

< 総説 > 生体電気インピーダンス (B I) 法 : 測定原理とフィールドへの応用 : Q & A による解説

著者	田中 喜代次, 金 憲経, 渡辺 完児
雑誌名	体育科学系紀要
巻	23
ページ	13-19
発行年	2000-03
その他のタイトル	<Reviews>Bioelectrical Impedance Method : Principles of Measurement and Practical Application
URL	http://hdl.handle.net/2241/11419

生体電気インピーダンス(BI)法 —測定原理とフィールドへの応用：Q&Aによる解説—

田中 喜代次・金 憲 経*・渡 辺 完 児**・中 塘 二三生***

Bioelectrical Impedance Method —Principles of Measurement and Practical Application—

TANAKA Kiyoji, KIM Hunkyung*, WATANABE Kanji**
and NAKADOMO Fumio***

I. はじめに

生体内の水分量や体脂肪量などの身体組成(体組成ともいう)を測定する技術開発は古くから進められてきており、その一つに生体電気インピーダンス(以下、BI)法がある。BI法は、自治体で市民を対象として実施される健康体力の測定、企業内で実施される健康診断、さらには大学やその他の研究機関などで教育・研究用に広く採用されており、個人の身体組成の情報測定がその共通目的である。このように、BI法の普及は目覚ましいものがあるが、その一方で間接法による部分測定であるがゆえの問題として、個人によっては測定誤差が小さくなく、さらに残念なことにはその測定値を適切に解釈されるに至っていない点が指摘できる。

BI計の種類は増加の一途にあり、数多くの単周波数BI法に加えて多周波数BI法が国内外で開発されてきており、それらを利用する医師、保健婦、栄養士、健康運動指導士、研究者、学生は非常に多くなっている。筆者らは、BI法の測定限界と長所を明らかにし、研究目的と教育目的の両面で広く安心して利用してもらえるよう、正しい知識指導に努めてきた(田中&中塘 1994, 田中&中塘 1997, 田中&金 1998)。しかし、実際現場ではそれぞれの特徴や測定原理についての理解が未だに十分でなく、時には単純な誤解が結果の解

釈に混乱を招いている。そこで、「BI法を考える会」(代表：中塘二三生)は一般の利用者のみならず、健康の啓発活動に携わっている専門家からも聞かれるさまざまな疑問点について、できるかぎり平易に伝えることを意図してこの解説書Q&Aを作成することにした。

II. 解 説

Q1：生体電気インピーダンス(BI)法の原理についてわかりやすく解説してほしい。

A：実用化されているBI法は、身体組成を「脂肪組織」と「除脂肪組織」に二分できることを前提としている。これら2つの組織を電気伝導性の観点から見ると、水分を多く含む除脂肪組織は電気伝導性に優れることから電気抵抗が小さく電気伝導体と考えられ、逆に水分をほとんど含まない脂肪組織は電気伝導性に劣ることから電気抵抗が大きく非伝導体と考えることができる。よって、BI法はこの電気伝導性の違いを利用して、生体に微弱な交流電流を通电して計測した生体電気インピーダンス(電気抵抗：電気伝導性の逆数)から身体組成を推定するという原理に基づいている。生体組織はそれぞれ固有の電気抵抗率(体積抵抗率)をもっており、電流は水分や電解質を多く含む血液および筋肉組織(約72~73%)などで流れやすく、水分や電解質をほとんど含まない脂肪組織

* 東京都老人総合研究所疫学部門

** 大阪府立看護大学医療短期大学部

*** 大阪府立看護大学看護学部

では流れにくいことから、インピーダンス情報は体水分量や除脂肪組織量を反映すると考えられている。BI法はこの原理を利用して生体の身体組成を測定する方法で、実際には身体に $800\mu\text{A}$ (0.8mA) や $500\mu\text{A}$ の極微弱な交流の電流 (例えば周波数 50kHz に固定した電気信号) を通電させる機器が今まで広く使われている。これを単周波数BI法という。最近では、 1kHz から 1MHz までの多周波数を用いる多周波数方式のBI計 (多周波数BI法) も開発されている。

Q2：単周波数方式と多周波数方式の違いがよくわからない。

A：単周波数方式というのは、周波数を例えば 50kHz に固定し、細胞内液量と細胞外液量の総和 (つまり、体水分量) が求まることを仮定したものである。一方、多周波数方式とは、単周波数方式の弱点を補う手法として開発されたもので、低周波数、中周波数、高周波数の電気が流される。多周波数BI法の原理は、(1)周波数 $0\sim 20\text{kHz}$ の低周波数域で細胞内液に流れる電流が少なく、周波数 $100\text{kHz}\sim\infty$ の高周波数域になるとその量が増すことにより、低周波数域から細胞外液量情報を、(2)高周波数から総体水分量を、(3)細胞外液量と総体水分量の差から細胞内液量を求めるというものである。このことを利用すれば、多周波数BI法によって体内の総体水分量を細胞外液量と細胞内液量に分離することが可能となる。細胞膜を貫通する電気周波数は 50kHz あたりの中～高周波数と考えられているが、これでは細胞外液量を正確に求めることができない。総体水分量の推定に最もよいとされている周波数は $50\sim 100$ (200) kHz であるが、個人差の大きいことも指摘されている。また、 50kHz でのBI法では細胞外液が支配的な測定になっており、筋肉中の血流量および皮下血流量が変化することの影響を受けやすいという指摘も専門家間で聞かれる。多周波数方式ではこれらの問題点をクリアする目的で開発されたわけであるが、改良の余地は残っている。筆者らが収集したデータによると、国際大会に出場するような女子長距離ランナーの体脂肪率は、単周波数BI法で 18% 、多周波数BI法で 12% と、後者が水中体重秤量法の値に近似した。

Q3：身体に電気を流すことの安全性について説明してほしい。

A：身体に加えられる電流値 (単周波数方式： 500

$\sim 800\mu\text{A}$ 、多周波数方式： $200\sim 250\mu\text{A}$) は人が感知できる電流値よりもはるかに小さくなっており、まったく問題はないと考えられる。

Q4：使用する機種 (メーカー) の違いによって測定値が異なるのではないか。

肥満にも下半身 (皮下脂肪型) 肥満の人と上半身 (内臓脂肪型) 肥満の人がいるように、脂肪や筋肉のつき方には個人差があるので、測定方法の違いが及ぼす影響は避けられない。同一人物であっても、測定対象が身体の右側か左側かで僅かに結果が異なってくることもある。テニス選手や槍投げ選手、野球の投手のように、片方の腕を優先的に鍛えている場合、筋肉量 (水分量) が多いため、その側の上肢と下肢で測定を行えば体脂肪率は低く算出される。また、機種が異なるということは、開発研究の対象となった標本 (被験者) の人種、年齢、体格、身体組成が異なることに加えて、予め設定した妥当基準 (基準となる測定方法) にも違いがみられるわけであり、これらが原因となって測定値に違いが生じる。一般に、機種間には体脂肪率にして $1\sim 5\%$ 程度のズレが観察される。基準となる測定方法の中で代表的なものとして、水中体重秤量法、体水分量法、二重エネルギー X 線吸収法 (DEXA 法) などがある。出力された結果が異なる場合、いずれが正しいのかという検討もしなければならないが、目的に合致した機種を予め選定しておくことが最も重要である。

Q5：電極を配置する部位の組み合わせは3種類 (手と足、足と足、手と手) に大別できるが、測定値に差異が出るのではないか。

A：大きな差ではないが、3通りの結果が出る。どれが妥当なのかは一概に言えない。差の程度は多くの場合 3% 未満であり、これは妥当基準とされる水中体重秤量法、体水分法、DEXA 法などとの違いと同じ程度である。ある研究所が行なった総合的調査結果によると、性・年齢などの身体的属性の違いによって異なるが、全般的に「手一足」および「手一足」の条件で測定した時が水中体重秤量法と高い相関関係にあった。しかし、「足一足」の条件でも相関の程度には大差が見られなかった。筆者らの実験結果でも同様の結果を得た。電極配置が「手一足」の場合、身体全体の情報が得られるように思われるが、胴体部の電気抵抗は腕や脚に比べてはるかに小さい。したがって、「手一足」と「手一足」や「足一足」の結果

を比べた場合、大差がみられないのが実情である。腹部に蓄積している脂肪の量が多ければ、全体としての体脂肪率は高くなるが、「手一足」の配置であっても内臓脂肪型肥満の男性では体脂肪率が過小測定されることも少なくない。理論的には安静仰臥位を保った後に「手一足」の配置によって全身の情報を入手することがベストといえるが、「手一手」や「足一足」のほうが利便性に勝っていることから、現実にはこれらの方法が広く採用されている。よって、BI法では、四肢の電気抵抗に基づく新たな測定法が考案されており、近日中に発表されるという情報もある。

【参考意見】足一足よりも手一手の方が水中体重秤量法との相関が高い理由は、両足間のインピーダンスに占める大腿筋量のインピーダンス寄与度が両手間インピーダンスに占める上腕筋量のインピーダンス寄与度よりも小さいためであろう。なぜ小さいのかは、大腿の方が上腕に比べて、重力下で生活するがゆえに発達が異なり筋断面積が大きく異なるためである。

Q 6：電極の配置方法によって周波数の信号は異なった流れ方をするのか？

A：単周波数BI法と多周波数BI法の相違点はQ 2で詳しく述べた。電極には電流供給電極と電圧検出電極があり、手指や足指に近いところに配置する電極が前者、肘や膝など身体の内側に近い部分に配置する電極は後者である。これら2つの電極の距離は3～5cmを採用していることが多い。電極を「手一足」(右手甲部と右足甲部)に配置した場合、周波数信号の流れは右手一胴体一右足(右半身)、「足一足」の場合、右足一左足、「手一手」の場合、右手一肩一左手と考えられる。手首や足首から先の部位の情報は対象とならない。例えば、右手一胴体一右足の場合、検出される電圧(電気抵抗)の大きさは右半身全体の水分量(筋肉量)の影響を受けるように思えるが、実際には手首や足首といった身体の細い部分で抵抗が大きくなり、右半身全体の情報が均等に反映されるわけではない。

遠位間の誘導法(手一足)と近位間の誘導法(肘一膝)の比較では、後者のほうが妥当基準との相関は高くなるという報告例も見受けられる。

Q 7：周波数の信号は身体内のどの深さまで通過しているのか？

A：周波数の信号は電極間の距離が長いと深部

を、短いと表面または表面に近いところを流れる特性をもっている。しかし、ほとんどの機器では3cm以上の距離をとるように開発されているので、このことは考慮しなくてよいであろう。測定対象(腕や脚)の太さによる影響が大きく、測定対象の太さ(直径分)以上の距離が必要との意見もある。身体全体に信号が一樣に流れていると考える人が多いが、部位によって違いが見られる。肺などの抵抗率の高い部分には流れない(流れにくい)が、基本的には体の中(筋肉の内部や内臓)にまで通過していると考えられる。つまり、低い周波数も高い周波数も両方とも体内での通過深度は深いと仮定されている。特に低(単)周波数の信号を送る機器の場合、使用される電極や機器の特徴によって身体の表面(筋肉でいえば表層部)のみを通過していることも考えられる。この点については、さらなる検討が必要である。また、1kHzや5kHzの低い周波数は細胞外液に支配的に、100kHz以上の高い周波数は細胞外液に加えて細胞膜を貫通し、細胞内液の中にも流れるといえる。

Q 8：体脂肪率はどのような式から求めているのか？

A：基本的には水中体重秤量法から求めた体密度や体脂肪率、体水分法から求めた除脂肪組織量、二重エネルギーX線吸収法(DEXA法)から求めた脂肪組織量を従属変数(基準変数または目的変数ともいう)としてデータ解析した結果から式が算出されている。式の作成のためのデータ解析には一般に単回帰分析または重回帰分析が導入される。単回帰分析とは、2つの変数間の相関関係が有意である場合、Xの変化はYの変化に連動することから、両者の間に直線関係が仮定できる。これをYのXへの直線回帰という。つまり、一つの独立変数(説明変数)の情報を利用して測定の困難な従属変数(目的変数)の情報を推定する方法である。一方、重回帰分析とは、一つの独立変数から高い精度で従属変数が推定できない場合、あるいは複数の独立変数を組み合わせるほうが推定の精度が顕著に上昇する場合に適用されるデータ解析の手法である。式のほとんどは重回帰分析によって導かれたものである。式の構成要素(独立変数)は、機器の開発時に妥当基準として採用された身体組成の測定法、その時に取り上げられた推定用の項目(独立変数)、測定対象者の属性(例えば、性、年齢)によって異なっている。多くの

場合、インピーダンスまたはレジスタンス(抵抗分)、身長、体重、性、年齢などの中のいくつかを組み合わせた式が使われている。測定機器には、体脂肪率、除脂肪組織量、体水分量などの従属変数を求める式の中身は公表されているものとそうでないものがある。また、同じメーカーの機種であっても、発売時期が異なれば内蔵されている式に若干の違いがみられることもある。

Q9：身体組成値の再現性はよいか？

A：装置が測定する抵抗値(インピーダンスまたはレジスタンス)の再現性は、貼り付ける電極の位置が固定の場合 $r=0.99$ と非常によいが、電極位置のわずかな差異によって抵抗値が変わり、体脂肪率にして1～2%程度の誤差が生じる。また、電極の装着条件、姿勢の変化、体位の変化、環境温度の変化、皮膚温や体温の変化によっても1～3%程度の誤差が生じる。「足一足」では大腿部の接触の有無(接触しないようにして測ることが正しい)や入浴の前後で、「手一手」では腕を曲げるかどうか、腕を上げるか下げるか、さらには筋肉を収縮させるかどうかで結果が異なってくる。「手一足」でも程度は少ないが前二者の影響を受ける。したがって、それぞれの機種に定められている標準的な測定方法を厳守することが必要である。測定に際しては、特に姿勢(体位)と電極の貼り付けに十分な注意を払うとともに、取扱説明書にしたがって操作しなければならない。また、日内変動(誤差)や日差変動(多くは誤差)があることから、1機種1回の測定結果だけで判断しないことが肝要であろう。

Q10：スポーツ選手の測定精度は高くはないといわれているが、その意見は正しいか？

A：秋田大学、茨城大学、筑波大学、東京大学、東京慈恵会医科大学、金沢大学、中京大学、大阪市立大学、大阪府立看護大学、九州大学、長崎大学、鹿屋体育大学など多くの研究機関で一般人のみならずスポーツ選手や有疾病者についてもデータ収集がなされており、このことについては今後さらに詳細な検討がなされることと思われる。一般に、腕や脚の細長い選手(特に女性)については体脂肪率が高めに算出される傾向にある。手首や足首における大きな抵抗が体脂肪率に影響を及ぼすようである。将来的には、電極の配置場所を少し移動させて手首や足首を避けるなどの工夫によって、もっと精度の高い情報を得る方法が発表

されるであろう。大切なことは、Q8とも関連するが、使用する機器に内蔵されているソフト(推定式)がどのような対象者のデータから作成されたものなのかを知っておくことであろう。

Q11：小児や高齢者での測定精度は高いのか？

A：現有の機器(装置)では、測定精度の高さを証明する十分なデータは整っていないといえよう。水中体重秤量法を例にあげると、小児や高齢者では正しい測定が困難である。つまり、基準となる値の信頼性が高くない。また、信頼性(再現性)が高くても、モデルそれ自体が成人に適用できることが多く、小児や高齢者にも合うかどうか不明である。このようなわけで、小児や高齢者の測定値は、成人の測定値に比べると、妥当性に劣るものと考えられる。成人と老人、あるいは小児でも抵抗率が同じであると仮定すると、同一機器で測定できるであろう。しかし、実際のところは明らかになっていない。筆者らは日本の小児や老人についてもデータを集積中であり、正しいと考えられるデータのための解析によって解決の糸口が見えてくるであろうと考えている。近い将来、小児や老人用として適合する新たな式が開発できる見通しである。ちなみに、欧米では高い精度で高齢者の身体組成が推定できると報告されている。小児については、日本大学医学部小児科や大阪府立看護大学が豊富なデータを蓄積している。

Q12：水中体重秤量法や体水分法、DEXA法、皮脂厚法、単周波数BI法、多周波数BI法による体脂肪率や除脂肪組織量の減量に伴う変化を比較したデータはあるのか？

A：各研究機関は1つないし2つの方式によってデータを収集しており、すべてを同時に収集して比較を試みた研究結果は見当たらない。どの方法でも食事療法や運動トレーニングに伴う身体組成の減少は観察できるが、その程度には違いがある。一般に、水中体重秤量法に比べて皮脂厚法では脂肪の減少を過大に、BI法では過小に推定する傾向がみられる。つまり、皮脂厚法では急激な食事制限(減量)によって筋肉などの実質組織が減ったにもかかわらず、除脂肪組織量が不変または増加したという結果が得られやすい。一方、BI法では筋肉などの実質組織の減少量が過大に推定される傾向にある。最近、筆者らが行った運動および食事療法による減量介入の結果(体重で約8kgの減量を達成した後)では、多周波数BI法

による除脂肪組織量は DEXA 法による除脂肪組織量とほぼ一致し、多周波数 BI 法による除脂肪組織量は体水分法から求めた除脂肪組織量ともほぼ一致することを明らかにしている。なお、ベッドレスト(一定期間の安静保持)試験などの報告を見ると、上肢と下肢で筋量の減少に違いが見られ、下肢で顕著である。つまり、減量の程度は観測部位によっても異なるといえよう。

Q13: 減量介入によってどれくらい体重が減れば身体組成の変化が妥当に評価できるのか?

A: 的確には言えないが、運動による減量、食事による減量、両者の併用による減量のいずれの場合でも、一般に減量後に見られる値にバラツキ(個人差)が大きい。個々の変化量を平均値で表して評価してみると、ほぼ妥当な結果に思われる(Q4, Q11参照)。過度の水分制限や過度の発汗による体水分分布の一過性変化が影響しているのかもしれない。わずかな体重の変化に伴う身体組成の変化を見るには限界がある。体重が1~2kg程度しか減っていないにもかかわらず、身体組成の変化を正確に求めようとするに限界がある。体重の変化が2kg以上であっても、その他の測定条件(朝か夜かといった時間帯、入浴、姿勢、環境温度など)をできるだけ統一して測定しなければならない。例えば、電気抵抗値は入浴による皮膚温の上昇に伴い減少、脱水によって増加、環境温度の低下によって増加、環境温度の上昇によって低下することから、このような特殊な条件下では測定しないことが推奨されよう。

【参考意見】一般に体重が2kg以上変化(増加または減少)した場合、身体組成(特に脂肪)の変化を観察する意義が高まる。また、10kg以上も体重が変化して「痩せ」、「標準」、「肥満」の判定カテゴリ(域)が移動したような場合には、同じ式の利用が有効か否かについても慎重に検討する必要がある。身体組成が肥満の域から標準の域に移った場合、一貫して肥満者用(または一般者用)の式を使うべきかどうかは今後の重要な検討課題である。

Q14: 妥当基準として採用されている方法それ自体の測定精度を疑問視する声もあるが、これについてのコメントがほしい。

A: 水中体重秤量法では、一般に水中での完全呼吸状態における体重、肺の中に残存している空気量(残気量)などから身体密度を求めている。そし

て、それらの値を利用して脂肪組織量を算出し、体重と脂肪組織量との差から除脂肪組織量を推定するので、身体密度の小さい(低い)肥満者では誤差が大きくなりやすいといえる。また、1) 水中体重測定時と残気量測定時では残気量が同一にならないための誤差や、2) 除脂肪組織である骨、水分、たんぱく質などの構成比率およびそれぞれの密度が同性・同年齢でも一定でないことが指摘できる。体水分法ではトレーサー(標識物質)として利用する重水あるいはトリチウム水が体内の水分に様に希釈され、かつ除脂肪組織に占める水分の割合が例えば73.2%一定と仮定しているところに限界が認められる。除脂肪組織に占める水分の割合は年齢(発育段階や老化度)によっても異なり、同じ年齢でも個人差がある。2種類のエネルギーのX線を使用するDEXA法では、骨組織および筋肉などの軟部組織の放射線吸収量が異なることから、骨塩量と筋肉・内臓などの軟部組織量(lean tissue mass)が測定でき、さらに体重との差から脂肪組織量が推定できると仮定されている。しかし、骨に比べて脂肪組織や筋肉の測定精度は劣る。また、DEXA法の誤差は、2次元計測法であるがゆえに、深さ方向の計測誤差を有している。肥満者の場合、骨とオーバーラップする脂肪組織を骨の一部と見なし、骨密度を過大に評価する傾向がある。また、骨を除く除脂肪組織(fat and bone-free lean tissue mass)についても、過小評価の傾向がある。今後のさらなる分析技術の向上によって、測定精度が高まるであろう。このように、現時点ではそれぞれの方法に一長一短があり、厳密に見ると測定精度に限界があるといわざるをえない。現時点では3つの方法に精度上の大差はないと思われる。水中体重秤量法には必ずしも高価な機器を使用しなくてもよいという長所、DEXA法にはベッド上に横たわせるだけで測定できるという長所、体水分法には尿や呼気中の水分が利用できるという長所がある。一般に、水中体重秤量法に比べてDEXA法や体水分法のほうで体脂肪率は高めに算出される傾向にある。BI法によって身体組成を測定する場合、以上述べた幾つかの妥当基準に関連する限界を考慮に入れておく必要がある。

Q15: 1日の中で身体組成はどの程度変動するのか?

A: 仮に途中で水分補給をしない形でマラソンを

完走したような場合、体水分量は3ℓほど減少することから、体水分法による測定結果は大きく異なってくる。単周波数BI法でも多周波数BI法でもその影響を受け、除脂肪組織量や体脂肪率は大きな変動を示すものと思われる。しかし、マラソンだけで実際に燃焼される脂肪の量は僅か数百グラムであり、当日や翌日(翌々日)にはかなりの水分を補給して体重が元の状態にもどることを考慮すると、除脂肪組織量や体脂肪率の変化は僅少のはずである。つまり、マラソン完走前と完走3日後あたりの値がほぼ等しくなるような機器が優れている(安定している)といえよう。このことからわかるように、中年の肥満者が30~40分間たっぷり汗を流したくらいで体脂肪率に大きな変動が見られるわけではない(燃焼される体脂肪量は10~50g程度にすぎない)ので、測定値は安定しているほうが適当といえる。

Q16: 局所的に水分量や除脂肪組織量を測定することは可能か?

A: 身体を頭部、体幹(胴体)部、上腕部左右、前腕部左右、大腿部左右、下腿部左右の10部位に大きく分けた場合、測定が可能と思われる。特に上腕部、前腕部、大腿部、下腿部の測定精度は維持されやすいであろう。DEXA法では右手、左手、胴体、右足、左足など局所的に脂肪組織量や除脂肪組織量が測定できる。同様に、インピーダンスを局所的に測定することによって身体各部位の水分量や除脂肪組織量(または脂肪組織量)を推定することが可能になるとと思われる。この点についても一部の研究者がすでに試みている。ただし、前記Q14で述べたように、これらのセグメント(分節)の妥当基準の信憑性によって、精度が大きく左右されることに注意すべきである。

引用・参考文献

- Baumgartner, R.N., Chumlea, W.C., and Roche, A.F. (1989): Bioelectrical impedance for body composition. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 18: 193-224.
- 原 光彦, 吉野弥生, 岩田富士彦, 岡田知雄, 原田研介 (1997): 生体インピーダンス法を用いた小児の身体組成推定における機種間の互換性について. *肥満研究* 3: 54-58.
- Kim, H.K., Tanaka, K., Nakadomo, F., and Watanabe, K. (1994): Fat-free mass in Japanese boys predicted from bioelectrical impedance and anthropometric variables. *European Journal of Clinical Nutrition* 48: 482-489.
- 金 憲経, 松浦義行, 田中喜代次, 稲垣 敦, 中塘二三生(1993): 体脂肪率(%fat)算出式の検討—9歳から14歳の児童・生徒について—. *Annals of Physiological Anthropology* 12: 71-77.
- Komiya, S., and Masuda, T. (1990): Estimation of human body composition by bioelectrical impedance measurements—equation for estimating total body water in Japanese subjects—. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine* 39: 53-59.
- 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.
- 中塘二三生, 渡辺完児, 田中喜代次(1996): Bioelectrical Impedance法による身体組成評価—測定条件の差異がBIに及ぼす影響—. *肥満研究* 2, 9-15.
- 中塘二三生, 渡辺完児, 三宅真理, 田中喜代次, 前田如矢(1992): 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. *体力科学* 41: 467-476.
- 中塘二三生, 渡辺完児, 田中喜代次, 渡辺一志, 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.
- Nakadomo, F., Tanaka, K., Hazama, T., and Maeda, K. (1990): Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Japanese Journal of Applied Physiology* 20: 321-330.
- 中西とも子, 檜山輝男, 渡邊 寛, 田中英和, 金 禧植, 金 憲経, 田中喜代次(1998): 運動+食事療法による成人女性の身体組成の変化の妥当性—BI法と皮脂厚法の比較—. *臨床スポーツ医学* 15, 1047-1053.
- 大野 誠, 池田義雄(1998): 中高年日本人における体脂肪率, BMIと有病指数との関係. *肥満研究* 4: 60-64.
- 大野 誠, 池田義雄(1998): 簡易体脂肪測定法の比較—大規模疫学調査に適した機器の検討—. *肥満研究* 4: 52-56.
- 大野 誠, 池田義雄, 川上憲司(1991): 体脂肪率測定による肥満判定法 第3報—DEXA法, 近赤外分光法, BIA法, 皮脂厚法間の比較—. 第12回日本肥満学会記録, pp.287-289.
- 阪本要一(1991): 生体インピーダンス法による体脂肪の評価. 第12回日本肥満学会記録, pp.279-280.
- 高崎裕治(1993): インピーダンス法による体組成推定の再検討. *学校保健研究* 35: 389-395.
- 田中喜代次, 中塘二三生(1997): 体内水分と体脂肪量を簡便に求める測定法とその原理. (Q&A)臨床検査 41: 707-709.
- 田中喜代次・中塘二三生(訳)(1994): 身体組成の評価法としての生体電気インピーダンス法. 積水化学工業株, 東京, pp. 1-73.

- Tanaka, K., Hiyama, T., Watanabe, Y., Asano, K., Takeda, M., Hayakawa, Y., and Nakadomo, F. (1993): Assessment of exercise-induced alterations in body composition of patients with coronary heart disease. *European Journal of Applied Physiology*, 66: 321-327.
- Tanaka, K., Nakadomo, F., Watanabe, K., Inagaki, A., Kim, H.K., and Matsuura, Y. (1992): Body composition prediction equations based on bioelectrical impedance and anthropometric variables for Japanese obese women. *American Journal of Human Biology* 4: 739-745.
- 田中喜代次, 加藤 弘, 菊地和夫, 長友睦美, 中嶋英昭, 芝山秀太郎, 江橋 博, 西島洋子, 松沢真知子, 小川新吉(1979): 新弟子相撲力士の形態及び身体組成. *体力科学* 28: 257-264.
- 佃 宗紀, 花木啓一, 浦島裕史, 太田原宏子, 大関武彦, 白木和夫(1995): 3～6歳小児における肥満のスクリーニングについて—Bioelectrical Impedance Methodをもちいて—. *肥満研究* 1: 39-40.
- 吉村 学, 石岡正子, 田中喜代次, 金 憲経, 重松良祐, 大蔵倫博, 中塘二三生, 福永哲夫, 田中史子, 梅川常和, 坂根直樹, 吉田俊秀(1997): 両掌間誘導BI(bioelectrical impedance)法による体脂肪測定器の開発. *肥満研究* 3, 125-133.
- 渡辺完児, 中塘二三生, 田中喜代次, 金 憲経, 前田如矢(1998): BI法および皮脂厚法による身体組成推定式の精度—生徒における身体組成の経年変化からみた検討—. *体力科学* 47, 339-347.
- 渡辺完児, 中塘二三生, 田中喜代次, 三宅真理, 前田如矢(1993): Bioelectrical Impedance Methodによる中学生の身体組成評価. *体力科学* 42: 350-359.
- 渡辺完児, 中塘二三生, 田中喜代次, 三宅真理, 前田如矢(1993): 皮脂厚法による中学生の身体組成評価. *体力科学* 42: 164-172.