

Bioelectrical Impedance法による体組成の推定： インピーダンス-体水分量（BI-TBW）法と皮下脂肪厚 法から推定された日本人女性の%Fatの比較

小宮，秀一
Institute of Health Science Kyushu University

今井，克巳
中村学園大学

増田，卓二
久留米大学

赤崎，房生
トーヨーフィジカル

<https://doi.org/10.15017/541>

出版情報：健康科学. 12, pp.131-138, 1990-03-28. 九州大学健康科学センター
バージョン：
権利関係：



Bioelectrical Impedance 法による体組成の推定
—インピーダンス—体水分量 (BI-TBW) 法と皮下脂肪厚法から
推定された日本人女性の%Fat の比較—

小 宮 秀 一 今 井 克 巳* 増 田 卓 二**
赤 崎 房 生***

Estimation of Human Body Composition by Bioelectrical Impedance
Measurement —Comparison in Japanese Women of the Percent of
Fat Derived from Bioelectrical Impedance-Total Body
Water Measurement and Skinfold Thickness Method—

Shuichi KOMIYA*, Katsumi IMAI**, Takuji MASUDA***
and Fusao AKAZAKI****

Summary

This article reports a study in which the percent of fat estimated from bioelectrical impedance-total body water measurement and skinfold-body density method in Japanese women were compared. The bioelectrical impedance measurement provides a new approach to assessment of human body composition that is based on the principle that the electrical conductivity of lean body mass, which includes the protein matrix of adipose tissue, contains virtually all the water and conducting electrolytes in the body, is far greater in lean body mass than fat mass. In a sample of 60 women varying widely in body weight (42.20 to 69.19kg), and adiposity (21.4 to 52.9 % body fat by bioelectrical impedance-total body water measurement and 16.2 to 46.2 % body fat by skinfold thickness method), the correlation between the percent of fat derived from skinfold thickness method and the percent of fat predicted from bioelectrical impedance-total body water measurement by use of a previously developed regression equation was extremely strong ($r=0.842$, $p<0.001$). The percent of fat predicted from bioelectrical impedance-total body water measurement by use of prediction equation provided with the instrument also correlated with skinfold thickness at 14 sites ($r=0.328 \sim 0.805$) but overestimated the percent of fat compared with the percent of fat from skinfold thickness method. The significant, positive correlation between internal fat and the differences of the percent of fat by two methods was observed, but the external fat was not correlated significantly with those differences. Accordingly, this new method promises to provide a useful technique for the evaluation of the internal body fat, which are correlate well with metabolic abnormalities such as glucose intolerance, hyperinsulinemia, and hyperlipidemia.

Key words: percent of fat, bioelectrical impedance, skinfold thickness, internal fat

(Journal of Health Science, Kyushu University, 12: 131-138, 1990)

Institute of Health Science, Kyushu University 11, Kasuga 816, Japan.

*Nakamura Gakuen College, Fukuoka 814, Japan.

**Kurume University, Kurume 830, Japan.

***Toyo Physical, Fukuoka 810, Japan.

I. 緒 言

体組成をヒトが生きている状態で推定するための間接法の概念構成は、チェコスロバキアの人類学者 Matiegka, J.¹⁴⁾ による1921年の研究にさかのぼることができる。その後、Behnke, A.R.ら¹²⁾によって構築された体組成の概念は、体組成を *in vivo* の状態で体脂肪量 (Fat Mass = FM) と除脂肪量 (Lean Body Mass = LBM) とに二分し、これらを人体の生理学的反応との関連でみようとするものである。

今日まで広く用いられてきた体組成の推定方法には、物理的密度法³⁾ (densitometric method) と化学的水分法⁷⁾⁸⁾⁹⁾ (hydrometric method) とがある。しかし、これらの方法は大規模な設備や複雑な technique を必要とするため、field で行う場合や、多人数を対象とする場合には多くの困難がともなう。従って、このような場合には、体密度と相関の高い皮下脂肪厚¹⁵⁾ や形態測定値の合成変量²⁰⁾ から体密度を算出し、それによって FM や、LBM を推定する方法が多く採用されている。我国では、上腕背側部 (triceps) と肩甲骨下部 (subscapular) の皮下脂肪厚 (skinfold thickness) の和から体密度を算出¹⁵⁾ し、さらに、Brožek, J.ら³⁾の式によって体組成を推定する Nagamine, S and Szuki, S. の方法¹⁵⁾ (皮下脂肪厚法) が一般的である。

この皮下脂肪厚法 (skinfold-body density method) における皮下脂肪厚の測定誤差は、検者が熟練することによって小さくできることが、超音波¹⁹⁾ や X線⁴⁾ を用いた実験によって証明されている。従って、体密度を皮下脂肪厚との回帰分析によって推定しようとする場合、かなりの精度を得ることは可能であるといえよう。しかし、1960年代の日本人を対象に、triceps と subscapular だけを用いて作成された推定式¹⁵⁾ では、特定母集団内での精度は高くても、現代の日本人にそのまま適用できるかどうかということになると、その普遍妥当性にはいささか疑問があると言わざるを得ない。

近年では、従来の推定法の欠点 (expensive, less reliable など) を補うことのできる方法、すなわち、迅速で容易に測定でき、安全で noninvasive でもあり、十分な信頼性と精度が得られ、かつ実験室外でも測定できるものが望まれている。

人体に無痛のシグナルを流し、生体抵抗値を測定して体組成を推定する、インピーダンス法 (Bioelectrical Impedance Measurement = BIM) は、これらの要求に応じる一つの approach であろう。この BIM は、Nyboer, J.¹⁶⁾ の研究 (electrical impedance plethysmography) を基礎として、Hoffer, E.C.⁵⁾⁶⁾ らや

Lukaski, H.C. ら¹²⁾¹³⁾ によって確立された推定法であり、有機体に電流を流した時の伝導 (conduction) に基礎をおいている。すなわち、生体組織における伝導が、導体 (conductor) に含まれる水分と電解質の量に比例し、蛋白質を含み実質的には水分と電解質から構成されている lean tissue は、脂肪組織より伝導率 (conductivity) が大きいという原理に立脚している。

一方、BIM が体水分量 (Total Body Water = TBW) の定量に利用できるという仮説は、geometrical system の impedance が、導体の長さ、横断面積、組成、および電流の周波数によって、決定されるという原理に基づいている。従って、周波数が一定であり、導体組成もほぼ均一であれば、電流に対する impedance は導体の長さに比例し、横断面積に逆比例すると考えることができる。すなわち、impedance $Z = \text{ohms}$ 、導体の抵抗率 (resistivity) を $\rho = \text{ohm-cm}$ 、導体の長さを $L = \text{cm}$ 、導体の横断面積を $a = \text{cm}^2$ とすると、

$$Z = \rho L / a \quad (1)$$

導体を円柱と仮定して式(1)の右辺に L/L を乗ずると、

$$Z = \rho L^2 / aL = \rho L^2 / V \quad (2)$$

すなわち、電気的に定量された生体容量 (V) は、

$$V = \rho L^2 / Z \quad (3)$$

となる。

一方、 $Z = \sqrt{R^2 + X_c^2}$ であるが、reactance (X_c) は resistance (R) に比較して小さく、 Z との相関 (0.70) も、 R のそれ (0.99) よりも小さい。従って、イオン系の伝導容量の指標である R の方が細胞膜に由来する不伝導性、あるいは非導体の指標である X_c よりも、 Z を推定する指標としては優れていることになる。そこで、Lukaski, H.C. ら¹²⁾¹³⁾ は、 $Z \approx \sqrt{R^2}$ と考え、

$$V \approx \rho L^2 / R \quad (4)$$

と置き換えることができるとしている。

本研究に用いたインピーダンス-体水分量 (BI-TBW) 法は、これらの仮説と原理に基づいている。すなわち、身長を L とし、人体の二点間に一定周波数の電流を流し、電流 (I) と電圧 (E) とから Ohm の法則によって生体抵抗値 $Z = R = E/I$ を検出し、さらに、体水分量 (TBW) との分散分析によって作成された TBW 推定式から体組成を算出する方法である。この方法では、検者のちがいがよくなる測定誤差は小さいが、微電流を用いるため、電極部における抵抗や、体表の発汗等によって測定値に若干の誤差が生じることは考えられる。

本研究は、著者らが独自に開発したインピーダンス測定器を使用して被験者の生体抵抗値を測定し、得ら

れたインピーダンス値から体水分量推定式¹¹⁾を導き、さらに体脂肪率(%Fat)を推定している。このようにして求めた%Fatと、皮下脂肪厚法から推定した%Fatとを比較し、両者間の差がいかなる要因に起因するかを知るために、両者間の差と体脂肪分布の関係をも検討している。

II. 方 法

被験者は19歳と20歳の健康な女子大学生60名である。人体計測と、インピーダンスの測定は1989年6月に実施した。被験者の身体特性は表1に示している。

1. 皮下脂肪厚の測定

右上腕背側部、右肩甲骨下部をはじめ計14部位の皮下脂肪厚は、栄研式 caliper によって測定した。皮下脂肪厚の測定は訓練された同一検者が行った。

2. インピーダンスの測定

インピーダンスの測定には、4電極インピーダンス測定器(T-1988K, トーヨーフィジカル, 福岡)を用いた。被験者は測定日の朝食をとらないで、10時間以上空腹状態を保ち、測定直前に排尿した。測定時は半袖シャツとランニングパンツに着替え、素足で両脚を軽く開き、両腕も体幹から軽く離れた状態でベッドに仰臥した。電極(NIHONKOHDEN 社製, Y-250)の装着部位は、電流印加電極については右手背の第2・第3中手骨間と、右足背の第1・第2中足骨間の2カ所とし、検出電極については、右手首の豆状骨突起間と、右足首の内果と外果間の2カ所とした。装着は、皮膚をアルコールで拭き完全に乾燥した後に実施した。本実験に使用した測定器は、電圧10Vp-p, 周波数50kHzで500 μ Aの電流を発生するように設計されている。測定にさきだって、504~592-ohmの標準抵抗でその測定精度をチェックした。

3. 体脂肪率(%Fat)の推定

1) 皮下脂肪厚法による%Fatの推定

皮下脂肪厚法による%Fatの推定値は、tricepsとsubscapularの皮下脂肪厚和(X)からNagamine & Suzukiの式¹⁵⁾,

$$D=1.0897-0.00133X$$

によってbody density (D)を求め、さらに、Brozek, J.らの式⁹⁾,

$$\%Fat=(4.570/D-4.142)\times 100$$

によって算出した。

2) インピーダンス-体水分量(BI-TBW)法による%Fatの推定

BI-TBW法による%Fatの推定値は、先に報告した体水分量(TBW)推定式¹¹⁾,

$$TBW=0.5294(H^2/Z)+2.5139$$

からTBWを求め、Pace & Rathbunの式¹⁷⁾,

$$\%Fat=100-\%TBW/0.732$$

によって算出した。

4. 皮下脂肪量(external fat)と体内深部脂肪量(internal fat)の推定

皮下脂肪量は、14部位の平均皮下脂肪厚(cm)、皮膚厚(1.1mm)、体表面積(cm²)および脂肪組織の密度(0.9g/cm³)から次式によって求めた。

$$\text{External fat, g} = (\text{average 14 skinfolds, cm} / 2 - 1.1\text{mm}) \times \text{body surface area, cm}^2 \times 0.900\text{g/cm}^3$$

体内深部脂肪量は、BI-TBW法によって求めた体脂肪総量(total body fat)と皮下脂肪量(kg)の差とした。

Internal fat, kg = total body fat, kg - external fat, kg

III. 結 果

表1は、被験者の年齢と身体特性とを示している。被験者の体重(42.20-69.19kg)、Body mass index

Table 1. Age and physical characteristics of 60 women subjects.

	Mean \pm SD	Range limits
Age, yr	19.2 \pm 0.36	19-20
Height, cm	158.7 \pm 3.93	150.3-167.2
Body weight, kg	52.5 \pm 6.01	42.20-69.19
Lower limb length, cm	72.7 \pm 2.69	65.0-79.4
Upper limb length, cm	70.5 \pm 2.56	65.0-75.2
Body mass index	21.0 \pm 2.83	16.6-33.3
Body surface area, cm ²	14818 \pm 834.4	13142-16706
Triceps, mm	19.1 \pm 5.15	10.0-37.0
Subscapular, mm	18.6 \pm 6.37	9.5-36.0
Triceps + Subscapular, mm	37.6 \pm 10.46	21.0-73.0

Table 2. Bioelectrical impedance (Z) in 60 women subjects.

	Mean ± SD	Range limits
Impedance, ohm	601 ± 17.3	559–648
Height ² /Impedance	41.96 ± 2.441	35.84–47.76

$$(Z) = \sqrt{R^2 + X_c^2}$$

Rt arm/Rt leg electrode placement

Table 3. Comparison of percent body fat as estimated by bioelectrical impedance method and by Nagamine & Suzuki's formula.

	Impedance (I)		Skinfolds (S)		Difference (I–S)	
	Mean ± SD	Range limits	Mean ± SD	Range limits	Mean ± SD	Range limits
Percent body fat, %	35.0 ± 6.45	21.4–52.9	25.5 ± 5.96	16.2–46.2	+9.6 ± 3.51***	+2.8–+18.4

Student's t-test *** $p < 0.001$

(16.6–33.3), 皮下脂肪厚和 (21.0–73.0mm) などの計測値はかなり広い範囲に分布している。表2は、測定されたインピーダンス値と、算出された身長²/インピーダンスの平均値、および標準偏差を示している。表3は、BI-TBW法と皮下脂肪厚法によって推定された%Fatの平均値とを比較し、その差を示したものである。BI-TBW法と皮下脂肪厚法による%Fatの平均値は、それぞれ35.0 ± 6.45と25.5 ± 5.96であり、

BI-TBW法による平均値の方が9.6%有意 ($p < 0.001$) に高い値を示した。図1は、これらの2つの方法によって推定された%Fatの関係を示しており、両%Fat間には高い相関 ($r = 0.842, p < 0.001$) が認められた。図2は、皮下脂肪厚法によって推定された%Fatと両%Fatの差との関係を示している。両者間には有意な相関は認められず、平均差+1SD (13.11%) 以上の差を示すものが16.7%、平均差-1SD (6.09%) 以下の差を示すものが18.3%みられた。表4は、両%Fatと14部位の皮下脂肪厚との相関係数、および両%Fatの差と14部位の皮下脂肪厚との相関係数を示している。両%Fatとも総ての皮下脂肪厚と有意に高い相関を示したが、両%Fatの差と総ての皮下脂肪厚との相関係数は極めて低い値しか示さなかった。表5は、両%Fatの差を3群 (6.1%以下, 6.2~13.0%, 13.1%以上) に分類し、各群に属する被験者の体脂肪特性を比較したものである。総皮下脂肪厚、皮下脂肪量、および皮下脂肪率それぞれの平均値は、いずれも3群間に差が認められず、体内深部脂肪量と体内深部脂肪率では、3群間に有意な差が認められた。図3は、両%Fatの差と、体内深部脂肪量および体内深部脂肪率との関係を示したものであり、それぞれ $r = 0.586, r = 0.693$ と有意 ($p < 0.001$) な相関を示した。

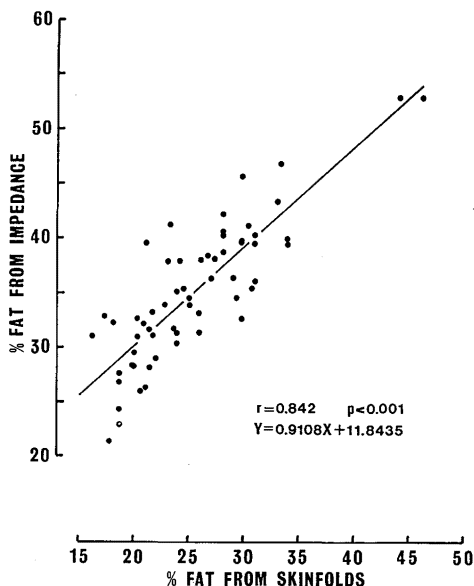


Fig. 1. Relationship between percent body fat as estimated by Nagamine & Suzuki's formula and percent body fat as estimated by bioelectrical impedance method.

IV. 考 察

現在、我国で広く採用されている皮下脂肪厚法による%Fatの推定に関しては多くの問題点を指摘することができる。この推定法は、体密度を、これと相関する皮下脂肪厚から推定し、さらに既存の推定回帰式にそれを代入して%Fatを求めるものである。体密度を

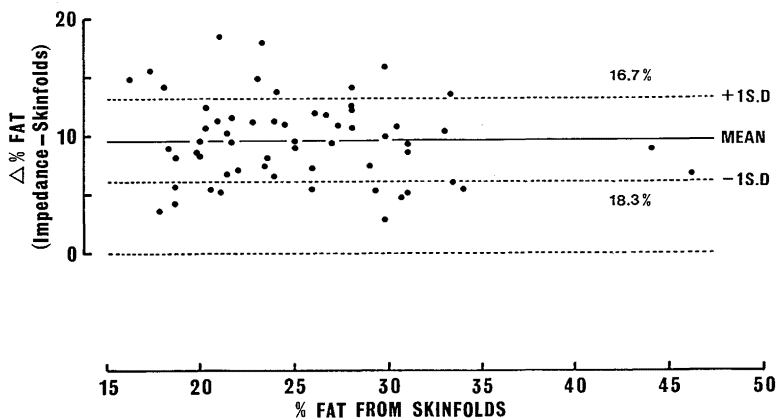


Fig. 2. Relationship between percent body fat as estimated by skinfolds method and differences of percent body fat as estimated by two methods.

Table 4. The correlation of skinfolds with percent body fat by two methods.

	Impedance (I)	Skinfolds (S)	Difference (I - S)
Percent body fat	0.842***		
Cheek	0.328**	0.287*	0.115
Chin	0.409**	0.531***	-0.150
Chest 1	0.661***	0.684***	0.051
Chest 2	0.783***	0.803***	0.074
Abdomen	0.788***	0.794***	0.099
Suprailiac	0.802***	0.839***	0.046
Triceps	0.715***	0.886***	-0.189
Subscapular	0.805***	0.924***	-0.090
Back 1	0.664***	0.751***	-0.055
Back 2	0.750***	0.760***	0.086
Knee	0.630***	0.559***	0.139
Thigh 1	0.592***	0.679***	-0.065
Thigh 2	0.580***	0.551***	0.128
Calf	0.434***	0.475***	-0.009
Total skin folds	0.870***	0.930***	0.017

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Table 5. Comparison external, internal body fat and differences of percent body fat as estimated by two methods.

	Mean-SD (~6.1) N=11	t	Mean±SD (6.2~13.0) N=39	t	Mean+SD (13.1~) N=10
Total skinfolds, mm	258.8±48.80		272.9±55.98		268.8±51.07
External fat, kg	10.7±2.61		11.6±3.28		11.7±3.03
External fat/Body weight, %	21.5±3.62		21.8±3.79		20.8±3.41
Internal fat, kg	4.4±1.91	**	7.4±2.65	**	10.0±2.52
Internal fat/Body weight, %	8.6±3.28	***	13.7±3.36	***	17.9±2.27

p<0.01, *p<0.001

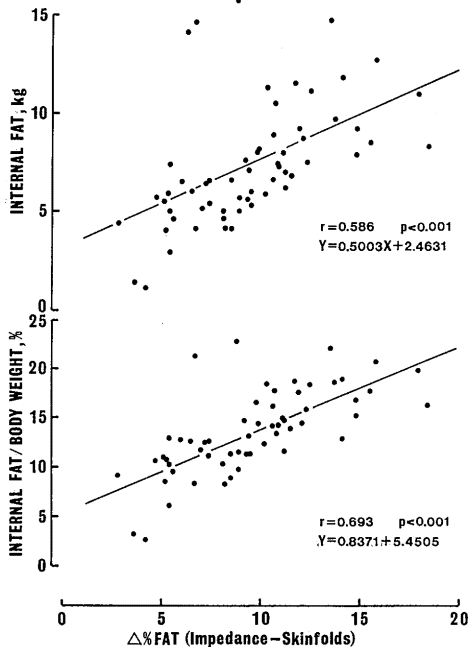


Fig. 3. Relationship between differences of percent body fat as estimated by two methods and internal fat.

測定するときの水中心体重秤量法における残気量や腸内ガス量による測定誤差の問題はともかくとして、個体における皮下脂肪分布の差異を考慮すると、tricepsとsubscapularの皮下脂肪厚和が%Fat推定の至適変量であるとするには、次のような問題点がある。すなわち、皮下脂肪厚法では、この2部位の皮下脂肪厚和が同一であるものの%Fatはすべて同一に評価され、身体活動あるいはその他の要因によって体脂肪量に変化が起ころても、この2部位に変化が認められない限り%Fatの変化は評価できないことになる。また、我国で皮下脂肪厚法として多く採用されているNagamine & Suzukiの%Fat推定式¹⁵⁾は、約25年前の日本人を母集団として作成されたものであるが、その後、生活の環境や習慣等が激変した今日でも、日本人の体組成がこの式で推定できるかどうかについての検討はなされていない。このような点を考慮すると、皮下脂肪厚法はたしかに簡便ではあるが、この方法が適用できる範囲は極めて限定されたものであると言わざるを得ない。

現在用いられている体組成の推定方法(測定法)のうち、ほとんどは1940年代に開発されたものであって、その後、測定精度や推定精度をいかに高めるかを模索

しながら現在に至っている。1960年代にはNyboer, J.¹⁶⁾やHoffer, E.C.ら¹⁷⁾の基礎的研究を応用したインピーダンス法が開発され、1980年に入って米国ではインピーダンス値と体密度(body density)による体組成の測定器や推定式が開発されている。我国でも、この米国製の測定器を使用して、体密度を推定し、これから%Fat推定式を確立しようとする研究は散見されるが、本研究のようにインピーダンス法の根本原理であるインピーダンス値と体水分量との関係に基づいて%Fatを推定した研究はみあたらない。

本研究では、著者らが独自に開発したインピーダンス測定器を使用し、重水希釈法によって定量された体水分量との関係から求めた推定式¹¹⁾によって%Fatを求め、それらと皮下脂肪厚法³⁾による%Fat値とを比較検討している。

皮下脂肪厚法とインピーダンス-体水分量(BI-TBW)法によって求められたそれぞれの%Fatは、非常に高い相関を示すが、皮下脂肪厚法で求めた値はBI-TBW法に比較して、約10%ほど%Fatを過小評価する傾向が認められる。この差は、皮下脂肪厚法で測定した%Fat値が高いものでも、低いものでも一様に認められる。すなわち、皮下脂肪厚法が%Fatを過小評価する傾向は体脂肪総量とは関係がないことになる。一方、tricepsとsubscapularから推定された皮下脂肪厚法の%Fatが皮下脂肪厚と有意に相関することは当然としても、本研究における生体電気抵抗値から求めたBI-TBW法の%Fatも総ての皮下脂肪厚と有意に相関している。すなわち、BI-TBW法で求めた値にも皮下脂肪量は十分に反映されることになる。ところが、両%Fat間には、約10%の差があるが、この差は、皮下脂肪厚との相関が認められないことから、皮下脂肪厚とは無関係であると考えられることができる。そこで、この差がどの部位に分布する脂肪量の影響を受けているかを知るため、%Fat差の小さい群と大きい群の体脂肪分布を検討した。その結果、皮下脂肪厚と同様に、その差には皮下脂肪量の影響も認められなかった。しかし、体内深部脂肪量は両%Fat間の差が大きなものほど多く、差が小さいものほど少ない傾向が認められ、この%Fat差は体内深部脂肪量と有意に相関していることが明らかになった。

本研究に採用したBI-TBW法では、測定器の問題と同時に種々の測定条件、測定誤差等について、今後検討されなければならない問題も多い。しかし、従来から多く採用されている皮下脂肪厚法が皮下脂肪の評価には対応できるとしても、体内深部脂肪への対応に

はいささか限界があることが示唆された。また、皮下脂肪厚法が BI-TBW 法よりも %Fat を約10%過小評価することの理由についても、今後さらに究明されなければならない重要な課題であろう。

近年、問題視されている肥満と代謝異常との合併症は体脂肪の分布、とくに腹腔内蓄積脂肪の影響が大きい¹⁰⁾¹⁸⁾という報告などを考慮すると、体内深部脂肪の推定に対応できるインピーダンス一体水分量法がより有用な方法であると考えられる。

V. 摘 要

本研究は、19歳と20歳の健康な女子大学生60名を対象にインピーダンス一体水分量 (BI-TBW) 法と皮下脂肪厚法で推定された %Fat を比較検討した。また、両 %Fat の差がいかなる要因に起因するかを検討するため、両 %Fat の差と体脂肪分布の関係をも検討している。

結果は次のように要約できる。

- 1) BI-TBW 法と皮下脂肪厚法による %Fat の平均値は、それぞれ 35.0 ± 6.45 と 25.5 ± 5.96 であり、その差は9.6%ほど BI-TBW 法の方が有意 ($p < 0.001$) に高い値を示した。
- 2) 両 %Fat 間には高い相関 ($r = 0.842, p < 0.001$) が認められた。
- 3) 皮下脂肪厚法による %Fat と、両 %Fat の差との間には有意な相関が認められず、13.11%以上の差を示すものが16.7%、6.09%以下の差を示すものが18.3%みられた。
- 4) 両 %Fat とともに総ての皮下脂肪厚と有意に高い相関を示したが、両 %Fat の差と、すべての皮下脂肪厚との相関係数は極めて低い値しか示さなかった。
- 5) 両 %Fat の差を、大・中・小の3群に分類してみても、総皮下脂肪厚、皮下脂肪量および皮下脂肪率の平均値は3群間に差が認められなかったが、体内深部脂肪量と体内深部脂肪率では、3群間に有意な差が認められた。
- 6) 両 %Fat の差は、体内深部脂肪の量及び率と、それぞれ $r = 0.586$, $r = 0.693$ という有意 ($p < 0.001$) な相関を示した。

参 考 文 献

- 1) Behnke, A.R., Feen, B.G. and Welham, W.C.: The specific gravity of healthy men. Body weight \div volume as an index of obesity. *J. Am. Med. Assoc.*, **118**, 495-501, 1942.
- 2) Behnke, A.R., Osserman, E.F. and Welham, W.C.: Lean body mass. Its clinical significance and estimation from excess fat and total body water determinations. *Arch. Intern. Med.*, **91**, 585-601, 1953.
- 3) Brožek, J., Grande, F., Anderson, J.T. and Keys, A.: Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140, 1963.
- 4) Garn, S.M. and Gorman, E.L.: Comparison of pinch-caliper and teleroentgenogrammetric measurements of subcutaneous fat. *Hum. Biol.*, **28**, 407-413, 1956.
- 5) Hoffer, E.C., Meador, C.K. and Simpson, D.C.: Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J. Appl. Physiol.*, **27**, 531-534, 1969.
- 6) Hoffer, E.C., Meador, C.K. and Simpson, D.C.: A relationship between whole body impedance and total body water volume. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **170**, 452-461, 1970.
- 7) Komiya, S., Komuro, T. and Tateda, A.: Determination of the total body water by D_2O dilution using urine samples and infrared spectrophotometry. *Japan J. Phys. Educ.*, **26**, 161-167, 1981.
- 8) 小宮秀一, 小室史恵, 吉川和利: 体脂肪率 (%Fat) の推定法の比較, 体力科学, **30**, 277-284, 1981.
- 9) 小宮秀一, 吉川和利: 日本人男子の体脂肪率 (%Fat) 推定式, 体力科学, **34**, 259-268, 1985.
- 10) Komiya, S. and Masuda, T.: Relationship of the waist to hip ratio with serum lipids in women. *Ann. Physiol. Anthropol.*, **8**, 239-245, 1989.
- 11) Komiya, S. and Masuda, T.: Estimation of human body composition by bioelectrical impedance measurements - Equation for estimating total body water in Japanese subjects -, *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.*, **39**, 53-59, 1990.
- 12) Lukaski, H.C., Johnson, P.E., Bólónchuk, W.W. and Lykken, G.I.: Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 810-817, 1985.
- 13) Lukaski, H.C., Bólónchuk, W.W., Hall, C.B. and Siders, W.A.: Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J. Appl. Physiol.*, **60**, 1327-1332, 1986.
- 14) Matiegka, J.: The testing of physical efficiency. *Am. J. Phys. Anthropol.*, **4**, 223-230, 1921.
- 15) Nagamine, S. and Suzuki, S.: Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Hum. Biol.*, **36**, 8-15, 1964.
- 16) Nyboer, J.: Electrical impedance plethysmography. IL: CC Thomas, Springfield. 1970.
- 17) Pace, N. and Rathbun, E.: Studies on body composition. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *J. Biol. Chem.*, **158**, 686-691, 1945.

-
- 18) Tokunaga, K., Matsuzawa, Y., Ishikawa, K. and Tarui, S.: A novel technique for the determination of body fat by computed tomography. *Int. J. Obesity*, **7**, 437-445, 1983.
- 19) Whittingham, W.C.P.D.G.V.: Measurement of tissue thickness by ultrasounds. *Aerospace Med.*, **33**, 1121-1128, 1962.
- 20) Wilmore, J.H. and Behnke, A.R.: Anthropometric estimation of body density and lean body weight in young women. *Am. J. Clin. Nutr.*, **23**, 267-274, 1970.