

# インピーダンス法による本邦成人の 体組成評価の妥当性に関する研究

大阪府立 看護短期大学 中 塘 二三生  
(共同研究者) 筑波大学 田 中 喜代次  
大阪市立大学 羽 間 鋭 雄  
同 金 炫 秀  
同 前 田 如 矢

## Validity of Body Composition of Japanese Adults Estimated by Bioelectrical Impedance Analysis

by

Fumio Nakadomo

*Osaka Prefectural College of Nursing*

Kiyoji Tanaka

*University of Tsukuba*

Toshio Hazama, Hyun Soo Kim, Kazuya Maeda

*Osaka City University*

### ABSTRACT

The purpose of the present investigation was to determine the validity of human body composition assessed by bioelectrical impedance analysis (BIA). The subjects were healthy Japanese adult men ( $n=40$ ) and women ( $n=40$ ). Equations from the study of Segal et al. (1985) and Lukaski et al. (1986) were utilized to estimate lean body mass and body density, respectively.

Analysis of the data indicated that percent body fat and lean body mass estimated by BIA correlated highly with those assessed by underwater weighing; i. s.,  $r=0.854 \sim 0.878$  and  $r=0.786 \sim 0.940$ , respectively. The magnitude of these correlations was higher than

that obtained between skinfold thickness measurements and underwater weighing. However, the absolute value of percent body fat estimated by BIA was 30% smaller and that of lean body mass was 8% larger as compared with densitometrically determined respective value.

We suggest that, while the correlations of body composition variables estimated by BIA with densitometrically determined variables are found considerably high even for the Japanese population, additional research needs to be done to develop population-specific equations.

## 要 旨

体組成の評価は、肥瘦の判定のみならず、健康の指標および身体活動(トレーニング)の効果を判定する重要な情報として利用されている。身体組成は、水中体重秤量法による密度法<sup>12, 22, 31)</sup>、水分法<sup>9, 11, 14, 26)</sup>、カリウム法<sup>2)</sup>など種々の方法により評価されている。しかしながらこれらの多くは、高価な装置を必要とし、かつ測定のために複雑な手順を必要とすることから、実用性や経済性に欠ける面がある。それゆえ実際には、測定部位の選択<sup>4, 20)</sup>、測定の妥当性<sup>18, 27)</sup>、客観性<sup>19)</sup>や再現性<sup>3, 30)</sup>など幾つかの問題がありながらも、キャリパーを用いた皮下脂肪厚による密度法(以下、皮脂厚法)から推定する簡便な方法が採用されている。

一方、最近では身体に微弱な電気(800 $\mu$ A)を流すことによる抵抗(以下、インピーダンス)から体組成を推定する bioelectrical impedance analysis(以下、インピーダンス法)が開発されている<sup>7, 12, 13, 15, 22, 23, 24, 25)</sup>。同法は、年齢・性に関係なく、しかも非健康者にも容易に適用できる利点を有している<sup>7, 23)</sup>。さらに同法は、短時間にかつ測定のために特別な技術を必要としない簡便性をも兼ね備えている。しかしながら同法用に開発された方程式は、米国人を対象としたものであり、体型

の異なる日本人の体組成評価にどの程度の精度で適用できるものであるか不明である。

本研究は、日本の成人男女を対象として、インピーダンス法による体組成と水中体重秤量法による体組成との比較から、前者の妥当性を検討することにした。さらに皮脂厚法による体組成評価法としての妥当性についても併せて比較検討することにした。

## 実験方法

被検者は、18歳から56歳までの健康な日本の成人男女80名である。被検者の年齢、身長、体重、水中体重秤量法による体組成、インピーダンスおよび皮脂厚の平均値 $\pm$ 標準偏差は、表1に示した。

インピーダンス法による体組成は、出力電流を800 $\mu$ A、50 kHzに規定した4極法によるインピーダンス計(Selco製SIF-881)および著者らが同法用に応用した吸着電極<sup>19)</sup>を用いて、Segal et al.<sup>25)</sup>の式およびLukaski et al.<sup>13)</sup>の式より推定した。

Segal et al.<sup>25)</sup>の式

$$\text{男性: } Db = 1.1554 - 0.0841 (Wt \times R) / Ht^2$$

$$\text{女性: } Db = 1.1113 - 0.0556 (Wt \times R) / Ht^2$$

Lukaski et al.<sup>13)</sup>の式

表1 Age and physical characteristics of Japanese males and females assessed by underwater weighing, skinfold thickness and bioelectrical impedance analysis.

	Male (n= 40)		Female (n= 40)	
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
Age, yr	35.5±9.5	18-56	34.5±10.9	18-54
Height, cm	168.1±5.2	157.9-181.6	157.8±4.4	148.1-166.0
Weight, kg	66.0±11.9	45.9-103.7	57.3±11.0	42.9-105.2
Density, g/ml	1.050±0.02	1.0118-1.0809	1.032±0.02	0.9881-1.0615
Fat, %	21.3±6.6	8.6-37.5	28.6±8.2	16.3-48.3
Fat, kg	14.7±7.2	4.6-35.2	17.0±8.2	7.8-50.8
LBM, kg	51.3±6.0	39.9-69.0	40.3±4.7	27.8-54.4
Impedance, ohms	467.9±35.8	388-542	537.5±55.7	387-653
Triceps, mm	13.0±8.7	3.0-32.0	22.1±8.6	7.5-47.5
Subscapular, mm	20.1±12.1	6.0-49.5	26.2±13.3	7.5-55.0

LBM : lean body mass

男性 :  $LBM = 5.214 + 0.827 (Ht^2/R)$

女性 :  $LBM = 4.917 + 0.821 (Ht^2/R)$

ただし、Dbは体脂肪率%，Wtは体重kg，Rはresistance ohms，Htは身長cm，LBMは除脂肪体重kgを示す。なお、体脂肪率の算出には、Brozek et al.<sup>1)</sup>の式を用いた。また、インピーダンスを測定するための電圧電極は、利手の甲部（尺骨茎状突起と橈骨茎状突起）および利手と同側の甲部（脛骨内果と腓骨外果間の脚背中央部）にそれぞれ装着した。電流電極は、電圧電極より指先側に3.0 cm離れた背部中央部に装着した。インピーダンスは、装置の特性上resistance (R)とreactance (Xc)の平方和の平方根 ( $R^2 + Xc^2$ )<sup>0.5</sup>とした。同法は、摂食および摂水とも2時間以上経過した後に、仰臥位の姿勢で両腋窩および両大腿部とも開いた状態にて測定した。

水中体重秤量法による体組成は、水中での体重から求めた体密度をBrozek et al.<sup>1)</sup>の式に代入することにより測定した。なお残気量は、ヘリウム希釈法により求めた。腸内ガスは、150 cc一定とした<sup>18,27)</sup>。

皮脂厚法による体組成は、栄研式キャリパーを用いて、右上腕背側の中央部と右肩甲骨下部の皮

脂厚からNagamine and Suzuki<sup>17)</sup>の式より体密度を求め、そして同値をBrozek et al.<sup>1)</sup>の式に代入することにより算出した。

データの統計処理には、平均値の差の検定（対応のあるt検定）を用いた。また有意水準は、0.1%とした。

## 結 果

インピーダンス法と皮脂厚法による体組成の平均値±標準偏差、それらの値と水中体重秤量法による値との相関係数、さらにはt検定の結果は、表2に示した。インピーダンス法による体脂肪率の絶対値は、Segal et al.<sup>25)</sup>の式では平均値で約28%、Lukaski et al.<sup>13)</sup>の式においては平均値で約33%いずれも水中体重秤量法による値に比べて有意に低い値を示した。また、女性の場合についても同様に有意に低い値を示した。インピーダンス法による除脂肪体重の絶対値は、水中体重秤量法による値に比べてSegal et al.<sup>25)</sup>の式およびLukaski et al.<sup>13)</sup>の式の両者とも平均値で約8%有意に高い値を示した。女性の場合においても、インピーダンス法による除脂肪体重の絶対値は、平均値で約8%有意に高い値を示した。また、皮

脂厚法による体組成は、水中体重秤量法による体組成に比べて有意な差は示さなかった。

インピーダンス法による体組成と水中体重秤量法による体組成との間には、 $r = 0.786 \sim r = 0.956$  の高い相関が認められた。また、Segal et al.<sup>25)</sup>の式での相関と Lukaski et al.<sup>13)</sup>の式での相関との間には、顕著な差は認められなかった。皮脂厚法による体組成と水中体重秤量法による体組成との相関の程度は、インピーダンス法の場合に比べて低い傾向を示した。

### 考 察

インピーダンス法は、主として米国において実用化されている新しい体組成の評価法である。Segal et al.<sup>25)</sup>および Lukaski et al.<sup>13)</sup>は、体液と電気抵抗の密接な関係 (Thomasset<sup>28,29)</sup>、除脂肪体重に含まれる水分量 (Pace and Rathbun<sup>21)</sup> および体水分量と電気抵抗の密接な関係 (Hoffer et al.<sup>9)</sup>) などを基に、体組成の評価法を検討している。その結果、インピーダンス法から推定した体組成は、水分法による体水分量および水中体重秤量法による体組成との間の相関 ( $r = 0.71 \sim r =$

0.99) が高いことが観察され、同法は妥当性を有する測定法であると報告されている<sup>6,10,12,13,14,25)</sup>。

また、インピーダンス法は、すでに述べたごとく測定のための特別な技術を必要とせず、しかも健康状態に関係なくかつ身体的に苦痛をとまなうことなく短時間に測定できる方法<sup>23)</sup>であることから、実用性、経済性および簡便性を兼ね備えた測定法である。それゆえ、インピーダンス法は、今後日本においてもこれまでの方法に加えて新たな体組成の一評価法として導入され、かつ普及するものと予想される。しかしながら、体水分量および体密度を求める方程式は、米国人を対象として作成されたものであり、同式が日本人に適用できるかどうかについてはまだ十分に検討されていない。

そこで本研究においては、すでに開発された方程式により日本成人の体組成をどの程度の精度で推定できるかどうかについて検討した。なお、インピーダンス法による体組成の評価法には、主として体水分量→除脂肪体重→体脂肪量の順に推定する方法 (Lukaski et al.<sup>13)</sup>) と、体密度→体脂肪量→除脂肪体重の順に推定する方法 (Segal et

表2 Body composition assessed by bioelectrical impedance analysis and skinfold thickness.

	Male (n=40)			Female (n=40)		
	Mean±SD	t	r	Mean±SD	t	r
BIA-1						
Fat, %	15.3±5.3	-11.404***	0.870***	23.8±3.7	-5.543***	0.856***
Fat, kg	10.6±5.8	-10.665***	0.956***	13.9±5.0	-5.190***	0.960***
LBM, kg	55.4±6.8	10.665***	0.940***	43.4±6.4	5.190***	0.819***
BIA-2						
Fat, %	14.2±11.0	-7.354***	0.878***	22.9±9.1	-7.516***	0.854***
Fat, kg	10.5±9.8	-7.053***	0.951***	13.9±8.4	-7.582***	0.951***
LBM, kg	55.5±4.8	7.053***	0.786***	43.4±4.7	7.582***	0.850***
Skinfold Thickness Method						
Fat, %	20.1±9.7	-1.362	0.824***	31.8±12.2	2.832	0.837***
Fat, kg	14.3±9.7	-0.648	0.934***	19.3±11.9	3.003	0.952***
LBM, kg	51.7±4.4	0.648	0.754	38.0±3.9	-3.003	0.401

BIA-1 : Segal et al.<sup>25)</sup> (1985)

BIA-2 : Lukaski et al.<sup>13)</sup> (1986)

al.<sup>25)</sup>の二者がある。

本研究においてこの両者から推定した体組成は、表2に示したごとく水中体重秤量法による体組成との間に $r = 0.786 \sim r = 0.956$ のかなり高い相関が認められた。しかも Segal et al.<sup>25)</sup>と Lukaski et al.<sup>13)</sup>の方法との間には、大差は認められなかった。また、これらインピーダンス法における相関は、皮脂厚法による相関より高い傾向を示した。これらの結果から、インピーダンス法による体組成の評価法は、かなり高い精度で確定できることが示唆される。しかしながら、体組成の絶対値は、水中体重秤量法による絶対値に比べて有意な差があることが認められた。

例えば、男性を対象としたインピーダンス法による体脂肪率の絶対値は、水中体重秤量法による体脂肪率の絶対値に比べて Segal et al.<sup>25)</sup>の方法で約28%、Lukaski et al.<sup>13)</sup>の方法で約33%有意に低いことが観察された。

インピーダンス法による体脂肪率の絶対値に関しては、水中体重秤量法による値に対して、米国人を対象とした場合においても過小評価 (Miles and Stevens<sup>16)</sup>) される成績、逆に過大評価 (Keller and Katch<sup>8)</sup>) される成績が報告されており、必ずしも一致した見解は得られていない。

本研究においては体脂肪率の絶対値は、過小評価されることが観察された。なお、本研究でのインピーダンスは、機器の特性上、resistanceとreactanceの合成成分であり、これまでに利用されている値とは異なる。Reactanceは、これまでに体脂肪や体水分量の推定には関与しない成分とされ<sup>13,15)</sup>、Lukaski et al.<sup>13)</sup>が新しい方程式に利用している以外はインピーダンス法に含めていない。しかし、本研究におけるインピーダンスにreactanceが含まれていないと仮定すれば、同法による体組成は、水中体重秤量法による絶対値に対して、その差はさらに大きくなる。

以上のことから、インピーダンス法は、水中体

重秤量法で求めた体組成とかなり高い相関を有することが明らかとなった。しかし体組成の評価については、日本人用の推定式の開発が必要であると示唆された。今後、被検者数を多くしてこれらのことをさらに検討する必要がある。

## ま と め

本研究は、インピーダンス法による体組成と水中体重秤量法による体組成との比較から、前者の妥当性を検討した。さらに皮脂厚法についても併せて検討した。対象は、健康な日本の成人男女80名である。結果は、以下に示したごとくである。

1) インピーダンス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 $r = 0.854 \sim r = 0.878$ の高い相関を示した。また除脂肪体重については、 $r = 0.786 \sim r = 0.940$ の高い相関であった。

2) 水中体重秤量法による体組成に対して、インピーダンス法による体組成の相関は、皮脂厚法での相関の程度より高い値であった。

3) インピーダンス法による体組成の絶対値は、水中体重秤量法による絶対値に対して、体脂肪率の場合で約30%少なく、除脂肪体重では逆に約8%多く推定される傾向が認められた。

4) 以上のことから、インピーダンス法は、水中体重秤量法による体組成とかなり高い相関を有する体組成評価法と考えられた。しかしながら同法により、日本成人の体組成を評価することについては、日本人用の推定式の開発が必要であると示唆された。

## 謝 辞

本研究は、石本記念デサントスポーツ科学振興財団の御援助により行われた。深謝致します。

## 文 献

- 1) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A.; Densitometric analysis of body composition : revision of some quantitative assumptions, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 113-140 (1963)
- 2) Forbes, G. B., Hursh, J. B.; Age and sex tends in lean body mass calculated from  $K^{40}$  measurements : with a note on the theoretical basis for the procedure, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **110**, 255-263 (1963)
- 3) Garn, S. M., Gorman, E. L.; Comparison of pinchcaliper and teleröntgenogrammetric measurements of subcutaneous fat, *Hum. Biol.*, **28**, 407-413 (1979)
- 4) Himes, J. H., Roche, A. F., Siervogel, R. M.; Compressibility of skinfolds and the measurement of subcutaneous fatness, *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 1734-1740 (1979)
- 5) Hoffer, E. C., Meador, C. K., Simpson D. C.; Correlation of whole-body impedance with total body water volume, *J. Appl. Physiol.*, **27**, 531-534 (1969)
- 6) Jackson, A. S., Pollock, M. L., Graves, J. E., Mahar, M. T.; Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition, *J. Appl. Physiol.*, **64**, 529-534 (1988)
- 7) Katch, F. I., Keller, B., Solomon, R.; 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*, **18**, S 17 (1986)
- 8) Keller, B., Katch, F. I.; 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*, **18**, S 17 (1986)
- 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) Lawlor, M. R., Crisman, R. P., Hodgdon, J. A.; Bioelectrical impedance analysis as a method to assess body composition, *Med. Sci. Sports*, **17**, 271-272 (1985)
- 11) Loeppky, J. A., Myhre, L. G., Venters, M. D., Luft, U. C.; Total body water and lean body mass estimated by ethanol dilution, *J. Appl. Physiol.*, **42**, 803-808 (1977)
- 12) Lukaski, H. C.; Methods for the assessment of human body composition : traditional and new, *Am. J. Clin. Nutr.*, **46**, 537-556 (1987)
- 13) Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., Hall, C. B., Siders, W. A.; Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition, *J. Appl. Physiol.*, **60**, 1327-1332 (1986)
- 14) Lukaski, H. C., Johnson, P. E.; A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer does of  $D_2O$  and infraed absorption of biological fluids, *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 363-370 (1985)
- 15) Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolonchuk, W. W., Lykken, G. I.; Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body, *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 810-817 (1985)
- 16) Miles, D. S., Stevans, A. G.; Body composition measured by bioelectrical impedance and hydrostatic weighing, *Med. Sci. Sports*, **17**, 272 (1985)
- 17) Nagamine, S., Suzuki, S.; Anthoropometry and body composition of Japanese young men and women, *Human Biol.*, **36**, 8-15 (1964)
- 18) 中塘二三生, 田中喜代次, 福田 隆, 渡辺一志, 角田 聡, 奥田豊子, 出村慎一, 吉村隆吉, 岡田邦夫, 脇田正道; 肥満女性の体脂肪量推定に関する研究, *教育医学*, **32**, 20-25 (1987)
- 19) 中塘二三生, 田中喜代次, 横山高彬, 前田如矢; 電極の差異が Bioelectrical Impedance に及ぼす影響, *Ann. Physiol. Anthropol.*, **9**, 41-45 (1990)
- 20) 西岡伸紀; 皮下脂肪厚の測定について—キャリパーによる測定を中心に—, *体育の科学*, **34**, 535-538 (1984)
- 21) Pace, N., Rathbun, E. N.; Studies on body composition, III. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content, *J. Biol. Chem.*, **158**, 685-691 (1945)
- 22) Rathbun, E. N., Pace, N.; Studies on body composition, I. The determination of total body fat by means of the body specific gravity, *J. Biol. Chem.*, **158**, 667-676 (1945)
- 23) Rinke, L. W. J; Electrical impedance : a new technique to assess human body composition, *Milit. Med.*, **151**, 338-341 (1986)
- 24) Ruiz, L., Colley, J. R. T., Hamilton, P. T. S.; Measurement of triceps skinfold thickness : An investigation of sources of variation, *Brit. J. Prev. Soc. Med.*, **25**, 165-167 (1971)

- 25) Segal, K. R., Gutin, B., Presta, E., Wang, J., Van Itallie, T. B.; Estimation of human body composition by electrical impedance method : a comparative study, *J. Appl. Physiol.*, **58**, 1565-1571 (1985)
- 26) Sheng, H-P., Hugging, R. A.; A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat, *Am. J. Clin. Nutr.*, **32**, 630-647 (1979)
- 27) 田中喜代次, 中塘二三生; 肥満女性における体脂肪率の推定, *体力科学*, **35**, 270-276 (1986)
- 28) Thomasset, A.; Bio-electrical properties of tissue impedance measurements, *Lyon Med.*, **207**, 107-118 (1962)
- 29) Thomasset, A.; Bio-electrical properties of tissues, *Lyon Med.*, **209**, 1325-1352 (1963)
- 30) Whittingham, P. D. G. W.; Measurement of tissue thickness by ultrasound, *Aerosp. Med.*, **33**, 1121-1128 (1962)
- 31) Wilmore, J.H.; 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 (1969)