

## 日本人青年男子の体密度推定式

高崎裕治<sup>1)</sup>・鎌滝昭男<sup>2)</sup>・山崎昌広<sup>1)</sup>

1) 九州芸術工科大学人間工学教室

2) 福岡工業大学管理工学

要約 19才から25才までの男性被検者31名の体密度測定を実施し、身体各部位の皮脂厚及び周径から体密度を推定する式を作成した。水中体重測定法により求めた体密度は平均 1.073 g/ml で、他研究にみられる数値の中間的な値を示した。ステップワイズ重回帰分析により皮脂厚と周径を説明変数とする体密度推定式を作成した結果、皮脂厚のみを説明変数とする2変数と4変数からなる2つの式が得られた。得られた式の体密度推定精度は他研究の式と比較して体密度測定値との誤差をより少なくするものであった。

### 序 論

栄養過多や座業中心の生活によってもたらされる肥満は種々の疾病に発展しやすく、この肥満の程度と関連して身体組成を明らかにすることは今日、益々必要となっている。また、身体組成は作業能力に影響し、生体諸機能との関係のうえからもこの方面の研究は意義深い。身体組成は一般に活性組織と不活性組織に大別され、除脂肪量と脂肪量が各々の尺度となり得る。多人数を対象とするなど簡便さが要求される際に脂肪量を求めるには、体密度と相関の高い皮脂厚から推定式を用いて体密度を算出し、この体密度から脂肪量を求める方法が用いられる。体密度推定式にはSLOAN (1967), MICHAEL & KATCH (1968), WILMORE & BEHNKE (1969) のものなど諸外国で多数発表されているが、日本人に関してはNAGAMINE & SUZUKI (1964), 佐藤 (1975) などがあるが、まだ少ないと考えられる。そこで、日本人青年男子を対象に皮脂厚と周径を説明変数とするステップワイズ重回帰分析により体密度推定式を作成した。

### 方 法

被検者は19才から25才までの健康な男子31名で特別な身体鍛錬者はいなかった。実験は1977

年の夏の日の午前中にすべて実施された。食事の影響を少なくするために朝食をとらず、排便、排尿後に測定を行なった。各被検者につき、身長、空気中体重、皮脂厚ならびに周径を計測し、最後に水中体重測定法によって体密度を求めた。

身長と周径の計測にはマルチン式計測器を、空気中体重の測定には竿ばかり(大和製衡)を使用した。皮脂厚では身体右側を栄研式キャリパーを用いて計測した。皮脂厚の計測部位は上腕背部(肩峰と肘頭間の後部中央点)、肩甲骨下部(下角に沿って斜につまむ)、胸部(鎖骨と乳頭の間)、腹部(臍部右方約1インチ)、腸稜部(腸骨稜隆起と肋骨下部間の腋窩中央線上)、大腿前部(中央点)の6部位である。周径では、胸囲、最小腹囲、腹囲(腸骨稜上縁レベル)、大腿最大囲、下腿最大囲、上腕最大囲(下垂位と屈位)、臀囲の8部位を計測した。

水中体重測定法はアルキメデスの原理を応用したもので、体密度は次式(KEYS & BROŽEK 1953)で与えられる。

$$D_B = \frac{M_A}{\frac{M_A - M_W}{D_W} - V_R}$$

$M_A$  : 空気中体重

$M_W$  : 水中体重

$D_W$  : 水の比重

$V_R$  : 残気量

水中体重測定装置の概略は第1図に示されてい

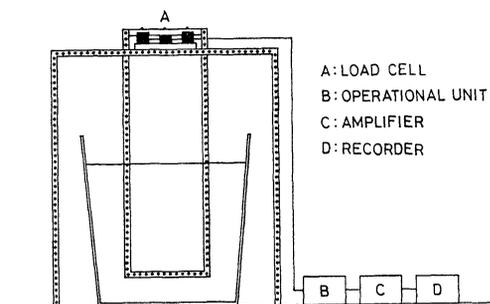


Fig. 1. The underwater weighing apparatus.

る。被検者は容積  $1 \text{ m}^3$  の円筒形の水槽中に沈みフレーム上で蹲踞姿勢をとる。水中で体の動揺が静まると、そのままの姿勢で最大呼出を行なった。この最大呼出終了直後の水中体重をフレームと接続したロードセル（東洋ボールドウィン）で検出し、レコーダー（日本電子科学）に導出記録した。水中体重の測定は10回繰り返され、最も重く記録されたものから順に3回の測定の平均値を水中体重とした。残気量は水槽外で水中体重測定時と同様に蹲踞姿勢をとらせ、ネオン希釈による呼吸停止法によって測定した。これは体内に吸収されない既知量のネオンが含まれた混合ガスを装置内に満たし、次いで最大呼息状態での肺と閉鎖回路を作ることにより、この中でネオンガス成分の希釈度を測定して回路の容積を求めようとするものである。水槽内の水の比重は水中体重測定時の水温から求めたが、水温は $30^\circ\text{C}$ 前後の値を示した。このようにして得られた各々の数値を KEYS & BROŽEK の式にあてはめて体密度を計算し、これを皮脂厚及び周径から推定するために変数増減法によるステップワイズ重回帰分析を行なった。なお、分析には九州芸術工科大学電子計算機室 FACOM 230-25、及び福岡工業大学管理工学データ通信室 IBM CALL 370 を使用した。

### 結果と考察

被検者の身体的特徴に関して、平均値、標準

偏差、範囲、及び各測度の体密度との相関係数を第1表に示している。身長と体重は青年男子として標準的な体格であると考えられる。前述の KEYS & BROŽEK の式により体密度を求めると平均  $1.073 \text{ g/ml}$  となった。日本人男子大学生を対象として得られた従来の結果と比較すると NAGAMINE & SUZUKI (1964) の  $1.069 \text{ g/ml}$  よりは大きく、佐藤 (1975) による  $1.075 \text{ g/ml}$  に近い。米国人と比較すると男子大学生の  $1.064 \text{ g/ml}$  (WILMORE & BEHNKE 1968),  $1.066 \text{ g/ml}$  (WILMORE & BEHNKE 1969) より大きく、MICHAEL & KATCH (1968) の17才男子から得た  $1.074 \text{ g/ml}$  と同程度であった。脂肪量の体重に対する割合を汎用されている BROŽEK *et al.* (1963) の式（第1表脚注）で算出すると平均11.8%となり、除脂肪量は平均  $55.08 \text{ kg}$  となった。

皮脂厚及び周径の体密度との相関係数は何れも統計的に有意であったが、体密度と最高の相関を示したのは上腕背部皮脂厚であった。諸家により腸稜部 (NAGAMINE & SUZUKI 1964; MICHAEL & KATCH 1968)、腹部 (WILMORE & BEHNKE 1969; 佐藤 1975)、大腿部 (SLOAN 1967) など種々の部位の皮脂厚が体密度と最高の相関を示す箇所として支持されており、一概に体密度推定に欠くことのできない皮脂厚部位を決定するのは難しい。しかし、本研究での上腕背部などは比較的測定し易い部位なので好都合である。今回の被検者では周径より皮脂厚の方が高相関を呈したが、これは MICHAEL & KATCH (1968) にも見られるものである。皮脂厚が脂肪組織の増減と関係深いのに対して、周径では骨、筋や皮下脂肪の多少がその割合と直接関係なく周径の大きさを決定していることが周径と体密度の相関を低くしたものと考えられる。

第2表に皮脂厚と周径による体密度推定式作成のためのステップワイズ重回帰分析の結果を要約している。各説明変数に対する採択、棄却

**Table 1.** Mean, standard deviation, and range of body composition measurements and correlation coefficients with body density in 31 college men.

Variable	Mean	S. D.	Range	Correlation coefficient
Age (years)	22.6	1.8	19.4 — 25.8	-0.037
Height (cm)	170.9	5.0	161.5 — 182.7	0.150
Weight (kg)	62.77	8.34	46.96 — 89.02	-0.655
Underwater weight (kg)	2.86	0.50	2.09 — 3.76	0.368
Residual lung volume (l)	1.555	0.368	0.784— 2.524	0.523
Body density (g/ml)	1.073	0.013	1.040— 1.091	
Body fat (%)*	11.8	5.14	4.8 — 25.3	
Lean body mass (kg)	55.08	5.58	44.44 — 69.81	-0.292
Skinfold (mm)				
Chest	8.1	5.5	2.8 — 26.5	-0.733
Triceps	8.6	4.4	3.8 — 21.8	-0.862
Subscapula	11.9	4.9	7.0 — 26.1	-0.813
Abdomen	14.0	7.7	4.8 — 41.0	-0.830
Iliac	10.8	7.1	3.9 — 31.8	-0.791
Thigh	10.4	4.5	4.4 — 21.8	-0.712
Girth (cm)				
Biceps flexed	29.8	2.7	24.9 — 36.7	-0.650
Biceps extended	28.4	2.6	24.1 — 35.4	-0.646
Chest	87.9	5.4	78.5 — 103.5	-0.721
Buttocks	88.4	5.5	77.6 — 105.0	-0.729
Waist	72.7	5.8	62.0 — 92.5	-0.748
Iliac	77.1	6.5	68.8 — 95.3	-0.770
Thigh	51.6	4.8	43.3 — 63.1	-0.698
Calf	36.1	3.2	26.8 — 42.5	-0.449

\* Calculated from the formula of Brožek *et al.*, Fat=(4.570/Density-4.142)×100

**Table 2.** Prediction equations of body density from anthropometric data. Multiple correlation coefficient and standard error of estimate are also indicated in the parentheses.

- (a)  $Y=1.09510-0.00164$  triceps S-0.00059 abdomen S  
(Multiple corr. 0.882, SEE 0.0066)
- (b)  $Y=1.10079+0.00145$  chest S-0.00195 triceps S  
-0.00131 subscapular S-0.00068 iliac S  
(Multiple corr. 0.908, SEE 0.0058)

S : skinfold thickness, mm

**Table 3.** Prediction equations of body density reported by other investigators.

NAGAMINE & SUZUKI (1964)	
Y=1.0872-0.00205 iliac S	
SLOAN (1967)	
Y=1.1043-0.001327 thigh S-0.001310 subscapular S	
MICHAEL & KATCH (1968)	
(1)	Y=1.10398-0.001591 X <sub>1</sub> (iliac S)
(2)	Y=1.10994-0.001844 X <sub>1</sub> -0.000871 X <sub>2</sub> (chest S)
(3)	Y=1.08697+0.000472 X <sub>1</sub> -0.001698 X <sub>2</sub> -0.001123 X <sub>3</sub> (thigh G)
(4)	Y=1.12012-0.000421 X <sub>1</sub> +0.000503 X <sub>2</sub> -0.001601 X <sub>3</sub> -0.000964 X <sub>4</sub> (buttock G)
WILMORE & BEHNKE (1969)	
Y=1.08543-0.0086 abdomen S-0.00040 thigh S	
SATO (1975)	
Y=1.09482-0.00119 abdomen S-0.00085 thigh S	

S : skinfold thickness, mm G : girth, cm

F 値を 2.5 に設定すると (奥野ら 1971), 第 2 表の (a) 式が得られ, 説明変数には上腕背部と腹部の皮脂厚が選択された。F 値の採択, 棄却基準を 2.0 とすると, 胸部, 上腕背部, 肩甲骨下部及び腸稜部の各皮脂厚を説明変数とする重回帰式 (b) が得られたが, 以上の 2 式に含まれる説明変数は総て皮脂厚となった。

これら 2 つの体密度推定式の推定成績を他研究者により既に報じられている式 (第 3 表) の精度と比較した。第 3 表に示される体密度推定式のうち日本人を対象としているのは NAGAMINE & SUZUKI (1964) と佐藤 (1975) の式である。彼らは各部位の皮脂厚から多数の推定式

を列挙しているが, ここでは体密度推定値と測定値との相関が最高であることが示されている式を比較のために採用した。MICHAEL & KATCH (1968) は本研究と同じステップワイズ重回帰分析を行なっているが, 第 3 表には有意な重相関係数の増加を認めている 4 変数までの重回帰式を示した。他に大学生を被検者として作られた SLOAN (1967), WILMORE & BEHNKE (1969) の各式を載せている。これら第 3 表の各推定式と本研究で得られた推定式に関して, 今回の被検者の皮脂厚または周径を代入した体密度の計算値と実際に測定した体密度との偏差率 (百分率で表示) を代数平均, 及び算術

**Table 4.** Differences and correlations between determined and estimated body density.

Investigator	Algebraic		Arithmetic		Correlation coefficient	
	Mean	S. D.	Mean	S. D.		
NAGAMINE & SUZUKI (1964)	-0.72	0.84	0.93	0.60	0.791	
SLOAN (1967)	0.19	0.66	0.53	0.43	0.834	
MICHAEL & KATCH (1968)	(1)	1.31	0.75	1.31	0.75	0.791
	(2)	0.95	1.00	1.13	0.78	0.796
	(3)	-4.89	0.82	4.89	0.82	0.716
	(4)	-11.28	0.81	11.28	0.81	0.747
WILMORE & BEHNKE (1969)	-0.28	0.70	0.61	0.44	0.859	
SATO (1975)	-0.33	0.61	0.51	0.46	0.865	
Present study	(a)	-0.05	0.56	0.43	0.35	0.882
	(b)	0.03	0.50	0.37	0.33	0.908

平均の形で第4表に示している。また、体密度の推定値と測定値との相関係数も合わせて示している。当然のことながら本研究で得た式の推定成績は偏差率、相関係数ともに最良であった。他研究にみられる式の推定成績では、代数平均による偏差率が最小なのは SLOAN の式であった。MICHAEL & KATCH の各式は何れも推定誤差が大きく、4変数の式においては -11.28% の過小推定となることが認められた。算術平均では佐藤の式が最小の偏差率を示したが SLOAN の式も代数平均と同じく好成績をおさめた。推定値と測定値との相関係数では佐藤の式がより1に近かった。本研究で得られた体密度推定式の推定成績は SLOAN や佐藤の式よりも良いものであるが、推定式自体が導かれた資料に基づいて推定成績を評価しているので、本研究とはまったく別な資料を用いて推定式の実用的価値をみる必要がある。第4表に示されているように NAGAMINE & SUZUKI や MICHAEL & KATCH の体密度推定式が過小もしくは過大推定されたことから、今回とは別な資料を用いて体密度推定を行なったとしても、少なくとも作成された(a), (b)両式が彼らの式とは推定の傾向を異にするものと予想される。

#### 文 献

BROŽEK, J., F. GRANDE, J. T. ANDERSON, & A.

KEYS, 1963: Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140.

KEYS, A., & J. BROŽEK, 1953: Body fat in adult man. *Physiol. Rev.*, 33: 245-325.

MICHAEL, E. D., & F. I. KATCH, 1968: Prediction of body density from skin-fold and girth measurements of 17-year-old boys. *J. Appl. Physiol.*, 25: 747-750.

NAGAMINE, S. & S. SUZUKI, 1964: Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol.*, 36: 8-15.

奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉沢 正, 1971: 多変量解析法, 日科技連, 東京.

佐藤光毅, 1975: 日本人の Body Fat Mass に関する研究—青年期における Body Fat Mass について. *体力科学*, 24: 134-150.

SLOAN, A. W., 1967: Estimation of body fat in young men. *J. Appl. Physiol.*, 23: 311-315.

WILMORE, J. H. & A. R. BEHNKE, 1968: Predictability of lean body weight through anthropometric assessment in college men. *J. Appl. Physiol.*, 25: 349-355.

WILMORE, J. H. & A. R. BEHNKE, 1969: An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. *J. Appl. Physiol.*, 27: 25-31.

(1979年3月15日受付)

## Prediction Equations of Body Density in Japanese Young Men

Yuji TAKASAKI<sup>1)</sup>, Akio KAMATAKI<sup>2)</sup>, and Masahiro YAMASAKI<sup>1)</sup>

1) *Department of Ergonomics, Kyushu Institute for Design Research.*

2) *Department of Administration Engineering, Fukuoka Institute of Technology.*

This study was attempted to make new equations for predicting body density of Japanese young men from skinfold and/or girth measurements. The subjects were 31 healthy young men aged from 19 to 25 years old. Body density and some anthropometric parameters, such as body weight, height, skinfold thickness and girth, were determined. The body density was estimated by underwater weighing method. Subjects were immersed underwater in the squat position and instructed to breathe out as completely as possible. Then underwater weight was measured with use of load cells. The residual lung volume was measured outside the water tank by neon dilution technique in the same position as underwater weighing. The mean body density of young men was 1.073 g/ml and located at the middle level of the other data for various populations. Two prediction equations of body density with a high degree of accuracy were obtained from the stepwise multiple regression analysis. One equation used triceps and abdominal skinfolds and the other consisted of chest, triceps, subscapular and iliac skinfolds as predictor variables (cf. Table 2). On the basis of present data, differences between the actual and predicted values from various prediction equations obtained by the authors and other investigators (cf. Tables 3, 4) were compared to evaluate the validity of the equations.