成人女性の身体組成評価における Bioelectrical Impedance 法およびその交差妥当性

中 塘 二 三 生* 田 中 喜 代 次** 渡 辺 完 児*
三 宅 眞 理* 前 田 如 矢***

BIOELECTRICAL IMPEDANCE METHOD FOR BODY COMPOSITION ASSESSMENT IN JAPANESE ADULT FEMALES AND ITS CROSS-VALIDITY

FUMIO NAKADOMO, KIYOJI TANAKA, KANJI WATANABE,
MARI MIYAKE and KAZUYA MAEDA

Abstract

Several prediction equations for estimating body composition of Japanese men and women have recently been developed using a linear regression model with a combination of impedance and anthropometric measurements as independent variables. The purpose of this study was to determine the cross-validity of body density (Db) estimated from bioelectrical impedance (BI) and skinfold thickness (ST) methods in comparison with underwater weighing (UW) as a criterion reference method. Percentage body fat (%BF) was derived from Db according to the equation Brozek et al. Fifty-seven healthy Japanese women, aged 19 to 57 years, volunteered to participate in the study. Impedance was measured by use of a portable four-terminal impedance plethysmograph (Selco, SIF-891). %BF derived from the BI method ($r=0.860\sim0.875$) was correlated with hydrodensitometrically determined %BF to a greater extent than %BF obtained using the ST method ($r=0.733\sim0.758$) or ultrasound method ($r=0.536\sim0.721$). Correlations of various anthropometric indices ($r=0.655\sim0.691$) with hydrodensitometrically determined %BF were even lower. It was noteworthy, however, that mean %BF derived from existing BI equations differed significantly from hydrodensitometrically determined mean %BF. Therefore, we attempted to develop a new equation that was applicable to Japanese adult women as follows: $Db=1.1613-0.1038(Wt\cdot Z)/Ht^2$, where Wt =weight in kg, Z =impedance in ohms, and Ht =height in cm. The prediction accuracy of this equation was $r=0.866$ or $SEE=0.0077$ g/ml. Cross-validation of this equation on a different sample (122 Japanese women, aged 18 to 59 years) revealed a correlation of $r=0.869$ in terms of %BF, $SEE=3.2\%$, and no significant difference between estimated %BF and the criterion. We suggest that the BI method is one of the most convenient, valid means of assessing human body composition, and that the newly developed BI equation could be useful particularly when the subjects are Japanese adult women in their late teens to fifties.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 1992, 41: 467~476)

key words : body composition, underwater weighing, bioelectrical impedance method, cross-validity

*大阪府立看護短期大学
〒558 大阪市住吉区帝塚山東2-1-41
**筑波大学体育科学系
〒305 つくば市天王台1-1-1
***大阪市立大学教養部
〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138

Osaka Prefectural College of Nursing, Tezukayama-higashi 2-1-41,
Sumiyoshi-ku, Osaka 558, Japan
Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba,
Tennohdai 1-1-1, Tsukuba 305, Japan
Department of Health Science and Physical Education, Osaka City
University, Sugimoto 3-3-138, Sumiyoshi-ku, Osaka 558, Japan

I. 研究目的

身体に交流の微電流を通電させた際の抵抗値 (以下, impedance: Z) から身体組成を推定する方法 (bioelectrical impedance method, 以下 BI 法) の有用性は, Lukaski ら¹⁸⁻²²⁾ や Segal ら^{36, 37)} をはじめ, 多くの研究者^{1, 18, 20, 34)} によって認められている. また日本においては, 国井¹⁶⁾ が米国製の機器 (800 μ A, 50 kHz) を用いて BI 法を検討し, 水中体重秤量法による体脂肪量との間に比較的高い相関 ($r=0.89$, 男性 $n=16$; $r=0.74$, 女性 $n=35$) があることを報告している. Komiya and Masuda¹⁴⁾ は, 重水 (D_2O) を用いた体水分法と本邦製の機器 (500 μ A, 50 kHz) を用いた BI 法の関係を検討し, 両者の間に高い相関 ($r=0.808$, 女性 $n=24$) があることから, 水分量や除脂肪体重を求める推定式を作成している. Nakadomo ら²⁷⁾ は, 水中体重秤量法による体密度を妥当基準として, 本邦製の機器 (800 μ A, 50 kHz) を用いた BI 法の有用性を検討した結果, 同法の有用性を認めながらも欧米人用に開発された推定式は日本人には適用できないことを指摘し, 妥当基準と高い相関を示す $Wt \cdot Z / Ht^2$ なる変数 (Wt は体重 kg, Z は impedance ohms, Ht は身長 cm を示す) から成人男女それぞれの体密度を求める推定式を提案している. しかしながら, BI 法を利用する Komiya and Masuda¹⁴⁾ および Nakadomo ら²⁷⁾ の推定式の交差妥当性 (cross-validity) については, 後者の推定式についてのみ肥満女性^{12, 41, 42)} や小学生¹³⁾ を対象として若干の検討がなされているものの, るい瘦者や一般の対象を含めた大標本からは両推定式とも詳細に検討されていない.

本研究は, 成人女性を対象として, 1) BI 法に基づく日本人用の推定式の交差妥当性, 2) BI 法の妥当性と皮脂厚法および体格指数の妥当性の比較について検討することを目的とした. なお, 本研究では, 身体組成の妥当基準を水中体重秤量法による体密度とし, 従来の研究^{11, 27, 33, 44)} と同様に, 身体を脂肪と除脂肪体重に二分する two-compartment model を仮定した.

II. 実験方法

実験は, 18歳から59歳までの健康な成人女性総数 179 名を対象として, 以下の方法で実施した.

A. BI 法による身体組成評価の交差妥当性の検討

ここでの対象は, 日常特別な運動を行っていない 19 歳から 55 歳までの健康な成人女性 57 名である. 対象の年齢および身体的特徴は, 表 1 に示した.

身体組成の測定は, 1) 水中体重秤量法による身体組成, 2) 栄研式キャリパーを用いた皮脂厚

Table 1. Age and physical characteristics of 57 Japanese females and their body composition assessed by underwater weighing.

	Mean $\pm$ SD	Range
Age, yr	25.6 $\pm$ 7.9	55~19
Height, cm	156.1 $\pm$ 5.1	166.9~141.0
Weight, kg	50.8 $\pm$ 6.3	68.0~40.5
Db, g/ml	1.0404 $\pm$ 0.0108	1.0640~1.0095
Fat, %	25.1 $\pm$ 4.6	38.5~15.3
Fat, kg	12.9 $\pm$ 3.7	25.2~7.1
FFW, kg	37.8 $\pm$ 3.6	45.9~30.3
Impedance, ohms	571 $\pm$ 45.2	682~480
Skinfold Thickness (measured by caliper)		
Triceps, mm	17.1 $\pm$ 6.3	32.0~7.5
Subscapular, mm	16.0 $\pm$ 7.4	37.5~7.0
Abdominal, mm	21.3 $\pm$ 10.8	54.0~7.0
Suprailiac, mm	18.0 $\pm$ 9.8	46.0~5.5
Skinfold Thickness (measured by ultra-sound: A-mode)		
Triceps, mm	11.8 $\pm$ 2.3	18.0~7.0
Subscapular, mm	13.6 $\pm$ 5.3	26.0~6.0
Abdominal, mm	17.1 $\pm$ 4.8	28.0~5.0
Suprailiac, mm	13.3 $\pm$ 4.8	23.0~6.0
Skinfold Thickness (measured by ultra-sound: B-mode)		
Triceps, mm	9.0 $\pm$ 2.5	17.0~5.0
Subscapular, mm	7.3 $\pm$ 2.7	22.0~4.0
Abdominal, mm	10.3 $\pm$ 5.7	33.0~4.0
Suprailiac, mm	8.3 $\pm$ 3.7	26.0~4.0

SD: standard deviation

Db: body density measured by underwater weighing

FFW: fat-free weight.

法による身体組成（以下、皮脂厚法）、3）超音波を用いた皮脂厚法による身体組成（以下、超音波法）、4）身長と体重に基づく体格指数などを全ての対象に実施した。これらの測定方法および算出式を以下に示した。

1. 水中体重秤量法による身体組成

水中体重秤量法の測定手技は、先行研究^{11, 27, 33, 44)}に準じて行った。すなわち、水中での体重は、横 1.0 m × 縦 0.8 m、深さ 1.1 m のステンレス製タンクを利用し、最大呼息の状態（約 5 秒間）においてストレンゲージ法（総合計装社製：TR 215 K 防水型）により測定した。測定回数は、一人につき 5～10 回行った。水温は、34～35℃に保った。体密度 (D_b , g/ml) は、安定しかつ最も高い水中での体重 (W_{wt} , kg) を用い、 $D_b = W_t / ((W_t - W_{wt}) / D_w - (RV + VGI))$ の式より求めた。ここで、 W_t は空気中での体重 (kg)、 D_w は水の密度 (g/ml)、 RV は閉鎖回路法を利用したヘリウム希釈法（フクダ産業社製 FRC Computer COMF-100）による残気量 (l) である。腸内ガス (VGI) は、0.15 l 一定^{25, 27, 41)}とした。体脂肪率は、Brozek ら²⁾の式より算出した。

2. 皮脂厚法による身体組成

皮脂厚法による皮脂厚 (mm) は、栄研式キャリパーを用いて、a) 上腕背部、b) 肩甲骨下部、c) 臍横部および d) 腸骨稜上部の部位を測定した。これらの測定部位は、右側とした。皮脂厚法による体脂肪率は、以下の式から体密度 (D_b , g/ml) を求め、同値を Brozek ら²⁾の式に代入することにより算出した。

$$1) D_b = 1.0935 - 0.000297 \\ (100(a + b + c)BSA / W_t) \\ \dots\dots\dots \text{長嶺}(1)^{24)}$$

$$BSA = 0.008883(W_t^{0.444})(H_t^{0.663})$$

BSA は体表面積 (m^2)、 W_t は体重 (kg)、 H_t は身長 (cm) を示す³⁾。

$$2) D_b = 1.0897 - 0.00133(a + b) \\ \dots\dots\dots \text{Nagamine and Suzuki}^{23)}$$

$$3) D_b = 1.0923 - 0.000514 \\ (100(a + b)BSA / W_t) \\ \dots\dots\dots \text{長嶺}(2)^{24)}$$

3. 超音波法による身体組成

超音波による皮脂厚 (mm) は、A モード法 (Selco 社製 Fat Thickness Meter AFT-101, 5 mHz) および B モード法 (Toshiba 社製 SAL-38 B, 7.5 mHz) に基づく超音波計を用いて、a) 上腕背部、b) 肩甲骨下部、c) 臍横部および d) 腸骨稜上部の部位を測定した。これらの測定部位は、右側とした。体脂肪率は、以下の式より体密度 (D_b , g/ml) を求め、同値を Brozek ら²⁾の式に代入することにより算出した。ただし、先行研究に準じて小川ら³²⁾および石田ら⁷⁾の式には B モード法による皮脂厚、中塘ら²⁸⁾の式には A モードによる値を用いた。

$$1) D_b = 1.0811 - 0.00178(a + b) \\ \dots\dots\dots \text{小川ら}^{32)}$$

$$2) D_b = 1.0919 - 0.0044 b \\ \dots\dots\dots \text{石田ら}^{7)}$$

$$3) \%Fat = 0.216 KI + 0.260(a + d) - 3.56 \\ \dots\dots\dots \text{中塘ら}^{28)}$$

$$KI = (W_t / ((H_t - 100)0.9))100$$

W_t は体重 (kg)、 H_t は身長 (cm) を示す。

4. BI 法による身体組成

Impedance (Z , ohms) は、4 極法による plethysmograph (Selco 社製 SIF-891: 800 μA , 50 kHz)、および中塘ら^{27, 31)}が BI 法用に応用した心電図用電極（日本光電社製 ASSY）を用いて測定した。各対象には、測定前少なくとも 2 時間にわたり摂食・摂水や運動を禁止した条件下において、簡易ベッド上に仰臥位で両腋窩を開きかつ開脚した状態で安静を保持させた。特に肥満者の場合には、両腋窩および大腿部にタオルを入れた状態とした。電極は、検出電極を利き手の尺骨茎状突起と橈骨茎状突起間の手背中央部および利き手と同側の頸骨内果と腓骨外果間の足背中央部に、また補助電極を各検出電極より指先側に 3 cm 離して装着した²⁷⁾。これらの電極は、装着部位をアルコールにて十分に清拭し、続いて心電図用電極クリームを塗布した後に装着した²⁸⁾。本研究で用いた電極は、中塘ら²⁵⁾がこれまでに報告した電極やその他の電極 (0.8～4.9%) に比べて、繰り返し測定し

た場合のバラツキが極めて小さい (0.2%) という特長がある^{30,31)}. BI 法による身体組成は, 以下の推定式より算出した. 体脂肪率の算出には, Brozek ら²⁾の式を用いた.

$$1) Db = 1.1113 - 0.0556(Wt \cdot Z) / Ht^2$$

.....Segal ら³⁶⁾

Db は体密度 (g/ml), Wt は体重 (kg),
Z は impedance (ohms), Ht は身長
(cm)を示す.

$$2) FFW = 4.917 + 0.821(Ht^2 / Z)$$

.....Lukaski ら²⁰⁾

FFW は, 除脂肪体重 (kg)を示す.

$$3) FFW = 0.7220(Ht^2 / Z) + 3.4435$$

.....Komiya and Masuda¹⁴⁾

$$4) Db = 1.1628 - 0.1067(Wt \cdot Z) / Ht^2$$

.....Nakadomo ら²⁷⁾

5. 体格指数

体格指数は, 以下の 4 種を採用した. ただし, Wt は体重 (kg), Ht は身長 (cm)を示す.

$$1) \text{ローレル指数} : (Wt / Ht^3) 10^7$$

$$2) \text{桂指数} : (Wt / ((Ht - 100) 0.9)) 10^2$$

$$3) \text{ボンデラル指数} : (Wt / Ht) 1/3 10^3$$

$$4) \text{カウプ指数 (BMI)} : (Wt / Ht^2) 10^4$$

B. 本研究において新たに提示した推定式の交差妥当性の検討

ここでは, 本研究において新たに提示した成人女性用推定式の交差妥当性について, 前述の対象とは異なる対象から検討を加えた. 対象は, 18歳

から59歳までの健康な成人女性 122 名である. 対象の年齢と水中体重秤量法による身体組成および impedance は, 表 2 に示した. 水中体重秤量法および BI 法による身体組成は, 前述と同様の方法で測定した.

C. データ処理

データの統計処理としては, Pearson の相関係数の算出, 平均値の差の検定 (対応のある t 検定), 相関係数を Z 変換することによる相関の差の検定を行った. 平均値の差の検定は, 水中体重秤量法による値と他法での値を比較する場合に用いた. 相関の差の検定は, 水中体重秤量法と BI 法の相関係数に対して, 他法の相関係数を比較する目的で利用した. また, 推定の標準誤差 ($SEE = Y_{SD} (1 - r^2)^{0.5}$), 変動係数 ($CV(\%) = (SD / \text{Mean}) 100$) などを算出した. 有意水準は, 1%とした.

III. 結 果

表 3 は, 水中体重秤量法, 皮脂厚法, 超音波法および BI 法による体脂肪率や体格指数の平均値, 標準偏差, 変動係数, 最大値, 最小値を示したものである. さらに, 表 3 には水中体重秤量法を用いた体脂肪率と各測定法による値の平均偏差と相関, 推定の標準誤差も含めた. BI 法による体脂肪率は, 水中体重秤量法による体脂肪率に対して, 日本成人女性を対象として開発された推定式のみならず欧米人用に開発された推定式を利用した場合にも, 皮脂厚法の相関 ($r = 0.504 \sim 0.758$), 超音波法の相関 ($r = 0.536 \sim 0.721$) および体格指数の相関 ($r = 0.655 \sim 0.691$) に比べて, 高い相関 ($r = 0.860 \sim 0.875$) を示した. 特に BI 法での相関は, 超音波法による体脂肪率および体格指数における両相関に比べて, 有意に高い値を示した. BI 法による体脂肪率を絶対値からみた場合, 欧米人を対象とした推定式では有意に過小, Komiya and Masuda¹⁴⁾ および Nakadomo ら²⁷⁾ の推定式では, 有意に過大評価されることが認められた. 水中体重秤量法による身体組成 (Y) と Nakadomo ら²⁷⁾ の推定式を用いた身体組成 (X) の関係は, 図 1 (左図: 体脂肪率, 右図: 除脂肪体重) に示した. 著者らは, 日本成人女性を対象として開発され

Table 2. Age and physical characteristics of 122 Japanese females used for study of cross-validation.

	Mean $\pm$ SD	Range
Age, yr	27.8 $\pm$ 11.0	59~18
Height, cm	156.6 $\pm$ 5.8	169.4~139.4
Weight, kg	51.1 $\pm$ 7.9	84.5~36.5
Db, g/ml	1.0424 $\pm$ 0.0153	1.0859~0.9979
Fat, %	24.3 $\pm$ 6.5	43.8~6.6
Fat, kg	12.8 $\pm$ 5.3	37.0~2.9
FFW, kg	38.3 $\pm$ 4.3	51.0~27.6
Impedance, ohms	563.1 $\pm$ 56.2	706~408

Abbreviations are shown in Table 1.

Table 3. Percent body fat determined by underwater weighing, bioelectrical impedance method, and skinfold thickness method and anthropometric indices.

	Mean±SD	CV	Range	Diff	r	SEE
Underwater Weighing	25.1±4.6	18.3	38.5~15.3			
Bioelectrical Impedance Method						
Segal et al. ³⁶⁾	22.9±2.4 ⁺	10.5	29.7~18.4	-2.2±2.8	0.875*	2.2
Lukaski et al. ²⁰⁾	20.2±6.8 ⁺	33.7	36.6~6.8	-4.9±3.7	0.860*	2.3
Komiya and Masuda ¹⁴⁾	31.6±5.8 ⁺	18.4	45.6~19.9	6.5±3.0	0.861*	2.3
Nakadomo et al. ²⁷⁾	26.7±4.6 ⁺	17.2	40.1~18.0	1.6±2.3	0.875*	2.2
Skinfold Thickness (measured by caliper)						
Nagamine(1) ²⁴⁾	21.9±6.9 ⁺	31.5	41.3~12.6	-3.2±4.6	0.758*	3.0
Nagamine and Suzuki ²³⁾	23.0±7.3 ⁺	31.7	44.1~13.0	-2.2±4.9	0.752*	3.0
Nagamine(2) ²⁴⁾	23.4±6.7 ⁺	28.6	40.4~13.4	-1.7±4.6	0.733*	3.1
Skinfold Thickness (measured by ultra-sound, A-modo : A ; B-modo : B)						
Ogawa et al. ³²⁾ (B)	20.2±3.5 ⁺	17.3	37.5~15.6	-4.9±4.0	0.536°	3.9
Ishida et al. ⁷⁾ (B)	20.2±4.5 ⁺	22.3	35.1~12.9	-5.0±4.1	0.593*°	3.7
Nakadomo et al. ²⁸⁾ (A)	24.8±3.6	14.5	33.8~18.3	-0.4±3.2	0.721*	3.2
Anthropometric Index						
Rohrer Index	133.7±17.0	12.7	171.4~104.3		0.665*°	3.4
Katsura Index	100.9±12.6	12.5	129.6~79.4		0.672*°	3.4
Ponderal Index	23.7±1.0	4.2	25.8~21.9		0.655*°	3.5
Kaup Index (BMI)	20.8±2.5	12.0	27.1~16.7		0.691*°	3.3

Diff : mean deviation from percent body fat determined by underwater weighing (Mean±SD)

r : zero order correlation with underwater weighing (* : $p < 0.01$)

+ : Significantly different from percent body fat determined by underwater weighing ($p < 0.01$)

° : Significantly different from correlation coefficient obtained between BI method and underwater weighing

SEE : standard error of estimate.

た推定式による体脂肪率と水中体重秤量法による値との間に有意差を示したことから、Nakadomoら²⁷⁾が報告した対象 ($n=50$) と表 1 に示した対象 ($n=57$) を合わせて、BI 法用の新たな推定式の開発を検討した。著者らは、水中体重秤量法による体密度に対して、Z のみの場合、Segalら³⁶⁾とNakadomoら²⁷⁾が用いている説明変数 ($Wt \cdot Z$)/ Ht^2 、および Lukaskiら²⁰⁾とKomiya and Masuda¹⁴⁾が採用している説明変数 (Ht^2/Z)、などの相関を比較した。その結果、他の説明変数に比べて、高い相関 ($r = -0.866$, $SEE = 0.0077$ g/ml) が認められた ($Wt \cdot Z$)/ Ht^2 を説明変数として、成人女性用の推定式を $Db = 1.1613 - 0.1038 (Wt \cdot Z)/Ht^2$

に修正した。ただし、Db は体密度 (g/ml)、Wt は体重 (kg)、Z は impedance (ohms)、Ht は身長 (cm) を示す。

図 2 の左は、水中体重秤量法による体脂肪率 (Y) と新たな推定式を用い、かつ異なる対象 (表 2) から求めた BI 法による体脂肪率 (X) の関係を示したものである。図の右には、ちなみに両法による除脂肪体重の関係を示した。新たな推定式を利用した BI 法による体脂肪率 ($25.1 \pm 6.2\%$) は、水中体重秤量法による体脂肪率との間に、高い相関 ($r = 0.869$, $SEE = 3.2\%$) が認められ、かつ平均値間には殆ど差異がなかった ($p > 0.01$)。

Fig. 1. Relationship between body composition determined by underwater weighing and body composition predicted by the equation of Nakadomo et al.²⁷⁾.

Fig. 2. Relationship between body composition determined by underwater weighing and body composition predicted from the newly developed equation in the present study.

IV. 考 察

身体組成の評価には、コンピュータ・トモグラフィ(CT)、レントゲン、中性子法、水中体重秤量法による密度法、キャリパーや超音波を用いた密度法、水分法、カリウム法、尿中クレアチニン法、などいろいろな方法が考案されている^{1,18)}。最近開発されたBI法は、日内変動^{14,15,17,31)}、日差変動

^{15,18,30,35,39,43)}および測定者間の誤差が小さく⁴⁰⁾、しかも測定のために高度な技術を必要としない簡便な評価法になりうるということが指摘されている^{1,22,34,40)}。これらのことから、BI法は、今後日本においてもこれまでに頻用されてきた皮脂厚法や体格指数に加えて、身体組成評価の簡便法として利用されるものと予想される。しかしながら、同法用

に開発された推定式は、主として欧米人を対象と

したものであり、日本成人女性の身体組成がいかなる精度にて評価できるかどうか不明な点がある。欧米人用の推定式を同じ欧米人に適用した場合の体脂肪率は、水分量もしくは水中体重秤量法による体脂肪率との間に高い相関が認められ絶対値では有意差がないとする報告^{18,20,34)}があるものの、有意に過小評価^{5,8,36)}あるいは過大評価⁶⁾されるとの報告もあり、必ずしも一致した見解が得られていない¹⁾。本邦においても Segal³⁶⁾もしくは Lukaski²⁰⁾の推定式を採用した場合、中塘²⁵⁾は成人女性、Nakadomo²⁷⁾は成人男女で有意に過小評価、国井¹⁶⁾は児童で有意に過小評価されると報告している。また、欧米人用に開発された推定式を日本人に適用した場合、体脂肪率が過小評価されることについては、測定機器⁴⁾、電極の装着部位^{17,35)}、電極の種類³¹⁾、体型・体質⁹⁾の差異など多くの要因が考えられる。これらのことから、population specificity を考慮に入れ、Komiyama and Masuda¹⁴⁾は成人女性、および Nakadomo²⁷⁾は、成人男女の推定式を発表している。

本研究は、水中体重秤量法による身体組成を妥当基準として、日本人用に開発された推定式のみならず、欧米人を対象として開発された推定式も加えて、BI法による身体組成評価を交差妥当性の面から検討することにした。その結果、欧米人用と日本人用の推定式のいずれを利用してもBI法による体脂肪率は、水中体重秤量法による体脂肪率との間に高い相関を示すことが認められた(表3)。BI法の妥当性は、これまでに同法について報告されている妥当性^{8,14,20,27,36)}と大差はなく、特に超音波を利用した皮脂厚法による体脂肪率および体格指数の妥当性に比べて有意に高いことが認められた(表3)。日本人用に開発された Nakadomo²⁷⁾の推定式の交差妥当性については、Tanaka^{41,42)}および金^{12,13)}が検討している。Tanaka^{41,42)}は、水中体重秤量法に基づく体脂肪率が30%以上の肥満の成人女性について交差妥当性を検討した結果、水中体重秤量法による体脂肪率とBI法による体脂肪率との間に高い相関($r=0.829$, $r=0.803$)がみられたことを報告している。金^{12,13)}は、BI法による体密度と水中体重秤量法に

よる体密度の間に、男子小学生($r=0.823$)、女子小学生($r=0.631$)および肥満成人女性($r=0.672$)のいずれも比較的高い相関を示すことを報告している。これらの報告^{12,13,41,42)}および本研究結果は、BI法が妥当性に優れた身体組成評価法であることを再確認する成績といえよう。しかしながら、BI法による体脂肪率を絶対値から観察した場合、Komiyama and Masuda¹⁴⁾および Nakadomo²⁷⁾の推定式による体脂肪率は、水中体重秤量法による基準値との間に有意差を示した。なかでも Nakadomo²⁷⁾の推定式による体脂肪率は、他のBI法による推定値に比べて水中体重秤量法による体脂肪率に近似しているものの、1.6%有意に過大評価(除脂肪体重に換算した場合、約0.8 kgの過小評価)されることが明らかとなった(表3, 図1)。このような不一致の程度は、同測定法に付随する個人内変動(約1%)¹⁾の範囲内と考えられるものの、その要因について今後さらに検討すべき課題である。

著者らは、より精度の高い推定式の開発が必要と考え、Nakadomo²⁷⁾が報告した対象と交差妥当性を検討した本研究の対象を合わせて、新たな推定式の開発について検討した。その結果、これまでの研究^{25,27)}と同様に、水中体重秤量法による体密度と最も高い相関を示した $Wt \cdot Z / Ht^2$ なる説明変数を利用して、BI法から成人女性用の体密度推定式を $Db = 1.1613 - 0.1038 (Wt \cdot Z) / Ht^2$ に修正した。体密度評価用の推定式とした理由は、既報^{25,27)}でも述べているごとく、体密度から体脂肪率を算出する場合に、例えば Brozek²⁾や Siri³⁸⁾の推定式の中から、研究者の目的によってその選択肢が増えることから、利用に汎用性があると考えたからである。さらに本研究では、新たに提示した推定式による身体組成の交差妥当性を、異なる対象(表2)について検討を加えた。新たな推定式を利用したBI法による身体組成は、図2に示したごとく、妥当基準との間に高い相関を示し、かつ平均値に殆ど差のないことが明らかとなった。

以上の成績から、BI法による身体組成評価は、これまでの報告と同様に、妥当性に優れ、特に大

きな標本を対象とする場合に有用であることが示唆された。また、同法から日本成人女性の身体組成を評価する場合には、本研究で提示した推定式 $Db = 1.1613 - 0.1038 (Wt \cdot Z) / Ht^2$ の利用が推奨される。

(受付 平成4年2月14日)

文 献

- 1) Baumgartner, R. N., Chumlea, Wm. C. and Roche, A. F. (1990) : Bioelectrical impedance for body composition. *Exercise and Sport Sciences Reviews* Vol. **18**, (Ed.) Pandolf, K. B. and Holloszy, J. O., ACSM, pp.193-224.
- 2) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T. and Keys, A. (1963) : Densitometric analysis of body composition : revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140.
- 3) 藤本薫, 渡辺孟, 坂本淳, 湯川幸一, 森本和枝(1968) : 日本人の体表面積に関する研究, 第18編 三期にまとめた算出式. *日衛誌*, **23**, 443-450.
- 4) Graves, J. E., Pollock, M. L., Colvin, A. B., Van Loan, M. and Lohman, T. G. (1989) : Comparison of different bioelectrical impedance analyzers in the prediction of body composition. *Am. J. Hum. Biol.*, **1**, 603-611.
- 5) Gray, D. S., Bray, G. A., Gemayel, N. and Kaplan, K. (1989) : Effects of obesity on bioelectrical impedance. *Am. J. Clin. Nutr.*, **50**, 255-260.
- 6) Hodgdon, J. A. and Fitzgerald, P. I. (1987) : Validity of impedance predictions at various levels of fatness. *Hum. Biol.*, **59**, 281-298.
- 7) 石田良恵, 角田直也, 金久博昭, 近藤正勝, 福永哲夫(1985) : 超音波を用いた体脂肪率の推定. 第6回日本肥満学会記録, 68-70.
- 8) Jackson, A. S., Pollock, M. L., Graves, J. E. and Mahar, M. T. (1988) : Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *J. Appl. Physiol.*, **64**, 529-534.
- 9) Katch, F. I., Keller, B. and Solomon, R. (1986) : Validity of BIA for estimating body fat in cardiac and pulmonary patients, and black and white men and women matched for age and body fat. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18**, S17.
- 10) Keller, B. and Katch, F. I. (1986) : Validity of BIA to predict body fat in underfat, normal, and overfat males and females, and comparison to sex-specific fatfold equations. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18**, S17.
- 11) Keys, A. and Brozek, J. (1953) : Body fat in adult men. *Physiol. Rev.*, **33**, 245-325.
- 12) 金憲経, 松浦義行, 田中喜代次, 朴兌渉, 中塘二三生(1990) : インピーダンス法を利用した肥満成人女性の身体組成の評価. *教育医学*, **36**, 212-217.
- 13) 金憲経, 田中喜代次, 中塘二三生, 渡辺完児(1991) : 小学生の身体組成評価法としての皮下脂肪厚法とインピーダンス法の妥当性. *いばらき体育・スポーツ科学*, **6**, 23-29.
- 14) Komiya, S. and Masuda, T. (1990) : 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.
- 15) Kushner, R. F. and Schoeller, D. A. (1986) : Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am. J. Clin. Nutr.*, **44**, 417-424.
- 16) 国井実, 鈴木陽二(1988) : インピーダンス法による児童の身体組成の測定. *体力科学*, **37**, 685.
- 17) 国井実(1989) : インピーダンス法による身体組成の測定. *保健の科学*, **31**, 448-452.
- 18) Lukaski, H. C. (1987) : Methods for the assessment of human body composition : traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.*, **46**, 537-556.
- 19) Lukaski, H. C. and Bolonchuk, W. W. (1986) : Validation of the bioelectrical impedance (BI) method to assess body composition in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18**, S16.
- 20) Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., Hall, C. B. and Siders, W. A. (1986) : Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J. Appl. Physiol.*, **60**, 1327-1332.
- 21) Lukaski, H. C. and Johnson, P. E. (1985) : A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer dose of D_2O and infrared absorption of biological fluids. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 363-370.
- 22) Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolonchuk, W. W.

- and Lykken, G. I. (1985) : Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 810-817.
- 23) Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964) : Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Hum. Biol.*, **36**, 8-15.
- 24) 長嶺晋吉(1979) : スポーツとエネルギー・運動, 長峰晋吉(編), 初版, 第9章 肥満と体重減量法. 大修館, 東京, pp.259-283.
- 25) 中塘二三生, 田中喜代次, 羽間鋭雄, 前田如矢 (1990) : Bioelectrical impedance 法による日本女性の身体組成評価. *体力科学*, **39**, 164-172.
- 26) 中塘二三生, 田中喜代次, 羽間鋭雄, 前田如矢 (1990) : Bioelectrical impedance 法による体組成評価における電極装着条件の影響. *Ann. Physiol. Anthropol.*, **9**, 109-114.
- 27) Nakadomo, F., Tanaka, K., Hazama, T. and Maeda, K. (1990) : Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Jpn. J. Appl. Physiol.*, **20**, 321-330.
- 28) 中塘二三生, 田中喜代次, 中川敬, 羽間鋭雄, 金炫秀, 村上功, 沢口昌弘, 前田如矢(1990) : 超音波皮脂厚計(Aモード)による体組成の評価. 大阪府立看護短期大学紀要, **12**, 129-133.
- 29) 中塘二三生, 田中喜代次, 渡辺一志, 渡辺完児, 前田如矢 (1991) : Bioelectrical impedance analysis による身体組成の評価 : 測定肢の違いによる影響. *体力科学*, **40**, 93-101.
- 30) 中塘二三生, 田中喜代次, 渡辺完児, 前田如矢 (1991) : Bioelectrical impedance 法による身体組成値の再現性と個人内変動. *臨床スポーツ医学*, **8**, 57-63.
- 31) 中塘二三生, 田中喜代次, 横山高彬, 前田如矢 (1990) : 電極の差異が bioelectrical impedance 値に及ぼす影響. *Ann. Physiol. Anthropol.*, **9**, 41-45.
- 32) 小川新吉, 斉藤晋能, 増田幹, 服部正明, 渡辺富貴子, 石山育朗(1984) : 超音波による皮脂厚の計測と身体組成に関する研究. 第5回日本肥満学会記録, 192-193.
- 33) Rathbun, E. N. and Pace, N. (1945) : Studies on body composition. I. The determination of total body fat by means of the body specific gravity. *J. Biol. Chem.*, **158**, 667-676.
- 34) Rinke, L. W. J. (1986) : Electrical impedance : a new technique to assess human body composition. *Milit. Med.*, **151**, 338-341.
- 35) Schell, B. and Gross, R. (1987) : The reliability of bioelectrical impedance measurements in the assessment of body composition in healthy adults. *Nutr. Rep. Int.*, **36**, 449-459.
- 36) Segal, K. R., Gutin, B., Presta, E., Wang, J. and Van Itallie, T. B. (1985) : Estimation of human body composition by electrical impedance method : a comparative study. *J. Appl. Physiol.*, **58**, 1565-1571.
- 37) Segal, K. R., Van Loan, M., Fitzgerald, P. I., Hodgdon, J. A. and Van Itallie, T. B. (1988) : Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis : a four-site cross-validation study. *Am. J. Clin. Nutr.*, **47**, 7-14.
- 38) Siri, W. E. (1956) : Body composition from fluid spaces and density. *Berkely, Calif. : Donner Lab. Med. Physics, Univ. of Calif. Rept.*, 19 Mach.
- 39) Siu, M-L., Elsen, R., Mazaregos, M., Solomons, N. W. and Pineda, O. (1986) : Evaluation through sequential determination of the stability of bioelectrical impedance measurements for body composition analysis. (In) *In vivo body composition studies*. (Ed.) Ellis, K. J., Yasumura, S. and Morgan, W. D., The Institute of Physical Sciences in Medicine, Publication Department, New York, pp.189-194.
- 40) 田中喜代次, 中塘二三生, 羽間鋭雄, 前田如矢 (1990) : 身体組成評価におけるインピーダンス法の妥当性と客観性の検討. *臨床スポーツ医学*, **7**, 939-945.
- 41) Tanaka, K., Nakadomo, F., Hazama, T., Maeda, K. and Matsuura, Y. (1991) : Cross-validation of prediction equations for body composition in obese women. *Bull. Health & Sport Sciences, Univ. of Tsukuba*, **14**, 223-231.
- 42) Tanaka, K., Nakadomo, F., Watanabe, K., Inagaki, A., Kim, H. K. and Matsuura, Y. (1991) : Assessment of body composition by bioelectrical impedance technique in Japanese obese women. *Proceedings of International Conference on Human-Environment System. Tokyo*, pp.3-7.

- 43) Van Loan, M. and Mayclin, P. (1987) : Bioelectrical impedance analysis : Is it a reliable estimator of lean body mass and total body water?. Hum. Biol., **59**, 299-309.
- 44) Wilmore, J. H. (1969) : The use of actual, predicted and constant residual volume in the assessment of the body composition by underwater weighing. Med. Sci. Sports, **1**, 87-90.