) 167.1±5.1

Table 4. Individual values of BMR, BW, body density and body composition obtained by formula of Brozek (1963), exerminded in January and July 1977.

Subj. No.	BMR (kcal/day)		BW (kg)		Body density		Lean body mass (LBM) (kg)		Fat mass (FM) (kg)		BMR/BW (kcal/kg)	
	Mon.		Mon.		Mon.		Mon.		Mon.		Mon.	
	1	7	1	7	1	7	1	7	1	7	1	7
1	1768	1578	60.2	61.1	1.0731	1.0587	53.18	50.43	7.02	10.67	29.37	25.83
2	1448	1455	54.1	54.2	1.0677	1.0586	46.62	44.71	7.48	9.49	26.77	26.85
3	1635	1474	54.5	54.1	1.0844	1.0700	50.56	47.12	3.94	6.98	30.00	27.25
4	1513	1453	54.5	54.5	1.0875	1.0750	50.83	48.51	3.67	5.94	27.76	26.66
5	1691	1688	57.4	58.6	1.0769	1.0633	51.56	49.46	5.84	9.14	29.46	27.81
6	1805	1658	63.9	64.5	1.0632	1.0570	53.91	52.79	9.99	11.71	28.25	25.71
7	1516	1624	53.8	54.6	1.0720	1.0814	47.24	50.01	6.51	4.59	28.18	29.74
8	2096	1782	66.3	66.7	1.0673	1.0768	57.03	59.89	9.27	6.81	31.61	26.72
9	1567	1456	52.9	52.8	1.0878	1.0803	49.77	48.13	3.13	4.67	29.62	27.58
10	1720	1560	58.1	58.8	1.0785	1.0730	52.56	51.92	5.54	6.88	29.60	26.53
11	1437	1305	53.0	53.1	1.0770	1.0624	47.63	44.63	5.37	8.47	27.11	24.58
12	1780	1624	60.5	60.7	1.0746	1.0833	53.80	56.05	6.70	4.65	29.42	26.75
13	1886	1601	61.4	61.0	1.0747	1.0681	54.62	52.67	6.78	8.33	30.72	26.25
14	1508	1362	48.9	49.9	1.0857	1.0685	45.61	43.16	3.29	6.74	30.84	27.29
15	1718	1568	58.6	57.2	1.0878	1.0839	55.13	52.95	3.47	4.25	29.32	27.41
Mean	1672.5	1545.9	57.21	57.45	1.07709	1.07069	51.34	50.16	5.87	7.29	29.20	26.93
σ	175.7	123.1	4.54	4.55	0.00774	0.00894	3.31	4.31	2.05	2.23	1.32	1.19

Table 5. Determined weight of two body compartments for individual subjects from the equation in Table 4 in January and July 1977.

No.	EBM (kg)		FTM (kg)	
	Mon.		Mon.	
	1	7	1	7
1	51.64	47.02	8.56	14.08
2	44.63	41.67	9.47	12.53
3	50.44	45.39	4.06	8.71
4	50.86	47.38	3.65	7.12
5	50.55	46.76	6.85	11.84
6	50.95	48.95	12.95	15.55
7	45.75	49.56	8.00	5.04
8	54.53	58.70	11.77	8.00
9	50.04	47.58	2.86	5.22
10	51.73	50.40	6.37	8.40
11	46.71	42.08	6.29	11.02
12	52.45	55.78	8.05	4.92
13	53.26	50.47	8.14	10.53
14	45.61	41.41	2.79	8.49
15	55.43	52.77	3.17	4.43
Mean	50.31	48.39	6.87	9.06
σ	± 3.16	± 4.92	± 3.07	± 3.47

Fig. 2. Correlation of $BMR_i/F_i(Y)$ to $E_i/F_i(X)$

$N=15$, $\circ$ Jan.: $Y=29.7X+25.2$; $r=0.996$, $\bullet$ Jul.: $Y=28.4X+18.9$; $r=0.995$

formula 1 のそれより低いが、回帰方程式は 1 月: $Y=29.8+24.8X$, 7 月: $Y=28.5+18.4X$ となり, a, b 両値は, formula 1 で得られた値と近似している。

そこで, この formula 1, 2 両式から推定した a, b の値を平均して Table 6 に示した。 a 値は, 1 月: 29.8 (kcal/kg/day, 以下略), 7 月: 28.5, また b 値は, 1

Fig. 3. Correlation of $BMR_i/E_i(Y)$ to $F_i/E_i(X)$

$N=15$, $\circ$ Jan.: $Y=24.8X+29.8$; $r=0.691$, $\bullet$ Jul.: $Y=18.4X+28.5$; $r=0.748$

Table 6. Obtained values of heat production rates per unit weight of the both compartments.

	FTM(kcal/kg)	EBM(kcal/kg)
January	25.0	29.8
July	18.7	28.5

月: 25.0, 7 月: 18.7 となった。いずれも 1 月値が 7 月値よりも高い傾向を示したが, その差が a 値よりも b 値に大きいことが注目される。

1 月値ならびに 7 月値とも, EBM の産熱量が FTM のそれを上回るが, 後者の値もかなり高い。FTM の大部分が, 純脂肪成分で占められていることからみると, FTM 中の活性成分の代謝活性度は, きわめて高いものと推察される。

考 察

1. BMR および FTM, EBM 産熱量の季節変動

被験者の BMR (kcal/m²/hr) が, 日本人基準値よりも高いのはおそらく彼等が肉体活動訓練を受けていることに起因しているのであろう。季節による変動率は, 成績の項の初めにもふれたように, 吉田¹¹⁾の海上自衛隊員値より低く, 当教室員について測定した陳¹²⁾の値よりもやや高い 10.85% を示した。

被験者 15 人について, 1977 年の 1 月と 7 月に測定した BMR, body composition から, 体構成成分別代謝量を統計的に推量した。

その結果, EBM の産熱量は, 7 月: 28.5 (kcal/kg/day) に比べ 1 月: 29.8 (kcal/kg/day) がやや高い傾向にあり, 両季の差 1.3 kcal/kg/day は, 夏冬平均値の 4.5% である。この変動率 4.5% は Table 4 に示した BMR の体重当たり値 (BMR kcal/BW kg) の 1 月と 7

月の両平均値の差 2.27 kcal/kg (夏冬平均値の 8.1%) に比較すれば小さい。ちなみに体表当たり値 (Table 3) の変動は 3.32 kcal/m²/hr であった。

したがって、単位重量当たり EBM 産熱量の季節変動は、FTM 産熱量のそれに比べて少ないこと、そして BMR の季節変動には、FTM の産熱量の季節変動も関与していることが示唆される。事実 b 値 (FTM 産熱量) は、1 月: 25.0 kcal/kg/day で 7 月の 18.7 kcal/kg/day よりも高値を示しており、両季の差 6.3 kcal/kg/day は、夏冬平均値の 28.8% となる。この FTM 産熱量の両季の変動率が、EBM のそれに比較して数倍も大きいことは注目される。

このことに関連して、脂肪組織代謝が冬に亢進することを示唆するいくつかの報告がある。梶本ら¹³⁾、桑野ら¹⁴⁾、大柴ら¹⁵⁾は、血清 PBI に季節変動を認め、夏低く、冬高い一峰性のカーブを描くと報告している。甲状腺ホルモンは、脂肪細胞からの FFA の動員を増大させるとの Deykin ら¹⁶⁾や Devons ら¹⁷⁾の報告を考えあわせると、Itoh ら¹⁸⁾の冬の血清 FFA レベルが他の季節に比べ有意に高く、また、Johnson ら¹⁹⁾の尿中ケトン体が夏より冬に増加するとの報告も妥当と考えられる。以上のことは lipolysis が冬季に亢進することを示唆している。一方では、Vrána ら²⁰⁾は、寒冷馴化ラットの脂肪組織では、インスリン刺激による脂肪合成能が亢進すると報告している。このことは脂肪組織の lipogenesis もまた寒冷馴化状態にある冬季において亢進することを示唆している。

以上の知見より、脂肪細胞は lipolytic, lipogenetic の両面から冬季において代謝活性を高めているといえる。したがって脂肪組織の産熱量が夏より冬に高いという本研究の結果も当然であると考えられる。

ここで仮に、脂肪細胞の中に占める純脂肪分の重量比を Forbes ら²¹⁾に従い 80% とし、 b の産熱値はすべて脂肪細胞中の蓄積脂肪を除いた成分の代謝量とみなすなら、活性成分の単位重量当たり産熱量は $b \div 20/100$ として計算される。すなわち、夏では、 $18.7 \div 20/100 = 93.5$ (kcal/kg/day)、冬では $25.0 \div 20/100 = 125.0$ (kcal/kg/day) と算定される。脂肪細胞の代謝量がきわめて高いということを示唆するものである。

しかしながら、体構成成分は Table 4 と 5 からみて、1 月と 7 月で異なり、7 月に体脂肪が若干増加している。脂肪分が増加すれば、その脂肪細胞に占める重量比率が増し b 値は低くなるであろう。したがって前述した b 値の冬高夏低の季節差は、脂肪細胞の活性差に帰するとはいいきれず、むしろ純脂肪分重量比率の夏冬の差が考慮されるべきであろう。

2. 中村ら²²⁾の連立方程式法による、EBM, FTM の各単位重量当たり産熱量の試算

a , b の値の確かさを裏付ける意味から、中村ら²²⁾の提唱する連立方程式法によって、 a , b 両値の計算を行なった。

すなわち、 $B_1 = E_1 \cdot a + F_1 \cdot b, \dots, B_{15} = E_{15} \cdot a + F_{15} \cdot b$ の 15 組の式を 2 組ずつ、合計 105 組を連立させて a , b の解を求め、その平均値を算出した。結果は Table 7 に示すように、EBM の kcal/kg/day は、1 月: 23.60, 7 月: 28.69, FTM の kcal/kg/day は 1 月: 23.60, 7 月: 17.44 となった。これは回帰方程式で得た Table 6 の値に近似し、また、FTM 値が 1 月 > 7 月の傾向も一致した。(連立方程式で得られた解値は、ほぼ正規分布するが、なかには著しく中央値から飛び離れるものがあり、これらは棄却して平均値を決定した。)

3. EBM および lean body mass の重量と、そのエネルギー代謝量との量的関係

エネルギー代謝量、ことに BMR の日本人基準値設定のために採用すべき体位として、従来は体表面積が採用されていたが、昭和 50 年の「栄養所要量改定」において体重に改められた。もともと、体位基準としては、体表面積が体重よりも妥当であることは、周知の事実である。しかし最近の研究報告では、体表、体重に比べ、lean body mass が BMR とより高い相関性を示すことから、BMR 基準値を lean body mass 当たりであらわすべきだとの思潮が高まっている。この思潮の妥当性について若干の検討を加えた。

前述したように、長嶺、鈴木は、1965 年に著者と同じ手技で、男女おのおの 90 名について、BMR と体構成成分を測定し、BMR と lean body mass との相関が、体表面積や体重よりも高かったと報告している。長嶺らの好意によって、その計測諸値を借用し、統計的検討を加えた。まず、前記 formula 1, 2 によってその EBM および FTM の各 kg 当たり産熱量 a , b 値の算定をこころみた。男性では、その生活条件に違いがあったためか、明確に決定できなかった。しかし、19~22 歳女性 84 人の測定成績から、 $a = 26.1$ kcal/kg/day, $b = 16.8$ kcal/kg/day が得られた。この a 値が著者の男子被験者値の

Table 7. Heat production rates from both body compartments, calculated from simultaneous equations.

	FTM(kcal/kg)	EBM(kcal/kg)
January	23.60	28.70
July	17.44	28.69

約 29 kcal/kg/day に比べて低いことは、注目される。

次に, Brozek¹⁰⁾ らの式から算出した 84 人の lean body mass の重量 (x) と BMR (y) との関係式は, $y=17.51x+447.3$ であった。常数項は、かなり大きく、したがって lean body mass 当たり BMR は、lean body mass の大小に左右される。また体重 (x) と BMR (y) の関係式は, $y=12.02x+544.7$ となり、これもまた常数項は大きく、体重当たり BMR は、体重の大小に左右される。さらに essential body mass (EBM) の重量 (x) と、そのみからの産熱量との関係をみるために、 $[BMR-b \times FTM]$ を求めて、これを y とし、両者の相関分布を Fig. 4 に示した。その関係式は, $y=19.32x+225.0$ となるが、これもまた EBM の大小に左右される。

そこで、84 人のそれぞれ (BMR)/(lean body mass kg), (BMR)/(体重 kg), (EBM のみからの産熱量)/(EBM kg) を算定し、これらの諸 kcal/kg と lean body mass kg, 体重 kg, EBM kg との相関を検討した。相関係数は、それぞれ -0.542, -0.608, -0.365 となり、いずれも 1% 以下の危険率で負の相関性が認められた。すなわち、BMR は、これを lean body mass 当たりであらわすとしても、体重当たりで指摘されていると同様に、lean body mass が大きいほど小さくなる。さらに、基礎代謝時の essential body mass のみからの産熱量もまた EBM 重量とは比例せず、重量当たり産熱量は重量が大なるほど小さくなる。すなわち、身体組織の代謝量は、その重量と相関はするが、正比例関係にはなくて、曲線関係にあるものとみなされる。

む す び

in vivo の状態での脂肪組織成分 (FTM) と除脂肪組織成分 (EBM) の両体構成成分別に、その基礎代謝産熱量を推定するために、以下の実験を行ない、後述の結果を得た。

団体生活を営む 18~19 歳の男子学生 15 名について、1977 年 1 月と 7 月の 2 回、次の諸項目を測定した。

身長、体重^{*}、皮厚^{*}、BMR^{*} water displacement method による体密度：ただし、^{*} は 8 人について 1976~1977 年にかけて毎月 1 回測定。

ここで対象者の EBM と FTM の各重量当たり産熱量を a, b とし、それぞれ各人で一定であり、 $B_i = E_i \cdot a + F_i \cdot b$ なる式が成立すると仮定して統計学的に、 a, b 値を決定した。また長嶺ら⁵⁾ が同一手技で測定報告した体構成成分、BMR の成績を借用して若干の検討を加えた。得た結果の概要は、次のとおりである。

1) 肉体活動訓練を受けている上記 8 人の BMR は、基準値よりも高く、夏低冬高の季節変動を呈し、その変動幅は、平均 11.5% であった。

2) 体構成成分の FTM は、1 月より 7 月に増加、EBM は 7 月減少した。

3) a, b 両値は、それぞれ 1 月：29.8 (kcal/kg/day, 以下同)、25.0, 7 月：28.5, 18.7 と算定された。両月間の差は b 値に大きく BMR の季節変動に脂肪組織代謝の役割が大きいことを示唆している。

4) 脂肪細胞中の脂肪分の重量を約 80% (Forbes²¹⁾) と仮定して、この比率から脂肪細胞の代謝量を推算すると、夏 93.5 kcal/kg/day, 冬 125 kcal/kg/day となる

Fig. 4. Correlation between EBM and its heat production rate.

The rate was calculated from the following formula (BMR - 16.8 kcal/kg $\times$ FTM kg). $N=84$, $Y=19.3X+225.0$, $r=0.745$

(ただし、本実験での FTM 重量が夏冬で異なっていたので、Forbes の数値をそのまま適用できないが)。

5) 長嶺らのデータ (19~22 歳女性, 84 名) を検討した結果, $a=26.1 \text{ kcal/kg/day}$, $b=16.8 \text{ kcal/kg/day}$ となった。

6) 上記長嶺値をさらに検討した結果, 個人の基礎代謝量は, lean body mass 当たりでみると重量が大なるほど小さくなるという偏りがみられた。純粹に EBM のみからの産熱量もまた, EBM の重量当たりでは, 同様の傾向がみられた。生体の代謝量は, その重量と関連するが, 正比例関係ではなく, 曲線関係にあると考えられる。

本研究の要旨は, 第 32 回, 33 回の日本栄養・食糧学会で発表した。

終りにのぞみ, 指導と校閲をいただいた恩師中村 正教授に深謝し, 心よくデータの提供と研究の示唆を賜った前国立栄養研究所員長嶺晋吉先生に深く感謝します。さらに, 本研究にご協力いただいた長崎大学医学部衛生学教室員, 長崎県立建設大学校職員, 被験学生諸君の各位に衷心より謝意を表し, また国立長崎中央病院横内寛院長, 岩崎 栄部長の研究へのご理解が厚かったことを付言します。

文 献

- 1) Bray, G., Schwarz, M. and Lister, J.: *Metabolism*, 19, 418 (1970)
- 2) 阿部康治, 中村 正, 菅原和夫, 槌本六良, 菅原正志, 森本和枝: 第 27 回日本栄養・食糧学会総会口演 (1973) (東京)
- 3) Nakamura, M. and Abe, K.: Abstract of Xth International Congress of Nutrition, 85 (1975)
- 4) Chien, S., Peng, M.T., Chen, K.P., Huang, T.F., Chang, C. and Fang, H.S.: *J. Appl. Physiol.*, 39, 818 (1975)
- 5) Nagamine, S. and Suzuki, S.: *Human Biol.*, 36, 8 (1964)
- 6) 長嶺晋吉, 久我達郎, 山川喜久江, 大島寿美子, 鈴木慎次郎: 栄養学雑誌, 16, 73 (1958)
- 7) Rahn, H., Feen, W.O. and Arthor, B.: *J. Appl. Physiol.*, 1, 725 (1953)
- 8) Keys, A. and Brozek, J.: *Physiol. Rev.*, 33, 245 (1953)
- 9) Rathbun, E.N. and Pace, N.: *J. Biol. Chem.*, 158, 667 (1945)
- 10) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J.T. and Keys, A.: *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 110, 113 (1963)
- 11) 吉田啓峻: 日本衛生学雑誌, 26, 505 (1972)
- 12) 陳 澄雄: 日本衛生学雑誌, 31, 405 (1976)
- 13) 槌本六良: 日本衛生学雑誌, 31, 417 (1976)
- 14) 桑野紘一, 山口洋一, 吉田啓峻, 平田文夫, 中村正, 菅原和夫, 槌本六良: 日本衛生学雑誌, 26, 513 (1957)
- 15) Osiba, S.: *Jap. J. Physiol.*, 7, 355 (1957)
- 16) Deykin, D. and Vaughan, M.: *J. Lipid. Research*, 4, 200 (1963)
- 17) Devons, A.F. and Schwarz, I.L.: *J. Lipid. Research*, 2, 86 (1961)
- 18) Itoh, S., Konno, N., Yoshimura, K., Kuroshima, A. and Ikemoto, H.: *J. Physiol. Soc. Jpn.*, 29, 266 (1967)
- 19) Johnson, R.E., Sargent, and Passmore, R.: *Qyart. J. Exp. Physiol.*, 43, 339 (1958)
- 20) Vrána, A. and Kazdova, L.: *Life Sci.*, 8, 1103 (1969)
- 21) Forbes, G.B. and Hursh, J.B.: *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 110, 255 (1963)

(昭和 56 年 5 月 1 日受理)