Bioelectrical Impedance Analysis による体組成評価 における電極装着条件の影響

中塘二三生¹⁾, 田中喜代次²⁾, 羽間 鋭雄³⁾, 前田 如矢³⁾

1) 大阪府立看護短期大学

2) 筑波大学

3) 大阪市立大学

Assessment of Body Composition by Bioelectrical Impedance Analysis: Effects of Skin Resistance on Impedance

Fumio NAKADOMO¹⁾, Kiyoji TANAKA²⁾, Toshio HAZAMA³⁾ and Kazuya MAEDA³⁾

1) Division of Exercise Physiology, Osaka Prefectural College of Nursing, Tezukayama, Sumiyoshi, Osaka 558, Japan

2) Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba, Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

3) Division of Exercise Physiology, Department of Health Science and Physical Education, Osaka City University, Sugimoto, Sumiyoshi, Osaka 558, Japan

Effects of skin resistance on impedance values were studied in order to propose reliable determination of body composition in human. Analysis of the data indicated that impedance values ($Z=(R^2+Xc^2)^{0.5}$) varied considerably in the following conditions: 1) 230 ± 97.8 ohms when electrodes were directly attached; 2) 490 ± 52.5 ohms when electrodes were attached immediately after use of alcohol; 3) 584 ± 44.1 ohms when electrodes were attached immediately after use of alcohol with electrode gel; and 4) 589 ± 45.0 ohms when electrodes were attached in the order of elimination of skin resistance $\rightarrow$ use of alcohol $\rightarrow$ use of electrode gel. We suggest that impedance obtained by the bioelectrical impedance analysis should be measured immediately after elimination of skin resistance at least with electrode gel.

Key words: Bioelectrical impedance analysis, Skin resistance, Human body composition

最近, 体組成の新たな一評価法として体の抵抗(以下, impedance)から, 除脂肪体重, 脂肪量や水分量などを推定する方法として, Bioelectrical Impedance Analysis (以下 BI 法)が開発されている (Segal et al.; 1985, Lukaski et al.; 1986, Lukaski; 1987). この BI 法は, 体に交流の微電流を伝導させることによる impedance (Thomasset; 1963, Hoffer et al.; 1969) から体組成を推定する方法であり, 基本的には除脂肪体重に水分が一定量 (72.3%, Pace and Rathbun; 1945) あり, 逆に脂肪組織には水分を殆ど含まないということを前提にしている. つまり, 脂肪量の多い人では, 電気の伝導性が低く, impedance は高くなる.

Lukaski らは, impedance (Ht^2/R , ただし Ht は身長 cm, R は resistance ohms) と水分量の関係を検討し, 両者の間に高い相関 ($r=0.95$) を認め, BI 法により体組成が評価できることを提唱した. Segal et al. (1985) においても, 除脂肪体重と BI 法による体脂肪率との間に高い相関 ($r=0.934$) を認め, 同法による体組成の評価法を提唱している. 本邦においては, 中塘ら (1989) が BI 法の妥当性を認め, 日本人用の体組成の推定式が報告されている.

以上のようにこれまでの報告からみると, BI 法は, 体組成の一評価法として妥当性に優れ, かつ impedance の個人内変動は 2.0% の範囲にあり (Lukaski et al.;

1985), 測定値の再現性も高い優れた測定法であるといえる。さらに, 同法は, 体に侵襲がないことから被検者に生理的・心理的負担を与えることなく安全に測定でき, かつ特別な技術を必要とすることなく短時間に測定できるという簡便性を有している (Lukaski et al.; 1985, Rinke; 1986)。したがって, BI 法は, 今後本邦においてもこれまでの方法に加えて体組成の一評価法として普及するものと予想される。しかしながら, BI 法は, 間接法であるために測定条件による影響は無視できず, impedance を安易に測定することが考えられる。

本研究は, 電極装着の条件が impedance 値および体組成の推定値にどの程度の影響をおよぼすかについて検討することにした。

実験方法

被検者は, 16 歳から 19 歳までの健康な女性 9 名である。被検者の年齢, 身長, 体重および水中体重秤量法による体組成の平均と標準偏差は, 表 1 に示した。

Impedance は, Selco 製 SIF-891 および著者ら (1990) が BI 法用に応用した心電図小児用電極 (以下, 電極) を用いて, 4 極法による 50 kHz, 800 μ A なる微電流を伝導させることにより測定した (図 1)。実験は, 摂食・摂水とも 2 時間以上経過した後に以下に示した方法にて行った。

1. 測定姿勢

測定姿勢は, 仰臥位にて腋窩および両大腿部を開いた状態とした。

2. 電極の装着部位

電極は, 利き手の甲部と利き手と同側の足甲部に装着した。電流電極と電圧電極間は, 一定 (3.0 cm) とした。

3. 電極の装着

電極は, 以下の 4 条件の順序にて装着した。

- 1) 測定部位を無処置で, 直接電極を装着する。
- 2) 約 20~30% の水分を含んだ消毒用アルコールにて測定部位を十分に清拭した直後に電極を装着する。
- 3) 測定部位をアルコールにて清拭し, さらに電極ゲルを塗布した直後に電極を装着する。
- 4) 皮膚抵抗降下剤 (米国 Aurora 製オムニブレップ) を用いた後に, アルコールで清拭→電極ゲル

Table 1. Physical characteristics of nine female subjects.

	Age yr	Height cm	Weight kg	Fat* %
Mean	17.8	157.4	50.1	26.7
SD	1.1	6.2	5.4	4.8
Max	19	167.2	60.7	34.0
Min	16	148.1	42.9	16.3

*: underwater weighing

SD: standard deviation

Max: maximum value

Min: minimum value

Fig. 1. Bioelectrical impedance analysis.

を塗布の順の直後に電極を装着する。

BI 法での体脂肪率 (%Fat) は, 著者ら (1989) の式により推定した体密度 ($Db = 1.1628 - 0.1067 (Wt (R^2 + Xc^2)^{0.5} / Ht^2)$) を Brozek et al. (1963) の式 ($\% Fat = (4.570 / Db - 4.142) 100$) に代入することにより求めた。ただし Wt は体重 (kg), R は resistance (ohms), Xc は reactance (ohms), Ht は身長 (cm) を示す。

水中体重秤量法による体脂肪率は, 水中での体重から求めた体密度を Brozek et al. の式に代入することにより推定した。ただし, 残気量は, フクダ産業製 FRC Computer を用いて, ヘリウム希釈法にて測定した。測定データの解析結果に関する統計的有意性は, 0.1% とした。

結果

図 2 は, 4 種類の条件下から測定した impedance の絶対値を示したものである。測定部位を無処置にて直接電極を装着した場合 (230 ± 97.8 ohms, 平均 $\pm$ 標準偏差, 以下同様) の impedance 値は最も低く, 次いで消毒用アルコールで同部位を十分に清拭した後に電極を

装着した場合(490 ± 52.5 ohms), アルコールで清拭し, そして電極ゲルを塗布した後に電極を装着した場合(584 ± 44.1 ohms), および皮膚抵抗降下剤, アルコールおよび電極ゲルを併用して得た値(589 ± 45.0 ohms)の順であった. 前二者の impedance 値は, 後二者に比べて有意に低い値であった. 皮膚抵抗降下剤を使用した場合は, 従来の方法に比べて平均で 6 ohms 高いを示すことが認められた. また, これら 4 種類の条件において測定した impedance 値の相関行列は, 表 2 に示した. アルコールで清拭→電極ゲルを塗布した後の値と皮膚抵抗降下剤→アルコールで清布→電極ゲルを塗布を併用して得た値との間には高い相関($r = 0.995$)が認

められたものの, 他の条件間には有意な相関はみられなかった.

図 3 は, 皮膚抵抗降下剤を使用した場合での体脂肪率と同剤の未使用での impedance 値から推定した体脂肪率の関係を示したものである. 両者の間に高い相関($r = 0.995$, $SEE = 0.4\%$)が認められ, 皮膚抵抗降下剤を使用した場合の絶対値($26.9 \pm 4.1\%$)は, 未使用の場合の値($26.4 \pm 4.1\%$)に比べて平均で 0.5%の差が認められた. また両法の値から算出した除脂肪体重においては, 皮膚抵抗降下剤を使用した場合が, 未使用の場合に比べて絶対値の平均で 0.3kg(0.8%)低い値となった.

Fig. 2. Four difference impedance values ($Z = (R^2 + Xc^2)^{0.5}$) measured by the bioelectrical impedance plethysmograph (Selco, SIF-891).

Fig. 3. Relationship of percent body fat determined by bioelectrical impedance method between two measurement conditions. Y: paste → alcohol → gel, X: alcohol → gel.

Table 2. Correlation matrix of bioelectrical impedance values measured by four different conditions.

	1)	2)	3)	4)
1) Directly	1.000	0.383	-0.151	-0.138
2) Alcohol		1.000	0.340	0.327
3) Alcohol → Gel			1.000	0.995
4) Paste → Alcohol → Gel				1.000

考 察

体組成の評価法には、密度法 (Behnke et al.; 1942, Keys and Brozek; 1953, Nagamine and Suzuki; 1945, Rathbun and Pace; 1945, Wilmore; 1969), カリウム法 (Forbes and Huesh; 1963), 体水分法 (小宮と吉川; 1985, Loepky et al.; 1977, Sheng and Hugging; 1979) など種々の方法がある。しかしながら、これらの方法の多くは高価な装置を必要とし、しかも測定のために複雑な手順や技術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 (西岡; 1984), 測定値の再現性 (Garn and Gorman; 1956, Whittingham; 1962) や妥当性 (田中と中塘; 1986) など種々の問題がありながらも、キャリパーを用いた皮脂厚による密度法から体組成を求める簡便法が頻用される現状にある。

一方、最近では、体組成の評価法として体の impedance を利用する BI 法が開発されている (Segal et al.; 1985, Lukaski et al.; 1986, Lukaski; 1987)。同法は、妥当性、経済性や簡易性を有する測定法であることが認められ、体組成の評価法として今後普及することが予想される。しかしながら、同法は皮脂厚法と同様に簡便法としての性格上、妥当性や利用するための測定条件について検討する必要がある。すなわち、BI 法は、対象に応じた推定式を用いて体組成を評価する必要があると指摘されている (Lukaski et al.; 1986, Katch et al.; 1986, 中塘ら; 1989)。さらに同法には、測定姿勢 (Schell and Gross; 1987, 中塘ら; 1989), 運動 (Schell and Gross; 1987) および皮膚温 (Caton et al.; 1988), 使用電極の差異 (中塘ら; 1990), impedance の日内変動 (小野寺; 1989) などの種々の条件が体組成推定値に影響をおよぼす特性がある。

そこで、本研究は電極を装着する際の条件差が、impedance 値および体組成の推定値にどの程度の影響をおよぼすかについて 4 種類の条件から検討することにした。その結果、impedance の絶対値は、図 2 に示したごとく、条件の差異によりかなり異なることが明かとなった。測定部位を無処置で直接電極を装着した場合と消毒用アルコールで十分清拭した後に電極を装着した場合との impedance 値では、従来から用いられている方法、すなわちアルコール→電極用ゲルを使用した後での値および皮膚抵抗降下剤とアルコールを併用しかつ電極用ゲルの順で装着して得た値に比べて

有意に低い値であった。また、アルコール→電極用ゲルの手順から得た値と皮膚抵抗降下剤→アルコール→電極用ゲルの手順から得た値との間には、高い相関 ($r = 0.995$) が認められた。しかし、他の条件で得た値は、電極用ゲルや皮膚抵抗降下剤を用いた場合との間に低い正相関がみられるにとどまり、必ずしも体の impedance 値 (resistive property) を反映していない傾向が認められた。このように、測定する条件により impedance の絶対値や相関の程度が異なる要因としては、皮膚抵抗の差および電極用ゲルの有無により出力電流や入力電圧が異なることが考えられる。すなわち、無処置で直接 impedance を測定する方法では、電極と皮膚間の伝流量が低下すること、および皮膚抵抗が高くなることにより impedance 値が相乗的に低下することが考えられる。また、アルコールで清拭した後に電極ゲルを用いないで impedance を測定する方法においては、無処置の場合よりその影響は少ないものの、電極と皮膚間の伝流量が低下する影響があるものと思われる。したがって、impedance は、皮膚抵抗降下剤やアルコールにより皮膚抵抗を可能な限り小さくし、さらに電極用ゲルを用いた直後に測定する方法が妥当であることが示唆された。なお、皮膚抵抗をどの程度にして impedance を測定すべきであるかについては、本研究では実際の皮膚抵抗値を測定していないことから、今後の研究を待たねばならない。

さらに、著者らは、皮膚抵抗降下剤を使用した場合の impedance 値は未使用の場合に比べて平均で 6 ohms 高い値を示すことを認めたことから、このような差が体組成推定値にどの程度の影響をもたらすかについても検討を加えた。その結果、皮膚抵抗降下剤を使用した場合は、未使用の場合に比べて体脂肪率が若干高く評価される傾向が認められた。しかし、その差は、絶対値の平均で 0.5% と僅かであった (図 3)。このことから、皮膚抵抗降下剤については、体組成を評価する場合にそれほど大きな影響をおよぼさないものと推察される。さらに、特殊な皮膚抵抗降下剤は、皮膚が薬剤に過敏性がある被検者のことを考慮すれば、あえて使用しなくてもよいように考えられる。ちなみに本被検者において、皮膚抵抗降下剤を使用しない従来の方法での impedance 値から推定した体脂肪率と水中体重秤量法による体脂肪率は、両者に高い相関 ($r = 0.981$) を示し、絶対値に有意差は認められなかった。

要 約

Bioelectrical Impedance Analysis (以下, BI 法) による体組成の評価法は, 簡便法として妥当性に優れた測定法である。本研究は, 電極装着部位の清拭, 特殊な皮膚抵抗降下剤使用の有無など, 装着条件の差により, impedance 値および体組成の推定値にどの程度の影響をおよぼすかについて検討した。被検者は, 16 歳から 19 歳までの健康な女性 9 名である。Impedance は, 摂食・摂水とも 2 時間以上経過した後に, 腋窩と両大腿部を開いた仰臥位の姿勢で, 4 極法による微電流 (50 kHz, 800 μ A; Selco SIF-891) を体に伝導させることにより測定した。電極は, 著者らが BI 法に応用した心電図小児用電極 (以下, 電極) を用いた。また, 電極は, 利き手の甲部と利き手と同側の足甲部の同一部位に装着した。電流電極と電圧電極間は, 一定 (3.0 cm) とした。BI 法での体脂肪率は, 著者ら (1989) の式により推定した体密度 ($Db = 1.1628 - 0.1067 (Wt (R^2 + Xc^2)^{0.5} / Ht^2)$) を Brozek et al. の式に代入することにより求めた。ただし Wt は体重 (kg), R は resistance (ohms), Xc は reactance (ohms), Ht は身長 (cm) を示す。その結果, 以下に示したような知見が得られた。

Impedance ($Z = (R^2 + Xc^2)^{0.5}$) は, 1) 測定部位に直接電極を装着して測定 (230 ± 97.8 ohms, mean $\pm$ SD), 2) アルコールで清拭した直後に測定 (490 ± 52.5 ohms), 3) アルコールで清拭した直後に電極ゲルを塗布して測定 (584 ± 44.1 ohms), 4) 皮膚抵抗降下剤 $\rightarrow$ アルコール $\rightarrow$ 電極ゲルの手順の直後に測定 (589 ± 45.0 ohms) など, 4 条件によりかなり測定値の異なることが認められた。また, アルコールで清拭した直後に電極ゲルを塗布したことによる値から推定した体脂肪率とさらに皮膚抵抗降下剤を併用した値より推定した体脂肪率は, それぞれ $26.4 \pm 4.2\%$, $26.9 \pm 4.1\%$ を示し, 両者の間に大きな差異は認められなかった。

以上のことから, BI 法から体組成を推定する場合には, 皮膚抵抗を十分に小さくし, かつ電極用ゲルを塗布した直後に impedance を測定する必要があることが示唆された。また, 皮膚抵抗を小さくする方法は, 特殊な降下剤を使用しなくても消毒用アルコールで十分であるように推察された。

文 献

- Behnke, A.R., B.G. Feen and W.C. Welham, 1942: The specific gravity of healthy men. *J. A. M. A.*, 118: 495-498.
- Brozek, J., F. Grande, J.T. Anderson and A. Keys, 1963: Desitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140.
- Caton, J.R., R.A. Mole, W.C. Adams and D.S. Heustis, 1988: Body composition analysis by bioelectrical impedance: effect of skin temperature. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20: 489-491.
- Forbes, G.B. and J.B. Hursh, 1963: 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.
- Garn, S.M. and E.L. Gorman, 1956: Comparison of pinch-caliper and teleroentgenogrammetric measurements of subcutaneous fat. *Hum. Biol.*, 28: 407-413.
- Hoffer, E.C., C.K. Meador and D.C. Simpson, 1969: Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J. Appl. Physiol.*, 27: 531-534.
- Katch, F.I., B. Keller and R. Solomon, 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.
- Keys, A. and J. Brozek, 1953: Body fat in adult man. *Physiol. Rev.*, 33: 245-345.
- 小宮秀一, 吉川和利, 1985: 日本人男子の体脂肪率 (% Fat) 推定式. *体力科学*, 34: 259-268.
- Loeppky, J.A., L.G. Myhre, M.D. Venters and U.C. Luft, 1977: Total body water and lean body mass estimated by ethanol dilution. *J. Appl. Physiol.* 42: 803-808.
- Lukaski, H.C., 1987: Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.*, 46: 537-556.
- Lukaski, H.C., W.W. Bolonchuk, C.B. Hall and W. A. Siders, 1986: Validation of tetrapolar

- bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J. Appl. Physiol.*, 60: 1327-1332.
- Lukaski, H.C., P.E. Johnson, W.W. Bolonchuk and G.I. Lykken, 1985: Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.*, 41: 810-817.
- Nagamine, S. and S. Suzuki, 1964: Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Hum. Biol.*, 36: 8-15.
- 中塘二三生, 田中喜代次, 羽間鋭雄, 前田如矢, 1989: Bioelectrical Impedance Analysis による本邦成人の身体組成の評価. *日本臨床生理学会雑誌*, 19: 103.
- 中塘二三生, 田中喜代次, 羽間鋭雄, 前田如矢, 1990: 姿勢の違いが Bioelectrical Impedance Analysis による体組成推定値におよぼす影響. *臨床スポーツ医学*, 7: 390-392.
- 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.
- 西岡伸紀, 1984: 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.
- 小野寺孝一, 1989: Bioelectrical impedance 法による身体組成の測定における問題点. *体力科学*, 38: 519.
- Pace, N. and E.N. Rathbun, 1945: Studies on body composition. III. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *J. Biol. Chem.*, 158: 685-691.
- Rathbun, E.N. and N. Pace, 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.
- Rinke, L.W.J., 1986: Electrical impedance: a new technique to assess human body composition. *Milit. Med.*, 151: 338-341.
- Schell, B. and R. Gross, 1987: The reliability of bioelectrical impedance measurements in the assessment of body composition in healthy adults. *Nutr. Rep. Int.*, 36: 449-459.
- Segal, K.R., B. Gutin, E. Presta, J. Wang and T.B. Van Itallie, 1985: Estimation of human body composition by electrical impedance method: a comparative study. *J. Appl. Physiol.*, 58: 1565-1571.
- Sheng, H-P. and R.A. Hugging, 1979: A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat. *Am. J. Clin. Nutr.*, 32: 630-647.
- 田中喜代次, 中塘二三生, 1986: 肥満女性における体脂肪率の推定. *体力科学*, 35: 270-276.
- Thomasset, A., 1963: Bio-electrical properties of tissues. *Lyon Med.*, 209: 1325-1352.
- Whittingham, P.D.G.W., 1962: Measurement of tissue thickness by ultrasound. *Aerosp. Med.*, 33: 1121-1128.
- 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.

(1990年1月8日受付)