

インピーダンス法による身体組成推定の検討

玉木 啓一 長尾 憲樹 恩田 悦守

Examination of Body Composition by Bioelectrical Impedance Analysis

Keiichi TAMAKI, Noriki NAGAO, Etsumori ONDA

The purpose of present study was to examine body composition by modified bioelectrical impedance method. Modified bioelectrical impedance method used impedance between right hand and left hand.

Fifty-four healthy female students of physical education volunteered this study. We measured impedance between right hand and right foot, between right hand and left hand. Body weight, stature, span of arms and girth of wrist were measured for calculation of body density.

In compare with reference body density, conventional method indicated higher coefficient of correlation than present method ($r=0.511$ and $r=0.444$, respectively). In compared with conventional method, modified method could not estimate body density exactly. However, estimation of body density by anthropometric data indicated higher coefficient of correlation than conventional bioelectrical impedance method. It suggests new method for estimation of body composition by anthropometric data.

In conclusion, modified bioelectrical impedance method could not indicate exact body density in compared with conventional method. However, anthropometric data may estimate body density more exactly than bioelectrical impedance method.

キーワード：身体組成、身体密度、体脂肪、Bioelectrical impedance analysis

現代人にとって肥満は、運動不足病の症状の1つとしてさまざまな成人病と深く関連している。肥満を正確に判定することは、運動不足病の予防や健康へ戻る経過の観察として重要である。肥満の判定には、単に身長と関係づけた体重を観察するだけでは不十分であり、体脂肪率を測定することが必要不可欠となる。体脂肪率の推定方法は、水中体重秤量法^{3,4,16}、皮下脂肪厚法^{9,10}、カリウム法^{2,17}、超音波法^{5,18}、近赤外線法¹⁴、ガス法¹³、Bioelectrical Impedance法 (BI法)^{6,7,8,11,12,15}などさまざまな方法が用いられている。これらの推定法を選択するとき、値の正確性が最も重要であるが、一般の人々に応用していく場合には測定が簡便に

行われることも重要である。水中体重秤量法は、歴史的にも信頼されてきた方法であるが、被験者を水中に完全に潜らせなければならず簡便な測定方法とは言い難く、被験者もそれ相当の覚悟と準備が必要となる。BI法は、簡単な形態的変数と、手足に電極を装着しての身体の電気抵抗を測定するだけの比較的簡便な推定法として近年普及している。

BI法の測定原理をまとめると以下の様になる。インピーダンス (Z) は、 $Z = (R^2 + Xc^2)^{0.5}$ で構成されている (R は抵抗成分、 Xc はリアクタンス)。また、 Z は測定物のながさ (L) に比例し、断面積 (A) に反比例する性質を持っている。

すなわち

$$Z = \rho \cdot L/A \quad (\text{ここで } \rho \text{ は体積抵抗率})$$

上記の右辺に L/L を乗ずると

$$Z = \rho \cdot L^2/LA$$

ここで LA は体積 (V) と置き換えることができるので

$$Z = \rho \cdot L^2/V$$

よって

$$V = \rho \cdot L^2/Z$$

この V が人体の電気伝導部分の体積を示すこととなり、長さのパラメータとして身長を用い、人体における ρ が一定であるとしてインピーダンス Z を測定することにより、除脂肪体重ないしは身体密度を推定する方法が BI 法の概略である。

しかしながら、人体は単純な円筒の様なかたちをしておらず、BI 法の長さのパラメータを身長で代用することの問題がないわけではない。さらに、体積抵抗率 ρ も、同じ身長体重であっても身体組成が異なるからこそ一定であるとは限らない。つまり、人体を導体として電気抵抗を測定する場合、重要なのはその導体の断面積と長さとなる。したがって、断面積の 1 番小さい腕の影響を強く受けていると考えられる。

また、足部に電極を装着することはストックキングを着用した女性の場合など、すぐその場で測定可能とは言い難い。従来 BI 法にこの影響を考

慮した形態的変数を加え、両手間の電気抵抗から体脂肪率を推定する試みは、測定を簡便にし、加えて推定値の正確性を向上させる可能性を増すものと思われる。

体脂肪率の推定法のほとんどは、何らかの方法で身体密度を求め、そこから Brozek (1963) の式等により体脂肪率を計算している。したがって、どれだけ正確に身体密度を測定できるかが体脂肪率推定の決め手となる。

本研究の目的は、水中体重秤量法を基準として、従来の BI 法に新たな形態的データを加え、測定の簡便さと体脂肪推定の正確性を向上させるために BI 法から身体密度を推定することを検討することである。

方 法

本研究の被験者は体育専攻に所属する女子短期大学生 54 名であった。彼女らの身長及び体重は、それぞれ 160.0 cm, 55.0 kg であった。また、被験者の形態的データとして身長、体重の他に指極及び手頸囲を計測した (表 1)。

身体密度の基準値を計測するために水中体重秤量法を以下のように行った。すなわち、被験者に水温 37~39℃ のアクリル製の水槽の中で、最大呼吸位で数秒間の潜水を行わせ、ストレンゲージ法

表 1 被験者の身体的特性

	(n=54)				
	身長 cm	体重 kg	指極 cm	手頸囲 (右) cm	手頸囲 (左) cm
平均値	160.0	55.0	160.3	14.9	14.8
標準偏差	5.6	5.4	6.3	0.6	0.5

(MFG-250 : Shinko Denshi社製)を用いて水中体重を計測した。数回の測定のうち、安定した最大の値を各被験者の水中体重とした。残気量は、肺機能測定装置 (CHESTAC-11B : チェスト社製)を用いてヘリウム希釈法により測定した。また、腸内ガスは、0.15リットルとした。これらのデータからアルキメデスの原理に基づき身体密度を算出した。

インピーダンス (Z) は、四極法によるインピーダンスファットメーター (SIF-891 : Selco社製)を用いた。本装置の出力電流は800 μ A、交流の周波数は50kHzであった。被験者は安静仰臥位において、右手と右足間のインピーダンス (Z_{RF}) および右手と左手間のインピーダンス (Z_{RL}) を計測した。

インピーダンスから身体密度を求める方法として、Segalら (1985) の式を日本人女性用に修正した中塘ら (1990) の式を用いて計算した。体積抵抗率 (ρ) は、身体組成と関係するパラメータと思われるので、本研究では、長さの変数として身長または指極を用い、断面積の変数として(手頸囲)²を用いて以下の式のように3種類の ρ を計算した。

長さの変数を身長にし、手足間のインピーダン

スを用いた体積抵抗率を

$$\rho_{RF} = Z_{RF} \cdot (\text{右手頸囲})^2 / \text{身長}$$

長さの変数を身長にし、左右の手間のインピーダンスを用いた体積抵抗率を

$$\rho_{RL\text{身長}} = Z_{RL} \cdot (\text{右手頸囲} + \text{左手頸囲})^2 / \text{身長}$$

長さの変数を指極にし、左右の手間のインピーダンスを用いた体積抵抗率を

$$\rho_{RL\text{指極}} = Z_{RL} \cdot (\text{右手頸囲} + \text{左手頸囲})^2 / \text{指極}$$

データの統計処理には、Pearsonの積率相関係数を用いた。

結 果

表2に本研究で測定したインピーダンス値、及び算出した ρ_{RF} 、 $\rho_{RL\text{身長}}$ 、 $\rho_{RL\text{指極}}$ の値を示した。 Z_{RF} 、 Z_{RL} の値は、それぞれ540及び593 Ω であり、 ρ_{RF} 、 $\rho_{RL\text{身長}}$ 、 $\rho_{RL\text{指極}}$ の値は、それぞれ7.48、32.56及び32.49 Ωm であった。

図1は、水中体重秤量法より求めた身体密度と手足間のインピーダンスから中塘ら¹¹⁾の式を用いて算出した身体密度との関係を示したものである。両者の間には、有意な相関 ($r=0.511$, $p<0.01$) が見られた。

表2 インピーダンス及び体積抵抗率

	(n=54)				
	Z_{RF} Ω	Z_{RL} Ω	ρ_{RF} Ωm	$\rho_{RL\text{身長}}$ Ωm	$\rho_{RL\text{指極}}$ Ωm
平均値	540	593	7.48	32.56	32.49
標準偏差	45	56	0.62	2.85	2.87

Z_{RF} : 右手-右足間のインピーダンス

Z_{RL} : 右手-左手間のインピーダンス

ρ_{RF} : Z_{RF} , 長さを身長, 断面積を(手頸囲(右))²で計算した体積抵抗率

$\rho_{RL\text{身長}}$: Z_{RL} , 長さを身長, 断面積を(手頸囲(右)+手頸囲(左))²で計算した体積抵抗率

$\rho_{RL\text{指極}}$: Z_{RL} , 長さを指極, 断面積を(手頸囲(右)+手頸囲(左))²で計算した体積抵抗率

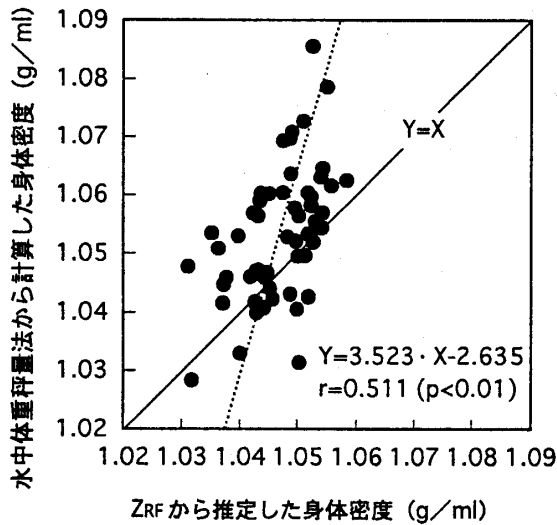


図1 水中体重秤量法から計算した身体密度と手足間のインピーダンスから推定した身体密度との関係

図2は、水中体重秤量法より求めた身体密度と左右の手間のインピーダンスから中塘ら¹¹⁾の式を用いて算出した身体密度とを図1同様に示したものである。両者の相関係数は $r=0.444$ ($p<0.01$)であった。

水中体重秤量法より求めた身体密度と算出した体積抵抗率との間には、有意な相関は見られなかった (vs ρ_{RF} : $r=-0.058$, vs ρ_{RL} 身長: $r=0.044$, vs ρ_{RL} 指極: $r=0.024$)。

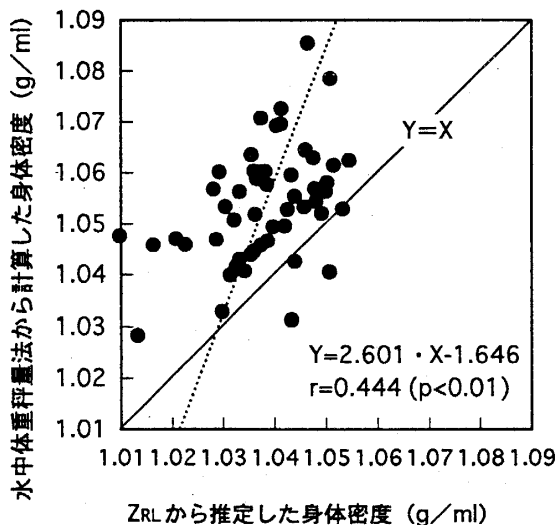


図2 水中体重秤量法から計算した身体密度と左右の手間のインピーダンスから推定した身体密度との関係

考 察

本研究で、図1に示した水中体重秤量法より求めた身体密度と手足間のインピーダンスから算出した身体密度との相関は、中塘ら(1990)が報告した値に比較して小さな値となっている。このことの原因としては、本研究での被験者が体育専攻の短期大学生であり、均質な集団であったことがあげられる。本研究での水中体重秤量法での体脂肪率が $19.7\pm 4.7\%$ であったが、先の研究では、被験者の年齢も11~55歳と広範であり、体脂肪率も $25.1\pm 6.1\%$ と分散も大きかった。このことが本研究でのBI法における身体密度のそれほど高くない相関係数の原因であったと思われる。

また、従来用いられているインピーダンスから身体密度を推定する式に、左右の手間のインピーダンス(ZRL)を代入し、水中体重秤量法との関係を調べた結果(図2)では、有意な相関は得られたものの、従来方法より低い相関係数しか得られなかった。このことは、左右の手間のインピーダンスからの身体組成の推定法は、測定上の簡便さは得られるかもしれないが、推定精度を犠牲にしてしまうことを意味している。

BI法において測定物の体積は、 $V = \rho \cdot L^2 / Z$ で示されることはすでに述べた。このVが人体の体積をそのまま表わすものではないが、人体の体積と一義的な関係を持つパラメータである。そこで、本研究では、この ρ の値を一定である($\rho=1$)と仮定し、Lに身長を、Zに手足間のインピーダンスを、上記の式に代入してVを算出した。このVで被験者の体重を除いたものは、身体密度と一義的な関係を持つパラメータである。本研究のデータで求めた(体重/V)と水中体重秤量法より求めた身体密度との間には、 $r=-0.515$ の有意な相関が見られた。この値は、従来BI法における身体密度の推定法と同程度であり(図1)、従来推定方法の正確性の程度をそのまま示すものであった。

体積抵抗率 ρ は、インピーダンスがその導体の長さ(L)に比例、断面積(A)に反比例することから、 $\rho = Z \cdot A / L$ として求められる。ここで、インピーダンスは、本研究で用いた機器で測定可

表3 水中体重秤量法による身体密度と計算による(体重/V)との相関計数

(n=54)

計算に使用したZ 計算に使用したρ	Z _{RF}	Z _{RL}
ρ _{RF}	-0.519 *	-0.410 *
ρ _{RL} 身長	-0.497 *	-0.640 *
ρ _{RL} 指極	-0.463 *	-0.613 *

* : p < 0.01

$$V = \rho \cdot (\text{身長})^2 / Z$$

能であるなら、L及びAの値が正確に測定できれば人体を一様な導体と考えたときのρを求めることができる。ここで、ρは、その物体の電気に対する性質を表わすものである。人体の電気抵抗に対する特性は、電解質の量、脂肪の量等に関係し、このことからインピーダンスの測定が身体組成の推定に役立つと考えられている。しかし、人体の断面積は、身体各部によって異なり、人間の断面積を1つで代表することは困難と思える。しかしながら、人体での電気抵抗への影響は、断面積の小さな部分(腕)に強く影響を受けるだろうことを予想した。そこで、本研究でρを計算するとき、断面積Aとして、腕の細い部分の面積を反映できる形態変数である手頸囲に着目した。手頸を円と考えたとき、断面積は直径の2乗に比例することとなる。実際の測定上の手数を考慮したとき、直径を計測する測定器よりも、一般的である巻尺で測定可能な手頸囲は実際的である。さらに、手頸の断面は、円よりはむしろ楕円であり、断面積の計算には長径及び短径が必要となる。円周は、その直径と同等のオーダーの変数であり、楕円においても長径と短径の両方から影響を受ける。従って、手頸囲の2乗はその断面積と同等のオーダーの変数であると考えられる。そこで本研究では、

手頸囲の2乗を断面積の変数としてρ_{RF}、ρ_{RL}身長及びρ_{RL}指極を算出した。ρ_{RF}は、右手頸囲の断面積で身長のある導体を想定して算出したこととなる。また、ρ_{RL}身長及びρ_{RL}指極は、左右の手頸の平均断面積で身長あるいは指極の長さの導体を想定したこととなる。特に、ρ_{RL}指極の計算上で用いる長さ(指極)は、実際の長さを直接的に反映した変数であると考えられる。しかしながら、本研究で求めたρの値と水中体重秤量法より求めた身体密度との間に、有意な相関はまったく見られなかった。

水中体重秤量法と上記のρとの間に相関関係が見られなかったこと背景には、ρは物体の電気的な性状を示すものであり、密度は重さを体積で除したもので、両者の性質の相違が大きすぎたためかもしれない。そこで、ρに本研究で計算した値(ρ_{RF}、ρ_{RL}身長、ρ_{RL}指極)及びLに身長を用い、Z_{RF}、Z_{RL}をそれぞれ用いて体積に相当するパラメータを、 $V = \rho \cdot L^2 / Z$ の式に代入して求めた。さらに、密度と同オーダーになるように、このVを体重で除した値(体重/V)と水中体重秤量法より求めた身体密度との間の相関係数を、表3の計算に用いたVは、Z_{RF}及びZ_{RL}の2ヵ所でのインピーダンスを用いて体積と同オーダーの

パラメータを求める、あるいは、 Z 及び ρ の両方の計算で互いの値が用いられることによりインピーダンスの計測を離れた体積の推定を意味するものである。表3に、水中体重秤量法からの身体密度とインピーダンスと形態的変数から推定した体重/Vとの相関係数を示した。表3に示したように、全てにおいて統計的に有意な相関が見られた。しかし、この中で示した従来のBI法よりも高い相関係数が得られたVは、式の計算過程でインピーダンス値が消えてしまう形態的変数のみで計算したVである。このことは新たな身体組成推定法の可能性を示唆するものである。

以上の結果から、BI法において両手間でのインピーダンス値からの身体組成推定の可能性が示されたが、その推定値の精度は、従来のBI法の方法を超えるものではなかった。しかし、形態的データだけからの新たな身体組成推定法の可能性が示唆された。

要 約

本研究は、水中体重秤量法を基準として、左右の手間のインピーダンス測定から Bioelectrical Impedance法 (BI法) を用いて身体組成を推定する方法を検討することが目的であった。

健康な体育専攻女子短期大学生54名が本研究に参加した。被験者の右手-右足間及び右手-左手間のインピーダンスを測定し、従来の方法ならびに手頸囲、指極の形態的変数を考慮した推定方法を計算し、身体密度の推定を検討した。

基準の身体密度と推定した身体密度の相関係数は、従来のBI法が $r=0.511$ 、左右の手間のインピーダンスからの推定が $r=0.444$ であった。両者とも統計的に有意な相関が得られたが、推定精度は従来の方法が高かった。手足及び両手間のインピーダンスを用い、形態的データと組み合わせて身体密度を推定する方法も検討したが、従来のBI法を超えるものではなかった。しかし、形態的データのみからの身体密度の推定においては、従来のBI法の精度を超える推定方法確立の可能性が示唆された。

以上の結果より、左右の手間のインピーダンス測定から Bioelectrical Impedance法 (BI法) を用

いて身体組成を推定する方法は、その精度で従来の方法を超えることはできないが、形態的データだけからの新たな身体組成推定法の可能性が示唆された。

文 献

- 1) Brozek, 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)
- 2) Forbes, G. B. : Age and sex trends 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) Garrow, J. S., Stalley, S., Diethelm, R., Hesp, R. and Halliday, D. : A New method for measuring the body density of obese adults. Br. J. Nutr., 42,173-183, (1979)
- 4) Gnaedinger, R. H., Reineke, E.P., Pearson, A. M., Van Huss, W.D., Wessel, J. A. and Montoye, H. J. : Determination of body density by air displacement, helium dilution, and underwater weighing. Ann. N. Y. Acad. Sci., 110,96-108, (1963)
- 5) 石田良恵, 角田直也, 金久博昭, 福永哲夫 : 超音波皮脂厚計の検討. 体力科学, 34,91-97, (1985)
- 6) 国井実 : インピーダンス法による身体組成の測定. 保健の科学, 31 (7), 448-452, (1989)
- 7) Lukaski, H. C. and Bolonchuk, W. W. : Validation of the bioelectrical impedance (BI) method to assess body composition in athletes. Med. Sci. Sports Exerc., 18, S16, (1986)
- 8) Lukasaki, H. C. and Bolonchuk, 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)
- 9) Nagamine, S. and Suzuki, S. : Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. Human. Biol., 36,8-15, (1964)

- 10) 長峰晋吉：スポーツとエネルギー・運動。大修館，東京，(1979)，pp. 259-283
- 11) 中塘二三生，田中喜代次，羽間鋭男，前田如矢：Bioelectrical Impedance法による日本人女性の身体組成評価。体力科学，39,164-172, (1990)
- 12) 中塘二三生，田中喜代次，渡辺一志，渡辺完児，前田如矢：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, (1991)
- 13) 中塘二三生，渡辺完児，田中喜代次：六沸化硫黄希釈法による体積および身体組成評価。日本体育学会第43回大会号A，376, (1992)
- 14) 沢井史穂，白山正人，武藤芳照，宮下充正：近赤外分光法による体脂肪測定。体力科学，39,155-163, (1990)
- 15) Segal, K. R., Gutin, B., Presta, E., Wang, J. and Van Itallie, T. B. : Estimation of human body composition by electrical impedance method : a comparative study. J. Appl. Physiol., 58,1565-1571, (1985)
- 16) Wilmore, J., H. : The use of actual predicted and constant residual volumes in the assessment of body composition by underwater weighing. Med. Sci. Sports 1,87-90, (1969)
- 17) 吉沢康雄，今堀章，上田慶子，田所美枝子：小児の全身カリウム量の年齢，身長による変化。日本小児科学会雑誌，72,109-114, (1968)
- 18) 湯浅景元，福永哲夫：Bモード超音波法による皮下脂肪厚測定の正確度。体力科学，36,31-35, (1987)