

単周波数および多周波数 BI 法における身体組成評価の比較検討

大河原 一 憲¹⁾ 田 中 喜代次²⁾ 中 田 由 夫³⁾
 李 東 俊³⁾ 魏 丞 完¹⁾ 中 塘 二 三 生⁴⁾

A COMPARISON OF SINGLE- AND MULTI-FREQUENCY BIOELECTRICAL IMPEDANCE METHODS TO ASSESS HUMAN BODY COMPOSITION

KAZUNORI OHKAWARA, KIYOJI TANAKA, YOSHIO NAKATA, DONG JUN LEE,
 SEUNG WAN WEE and FUMIO NAKADOMO

Abstract

The purpose of this study was to compare estimates of human body composition determined from single-frequency bioelectrical impedance methods (S-BIM) and multi-frequency bioelectrical impedance methods (M-BIM). The human body composition was assessed by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA), 5 brands of S-BIM, and 2 brands of M-BIM. Forty-five women, aged 26-58 years, served as subjects. The S-BIM and M-BIM fat-free mass (FFM) estimates were highly correlated with the FFM measured by DEXA ($r=0.82-0.93$). The standard errors of estimate (SEE) for FFM were approximately 2 kg. With the exception of the MLT-100 (which slightly underestimated FFM), all brands of BIM slightly overestimated FFM. The absolute mean differences between FFM_{DEXA} and each of the 7 BIM estimates ranged from -3.02 kg to 3.46 kg. Although the 7 brands of BIM provided slightly different estimates, the results of this study suggest that S-BIM and M-BIM are relatively valid in human body composition.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52 : 443~454)

key word : single-frequency bioelectrical impedance, multi-frequency bioelectrical impedance, dual energy X-ray absorptiometry, fat-free mass

I. 緒 言

生体電気抵抗法(bioelectrical impedance method : BI 法)は、微弱な交流電流を身体に通電させることで得られる抵抗値から身体組成を推定する方法である。この方法は、1) 複雑な測定機器や高度な技術を必要としない、2) 短時間で測定できる、3) 健常者のみならず非健常者も含めた広範囲の対象者を安全に測定できる、という利点を有している。また、多くの研究者によって身体組成

を妥当に評価できることが報告されており^{1~4)}、医療機関や研究機関で広く利用されている。近年、より簡便に測定できる BI 計の開発と低価格化によって、医療機関や研究機関のみならず、フィットネスクラブや一般家庭においても普及してきた。その一方で、同一対象者であっても、BI 計ごとに測定値にばらつきが生じることが問題となっている。その要因の1つは、抵抗値から身体組成を求める推定式を作成する際の過程に求められよう。簡便法である BI 法は、測定精度が高いと

¹⁾ 筑波大学人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

²⁾ 筑波大学体育科学系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

³⁾ 筑波大学体育科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

⁴⁾ 大阪府立看護大学
〒583-8555 大阪府羽曳野市はびきの3-7-30

Doctoral Program in Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan
Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan

Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan

Department of Nursing, Osaka Prefecture College of Nursing, 3-7-30, Habikino, Osaka, 583-8555, Japan

いわれている水中体重秤量法^{5,6)}や二重エネルギー X線吸収法(dual energy X-ray absorptiometry : DEXA)⁷⁾, 重水希釈法⁸⁾などから得られた値を基準として推定式を作っている. そのため, 妥当基準となる測定方法が BI 計ごとに異なると測定値にばらつきが生じる可能性がある⁹⁾. また, 妥当基準となる方法が同一であったとしても, 推定式を作る際の対象の人数や身体的特徴の違いが影響することも考えられる. その他にも, 各 BI 計における電極の接触部位¹⁰⁾, 測定姿勢(立位, 仰臥位, 座位など)¹¹⁾, 被測定部位(全身, 上肢, 下肢など)¹²⁾, 日内変動¹³⁾など測定値のばらつきに關与している要因は複数挙げられる. このような背景から, 同一対象者であっても各 BI 計から同じ測定値を得ることの難しさをうかがい知ることができる. しかしながら, BI 計が専門機関にとどまらず一般家庭にまで広く普及した現在において, 各 BI 計の測定値の違いが多くの測定者, 被測定者の混乱を招くことが推察される. そのため, 同一対象者を用いて, 複数の BI 計で測定した際に生じる違いを検討することは重要であるといえるが, 十分な検討がなされたとは言い難い.

BI 法には, 単周波数 BI 法と多周波数 BI 法がある. 単周波数 BI 法とは, 1 種類の交流電流を身体に通電させた際の抵抗値を測定する方法である. 一般家庭に普及している BI 計のすべてがこの方法に基づいており, そのほとんどが 800 μ A, 50 kHz 固定の極微弱な交流電流を利用している. 多周波数 BI 法とは, 異なる複数の交流電流を通電させた際の抵抗値を測定する方法である. 前述した単周波数 BI 法では, 細胞内液量(intracellular water : ICW)と細胞外液量(extracellular water : ECW)の総和である総体水分量(total body water : TBW)を推定できると仮定されている. しかしながら, 50 kHz の単周波数電流では細胞膜を完全に貫通できず, ECW と一部の ICW の電気抵抗情報しか反映されないと指摘されている¹⁴⁾. 一方, 多周波数 BI 法では, 細胞膜を貫通しない低周波数電流と細胞膜を貫通する高周波数電流を用いるため, 低周波数電流の抵抗値から ECW を, 高周波数電流の抵抗値から TBW を,

両者の差から ICW を推定することができると仮定されている¹⁵⁾. つまり, 多周波数 BI 法では, 単周波数 BI 法よりもより詳細な電気抵抗情報を得ることができ, 身体組成の推定精度が上昇すると考えられる¹⁶⁾. 欧米では, 多周波数 BI 法における身体組成の推定精度が高いことが幾つか報告されている¹⁷⁻¹⁹⁾. しかし, 国内においては, 多周波数 BI 法が近年開発された方法であるため, あまり多くの検討はなされていない²⁰⁾. さらに, 国内外を問わず, 多周波数 BI 法における身体組成の推定精度の検討に際し, 同一対象者を用いた単周波数 BI 法との比較がなされたものはほとんどない. そこで, 本研究では測定精度の高いことが数多く報告され^{7,21-23)}, 多くの研究で基準法として採用されている DEXA による測定値を妥当基準とし, 単周波数 BI 法と多周波数 BI 法における身体組成の推定精度について比較検討した. また, 単周波数 BI 法と多周波数 BI 法の推定精度を検討する際, 1) 皮脂厚法における推定精度との比較, 2) それぞれ 1 機種のみによる検討では機種間誤差を考慮することができないことから, 単周波数 BI 法は 5 機種, 多周波数 BI 法は 2 機種を用いた機種間に生じる差異, についても併せて検討する.

II. 方 法

A. 対象者

本研究の対象は, 定期的な月経を有する一般成人女性 45 名(平均年齢 42.3 \pm 7.7 歳)であった. 対象者の身体的特徴は, 表 1 に示した. なお, 各対象者には測定に先立ち, 本研究の目的および測定内容を説明し, 研究に協力する旨の承諾を得た.

B. 測定項目および測定方法

身体組成の測定に先立って, 身長は 0.1 cm, 体重は 0.1 kg 単位で測定した. DEXA, BI 法および皮脂厚法による身体組成評価の詳細は以下に記す. 各対象者には, 測定前日に激しい運動をしないこと, さらに測定前の 2 時間以内に摂食, 摂水しないという条件を前もって指示した. また, 体液分布の日内変動による測定誤差が指摘されて

Table 1. Physical characteristics of the subjects (n=45).

	Mean±SD	Range
Age (yr)	42.3±7.7	26 - 58
Height (cm)	158.7±5.7	148.0 - 171.6
Weight (kg)	63.5±5.8	55.1 - 87.7
BMI (kg/m ²)	25.2±1.8	22.2 - 34.0

いることから²⁴⁾, ベット上で仰臥位による5分以上の安静後, 測定した。

1. DEXA による身体組成評価

除脂肪組織量 (fat-free mass : FFM), 脂肪組織量 (fat mass : FM), 体脂肪率 (%fat) は, 先行研究²⁵⁾より測定精度の高いことが報告されている DEXA に基づく専用装置 (Lunar 社製 DPX-L) を用いて測定した。本研究で妥当基準として用いた DEXA は, 高エネルギー (80~100 keV) と低エネルギー (40~50 keV) の2種類の X 線が組織を透過

するとき, 吸収と散乱による減衰の特性が2つの X 線間で異なることを利用し, 身体組成を評価している。

2. BI 法による身体組成評価

BI 法に基づく7種類の機器 (単周波数 BI 法 : 5種類, 多周波数 BI 法 : 2種類) を用いて, FFM, FM, %fat を測定した。測定手順および測定姿勢は, 各機器より指示されている方法に従った。また, 全ての測定値は各機器に内蔵されている推定式より算出, 表示されたものを採用した。なお, 各 BI 計の方式, 周波数, 出力電流, 測定誘導法, 測定姿勢を表2に示した。

3. 皮脂厚法による身体組成評価

皮脂厚法による FFM, %fat の算出に際しては, 上腕背部, 肩甲骨下部, および腹部の皮脂厚と年齢から田原ほか²⁶⁾の式により体密度を求め, その体密度を Brozek et al.²⁷⁾の式に代入する方法を用いた。また, 皮脂厚の測定には栄研式キャリパーを用い, 各部位の右側を測定した。

Table 2. Characteristics of each BI method.

Bland	Frequency	Current	Electrode	Type of lead	Posture
Single-frequency BI method					
TBF-551 (Tanita)	50 kHz	800 μ A	4	leg to leg	standing
EW 343 (National)	50 kHz	800 μ A	4	arm to arm	sitting
HBF-300 (Omron)	50 kHz	800 μ A	4	arm to arm	standing
SS-103 (Sekisui)	50 kHz	800 μ A	4	one side of the body	supination
Muscle α (Art heaven 9)	50 kHz	800 μ A	12	whole body	supination
Multi-frequency BI method					
In-Body 3.0 (Biospace)	5, 50, 250, 500 kHz (4 frequencies)	250 μ A	8	whole body	standing
MLT-100 (Sekisui)	2.5 ~ 350 kHz (140 frequencies)	100 μ A	4	one side of the body	supination

C. 統計解析

各項目の測定結果は, 平均値±標準偏差で示した. DEXA から求めた平均値と各 BI 計から求めた平均値の差の比較には, 対応のある *t* 検定を適用した. また, 両者の関連性はピアソンの積率相関係数(*r*)により検討した. 推定精度は, 標準推定誤差(standard error of estimate: SEE=SD(1-r²)^{1/2})により評価した. さらに, これらの有意性について Bland & Altman²⁸⁾の手法を用いて検討した. 統計的有意水準は, すべて5%とした.

Ⅲ. 結 果

%fat_{DEXA} と単周波数および多周波数 BI 法から求めた %fat の相関関係, SEE を表3に示した. %fat_{DEXA} とすべての BI 計から求めた %fat との間に有意な相関関係(*r*=0.60~0.81)がみられた. また, %fat_{DEXA} と各 BI 計から求めた %fat との SEE は2.29~3.08%であった. DEXA から求めたFFM(FFM_{DEXA})と単周波数 BI 法(TBF-551, EW 343, HBF-300, SS-103,

Muscle α)から求めた FFM の相関関係, SEE を図1に, FFM_{DEXA} と多周波数 BI 法(In-Body 3.0, MLT-100)との関係を図2に示した. FFM_{DEXA} とすべての BI 計から求めた FFM との間に有意な相関関係(*r*=0.82~0.93)がみられた. また, FFM_{DEXA} と各 BI 計から求めた FFM との SEE は1.38~2.15 kg であった.

DEXA, 単周波数 BI 法(5機種), 多周波数 BI 法(2機種)から求めた FFM, FM, %fat の平均値を表4に示した. DEXA から求めた FFM, FM (FM_{DEXA}), %fat(%fat_{DEXA})と TBF-551 以外の6種類の BI 計(EW 343, HBF-300, SS-103, Muscle α , In-Body 3.0, MLT-100)から求めた FFM, FM, %fat の平均値間に有意差が認められた. また, 各 BI 計から求めた FFM の平均値は, FFM_{DEXA} に対して, EW 343, HBF-300, SS-103, In-Body 3.0, Muscle α は過大評価し, MLT-100 は過小評価した.

図3, 4 は, DEXA と単周波数および多周波数 BI 法から求めた FFM の一致度を Bland & Alt-

Table 3. Relations between %fat estimated by bioelectrical impedance methods and %fat measured by DEXA.

Method	Regression equations		r	SEE (%)
	a	b		
Single-frequency BI method				
TBF-551	0.65	12.01	0.60*	3.08
EW 343	0.78	11.03	0.69*	2.80
HBF-300	0.90	4.80	0.69*	2.80
SS-103	0.69	12.39	0.64*	2.97
Muscle α	0.95	4.12	0.72*	2.68
Multi-frequency BI method				
In-Body 3.0	0.84	8.33	0.81*	2.29
MLT-100	0.71	5.94	0.65*	2.84

Regression equations a : slope, b : intercept

SEE : standard error of estimate

r : Pearson's correlation coefficient

* Significantly correlated with DEXA (*P*<0.05)

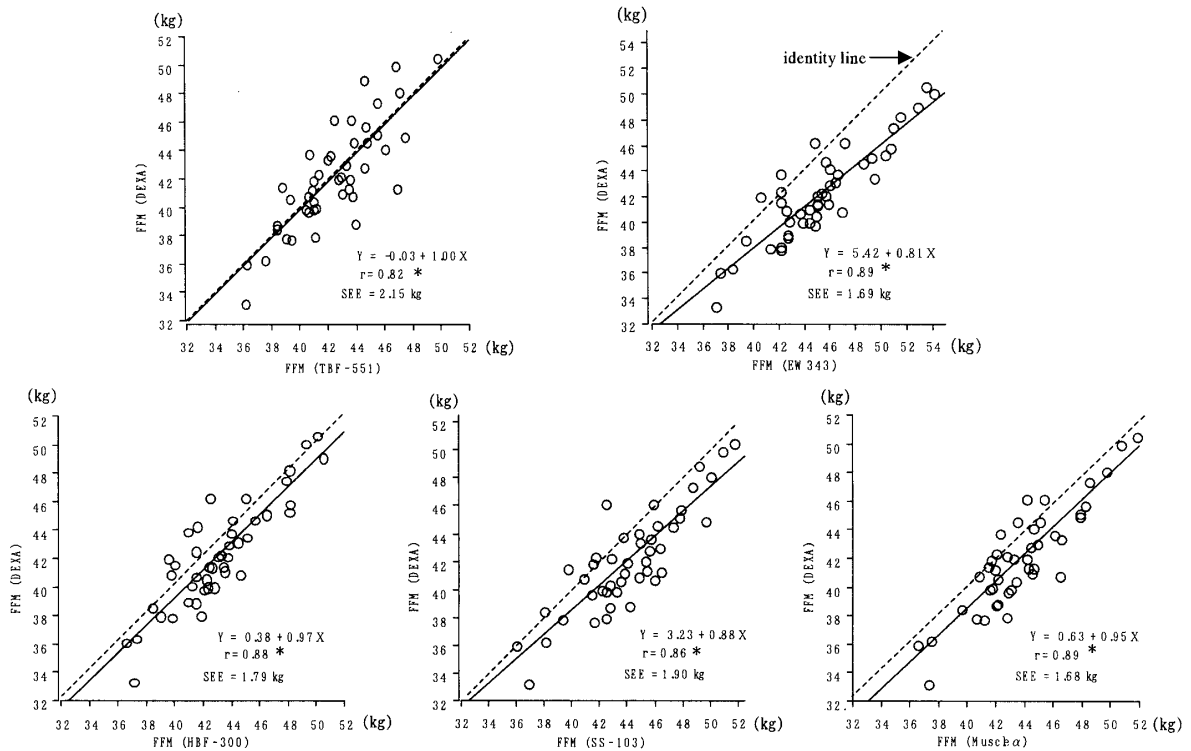


Fig. 1. Relations between FFM estimated by single-frequency bioelectrical impedance methods and FFM measured by DEXA.

* Significantly correlated with DEXA ($P < 0.05$)

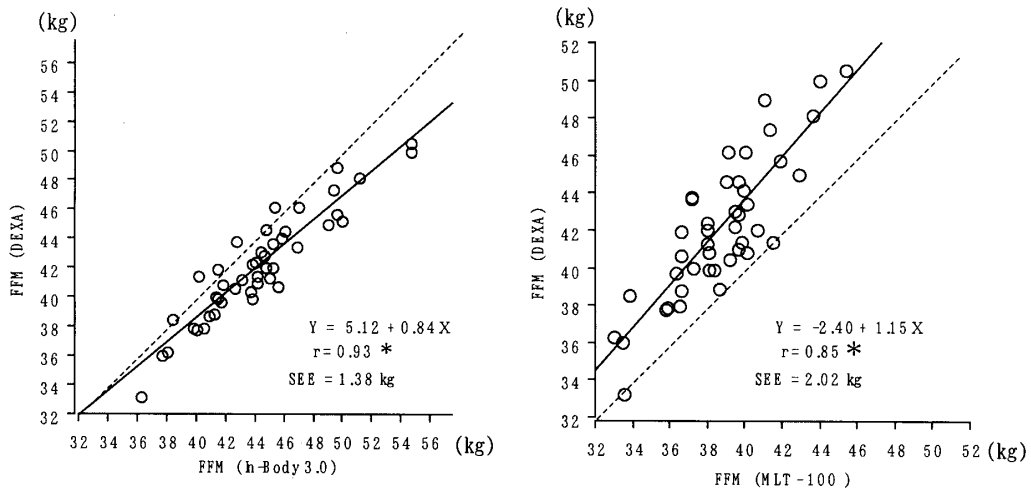


Fig. 2. Relations between FFM estimated by multi-frequency bioelectrical impedance methods and FFM measured by DEXA.

* Significantly correlated with DEXA ($P < 0.05$)

man の手法を用いて示したものである。FFM_{DEXA} と各 BI 計から求めた FFM との誤差量の平均(mean difference: MD)は $-3.02 \sim 3.46$ kg であり、標準偏差(standard deviation: SD)は $1.52 \sim 2.13$ kg であった。

FFM_{DEXA} と皮脂厚法から求めた FFM の相関関係、SEE および一致度については、図 5 に示した。DEXA と皮脂厚法から求めた FFM の間に、 $r = 0.78$ の有意な相関と 2.34 kg の SEE が得られ、%fat では $r = 0.46$ の相関係数と 3.44% の

Table 4. Body composition estimated by DEXA and bioelectrical impedance methods.

Method	FFM (kg)	FM (kg)	%fat (%)
	Mean \pm SD (Range)	Mean \pm SD (Range)	Mean \pm SD (Range)
DEXA	42.2 \pm 3.7 (33.2 - 50.5)	21.3 \pm 3.8 (13.8 - 38.8)	33.5 \pm 3.8 (24.7 - 44.2)

Single-frequency BI method			
TBF-551	42.4 \pm 3.0 (36.2 - 49.8)	21.1 \pm 4.2 (16.5 - 43.1)	33.0 \pm 3.6 (28.2 - 49.2)
EW 343	45.2 \pm 4.1* (37.0 - 54.1)	18.3 \pm 3.3* (13.2 - 34.8)	28.8 \pm 3.4* (22.5 - 39.6)
HBF-300	43.0 \pm 3.3* (36.5 - 50.4)	20.5 \pm 3.5* (14.8 - 37.3)	32.0 \pm 3.0* (25.8 - 42.9)
SS-103	44.1 \pm 3.6* (36.0 - 51.7)	19.4 \pm 3.7* (13.8 - 38.5)	30.4 \pm 3.5* (24.4 - 43.9)
Muscle α	43.9 \pm 3.5* (36.5 - 52.2)	19.6 \pm 3.3* (13.9 - 35.5)	30.8 \pm 2.9* (25.1 - 40.5)

Multi-frequency BI method			
In-Body 3.0	44.2 \pm 4.1* (36.3 - 54.7)	19.1 \pm 3.6* (13.6 - 37.9)	30.0 \pm 3.7* (23.7 - 43.3)
MLT-100	38.6 \pm 2.8* (32.9 - 45.3)	24.9 \pm 4.3* (19.5 - 46.7)	39.0 \pm 3.4* (33.9 - 53.2)

*Significantly different from DEXA ($P < 0.05$)

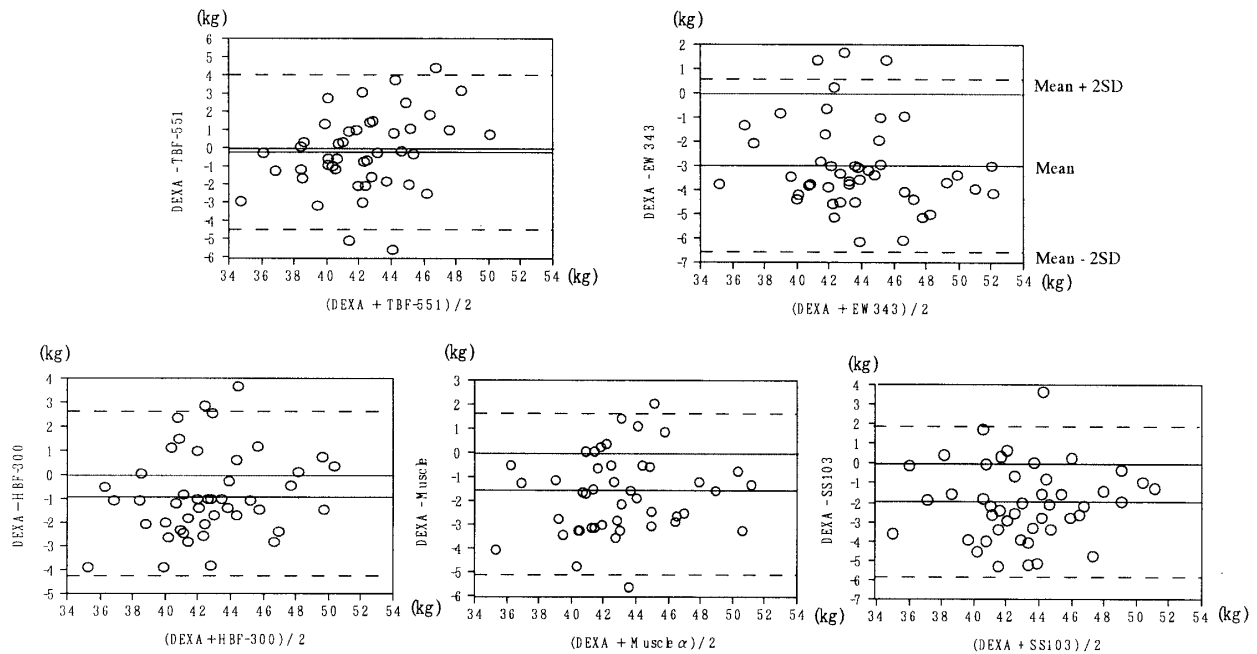


Fig. 3. Agreements between FFM estimated by single-frequency bioelectrical impedance methods and FFM measured by DEXA.

SEE が得られた。また、皮脂厚法から求めた FFM の平均値は 42.5 ± 4.1 kg, %fat の平均値は $33.0 \pm 4.1\%$ であり, DEXA から求めた値との間に有意差が認められなかった。

IV. 考 察

身体組成を正確に評価することは、個々人の健康状態を把握し管理する上で非常に重要なことで

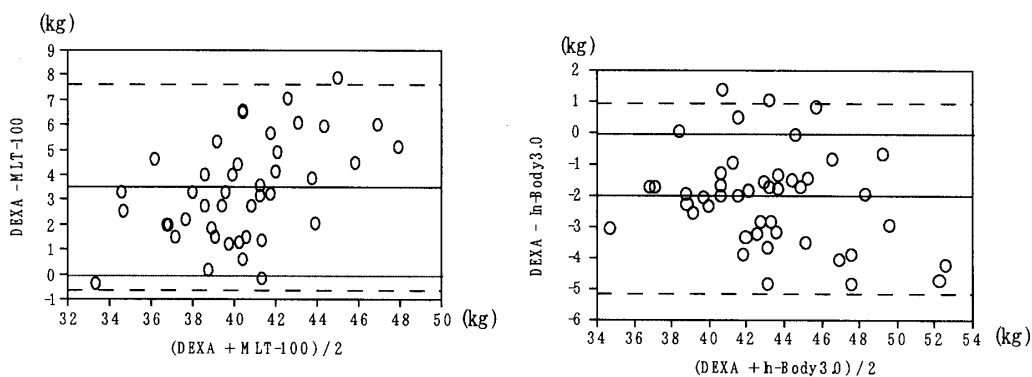


Fig. 4. Agreements between FFM estimated by multi-frequency bioelectrical impedance methods and FFM measured by DEXA.

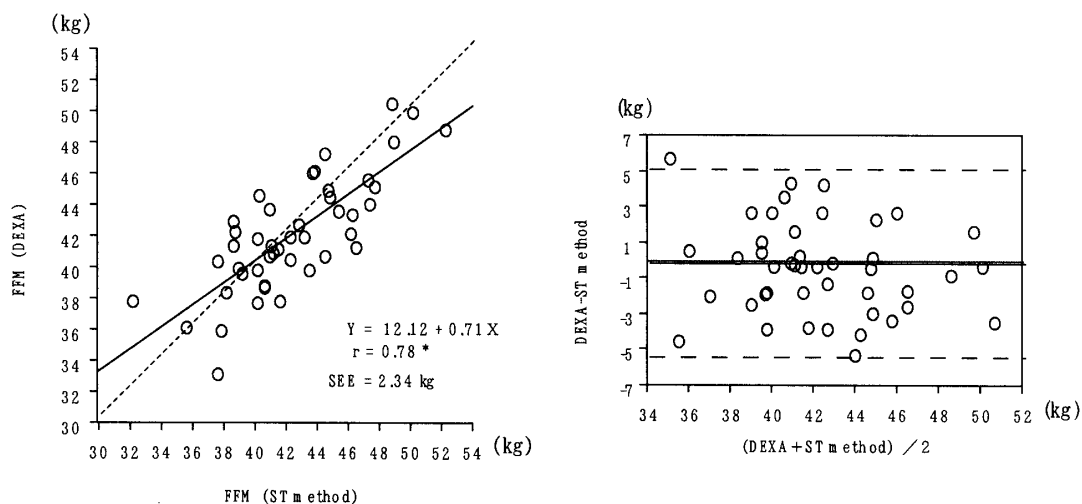


Fig. 5. Relation and agreement between FFM estimated by skinfold thickness (ST) method and FFM measured by DEXA.

* Significantly correlated with DEXA ($P < 0.05$)

ある。しかしながら、身体組成を直接測定するには死亡直後の人体を解剖する以外に方法がない。それゆえ、多くの間接法が開発されてきた。体密度法、体水分法(重水希釈法)、カリウム ^{40}K 法、CT スキャニング、核磁器共鳴映像法(MRI)、DEXA などがその例であり、それぞれが身体組成の有用な測定法として認められている²⁹⁾。簡便法である BI 法や皮脂厚法は、これらの間接法より求めた測定値を基準として身体組成を推定する方法である。本研究において単周波数 BI 法と多周波数 BI 法の推定精度を検討するにあたり、DEXA より求めた FFM, FM, %fat を妥当基準とした。DEXA は測定精度が高く、体密度法、体水分法などその他の基準法として用いられている測定法との相関も高いことが報告されている

30)。また、同法は肥満者や中高齢者を含む比較的幅広い対象者に対して測定可能であることから、本研究の妥当基準として採用した。

今日、BI 法の有用性は国内外を問わず数多く報告されている^{31~34)}。国井³⁵⁾は、一般女性を対象として、水中体重秤量法と単周波数 BI 法から求めた FFM の間に $r=0.98$ の高い相関関係が得られたことを報告している。中塘ほか⁴⁾の交差妥当性に関する検討においても、水中体重秤量法と単周波数 BI 法から求めた %fat の間に $r=0.88$ の高い相関関係と 2.2% の SEE が得られたことを報告している。奥野ほか⁹⁾は、水中体重秤量法を基準法とし、4 機種(本研究で用いた HBF-300, SS-103 を含む)の単周波数 BI 法の推定精度に関する検討を行なっている。その結果、

女性を対象とした場合, $r=0.68\sim0.77$ の相関係数と $4.07\sim4.70\%$ のSEEが得られ, いずれの機種も顕著な差異なく%fatを推定できることを報告している. 本研究において単周波数BI法から求めたFFM, %fatは, いずれも FFM_{DEXA} , %fat_{DEXA}との間に有意な相関関係(FFMでは $r=0.82\sim0.89$, %fatでは $r=0.60\sim0.72$)が得られた. SEEに関しては, FFMで $1.68\sim2.15$ kg, %fatで $2.68\sim3.08\%$ という結果であり, 前述した単周波数BI法に関する報告と比較しても同程度に良好であった. 多周波数BI法に関する検討は, 国内においてわずかであるが報告されている^{24,36)}. 田中ほか³⁶⁾は, FFM_{DEXA} と多周波数BI法から求めたFFMとの間に $r=0.88$, $SEE=2.0$ kgの良好な結果が得られたことを報告している. また, Segal et al.¹⁷⁾は体水分法と多周波数BI法から求めた体水分量との間に $r=0.947$ の高い相関係数と, 2.641のSEEが得られたことを報告している. 本研究における多周波数BI法とDEXAとの間に得られた相関係数(FFM; $r=0.85\sim0.93$), $SEE(FFM; 1.38\sim2.02$ kg)はこれらの多周波数BI法に関する報告と比較しても劣らず, 良好な結果であった. ただし, 多周波数BI法に基づく2機種から得られた結果には若干の差がみられたといえよう.

このように, 相関関係, SEEでは両BI法とも良好な値がみられたものの, DEXAとTBF-551以外の6種類のBI法から求めたFFM, FM, %fatの平均値間に有意差が認められた. そのうち, EW343, HBF-300, SS-103, Muscle α , In-Body 3.0から求めたFFMは FFM_{DEXA} と比較して過大評価された. 単周波数BI法は肥満者のFFMを過大評価し, スポーツ選手のFFMを過小評価することが報告されている³⁷⁾. 単周波数BI法が肥満者のFFMを過大評価する要因として, 1種類の周波数(そのほとんどが $800\mu A$, 50 kHz)のみを用いる単周波数BI法では, ECWと一部のICWの電気抵抗情報しか反映されないため, 相対的にECWが多く, ECW/TBWの大きい肥満者ではFFMを過大評価する傾向にあると考えられている³⁷⁾. 本研究の対象者も肥満傾

向または軽度肥満($BMI 25.2\pm 1.8$ kg/m²)であったことから, 先行研究³⁷⁾と同様の結果を示したと考えられる. 多周波数BI法は, 低周波数から高周波数まで複数の交流電流を流すことでICWとECWを求めることができ, より正確に身体組成を推定できる方法であることが示唆されている²⁰⁾. しかしながら, 本研究において, 多周波数BI法から求めたFFMと FFM_{DEXA} の平均値間には, 単周波数BI法と同様, 有意差が認められる結果となった. つまり, 本研究において多周波数方式BI法は, 単周波数方式BI法の結果を大幅に改善するものにはならなかった. その要因の1つとして, 多周波数方式BI法を用いても, 得られた複数の抵抗値が推定式に反映されない場合に大幅な精度の上昇は認められないことが考えられる. Lorenzo et al.³⁸⁾, Deurenberg et al.¹⁶⁾は, 多周波数方式BI法から複数の抵抗値を得た後, 重回帰分析を用いてTBWの推定式を作成した. しかしながら, 作成した推定式の説明変数には抵抗情報として 100 kHzの周波数を用いたものしか含まれない結果となった. これでは, 多周波数方式BI法の利点を活かさない結果となる. 本研究においても, 同様のことが考えられるが, 本研究からその点について言及することは難しく, 今後の課題としたい.

さらに, 単周波数および多周波数BI法とDEXA間の測定値の一致度について検討を行なうため, Bland & Altmanの手法を用いた²⁸⁾. Bland & Altmanは, 異なる測定法間の誤差量の信頼区間とMDを求めることから, 2つの測定法間の一致度, ばらつきを評価する方法を提案している. 異なる測定法間の誤差量における95%信頼区間は $MD\pm 2SD$ で表わされ, 信頼区間の限界値を上側・下側信頼限界値としている. MDが0に近く, 信頼区間の幅が狭い方が, より一致度が高く, ばらつきが少ないことになる. 本研究において, FFM_{DEXA} と5機種の単周波数BI法から求めたFFMとの誤差量のSDは, $1.67\sim2.13$ kgであり, FFM_{DEXA} と2機種の多周波数BI法から求めたFFMとの誤差量のSDは, $1.52\sim2.04$ kgであった. MDに関しても, 両BI法とも \pm

1.0~3.5 kg の範囲内であることから、一致度、ばらつきに関して同程度の結果であったといえる。Panotopoulos et al.³⁹⁾の肥満女性を対象とした研究において、FFM_{DEXA}と多周波数 BI 法から求めた FFM との誤差量に関する信頼区間は、-8.7~6.9 kg(誤差量の SD は約 4 kg)であったことを報告している。このことから、DEXA と BI 法間のばらつきに関して、本研究は Panotopoulos et al.³⁹⁾の結果と比較して若干良好であったといえるが、本研究における DEXA と BI 法から求めた値が一致したことを示しているわけではない。Williams et al.⁴⁰⁾も、水中体重秤量法を基準法にして BI 法の推定精度を検討し、高い相関が得られたが、値の一致度に関しては十分でないことを報告している。しかしながら、異なる測定法間から求めた値がわずかな違いもなく一致することは、各測定法の方法論上の違いにより生じる誤差などを考えると困難であるといえよう。Mcneill et al.⁴¹⁾は 6 種類の測定法間の推定精度を検討した中で、体密度法と体水分法から求めた % fat の間に違いがあったことを報告している。つまり、異なる測定法から求めた値の間に生じる差異は、簡便法と基準法間だけでなく、基準法として用いられている 2 つの異なる方法の間にも起こりうる。今後、DEXA、体密度法、体水分法など基準法として用いられている方法間の一致度と合わせて、BI 法の推定精度を検討することが課題といえる。

次に、両 BI 法の推定精度と比較するため、簡便法の 1 つである皮脂厚法による身体組成の推定精度を求めた(図 5)。皮脂厚法による身体組成は、日本人成人女性を対象に作成された田原ほか²⁶⁾の式より算出した。その結果、FFM における相関係数は有意であったものの、本研究から得られた両 BI 法の結果と比較すると若干劣る結果となった。%fat においては、有意な相関が得られず、本研究から得られた両 BI 法の結果と比較して大幅に劣る結果となった。しかしながら、FFM および %fat の平均値に関して、皮脂厚法と DEXA との間に有意差が認められなかった。さらに、皮脂厚法と DEXA から求めた FFM 間の誤差量の

検討を Bland & Altman のプロットを用いて行なった。その結果、MD は -0.3 kg, SD は 2.61 kg であり、TBF-551 と同程度の良好な結果を示した。つまり、本研究の対象者において、皮脂厚法の推定精度を BI 法と比較した場合、相関係数、SEE については若干劣るもの、平均値およびばらつきに関しては良好な結果が得られたといえる。

V. 結 語

本研究では、DEXA から求めた測定値を妥当基準とし、単周波数 BI 法(5 機種)と多周波数 BI 法(2 機種)における身体組成の推定精度について比較検討した。その結果、多周波数 BI 法は単周波数 BI 法と比較して大幅な精度の上昇は認められなかったが、DEXA を妥当基準とした場合、両 BI 法とも同程度に妥当な結果が得られることが示唆された。また、本研究で用いた 7 種類の BI 機器の間には、相関係数、SEE、ばらつきから見て、身体組成の推定精度に若干の機種間誤差がみられたものの、大幅な差のないことが示唆された。

謝 辞

本研究は以下に示す研究費の交付を受けて遂行することができた。ここに記して感謝の意を表す。筑波大学先端学際領域研究センター(TARA 田中プロジェクト; 1999-2002)、科学研究費補助金(2000-2003; #12480005)、研究拠点形成費補助金(21世紀COEプログラム; 2002-2003)。

(受理日 平成15年 5月26日)

文 献

- 1) 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.*, (1985), **58**, 1565-1571.
- 2) 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.*, (1985), **41**, 810-817.
- 3) Nakadomo, F., Tanaka, K., Hazama, T., Maeda, K. Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Jpn. J. Appl. Physiol.*, (1990), **20**, 321-330.

- 4) 中塘二三生, 田中喜代次, 渡辺完児, 前田如矢, 成人女性の身体評価における bioelectrical impedance 法およびその交差妥当性, 体力科学, (1992), **4**, 739-745.
- 5) 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.*, (1986), **60**, 1327-1332.
- 6) 北川 薫, 密度法による体脂肪量の測定方法, 保健の科学, (1989), **31**, 433-437.
- 7) Mazess, R. B., Barden H, Bisek, J. P., Hanson, J. Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone mineral and soft-tissue composition. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1990), **51**, 1106-1112.
- 8) 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, (1985), **34**, 259-268.
- 9) 奥野淳, 中塘二三生, 大蔵倫博, 田中喜代次, 簡便法による体脂肪率の推定精度に関する検討: 4種類の BI 法および皮脂厚法の比較, 体育学研究, (2000), **45**, 252-261.
- 10) 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 値に及ぼす影響. *Ann. Physiol. Anthropol.*, (1990), **9**, 41-45.
- 11) 中塘二三生, 渡辺完児, 田中喜代次, 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, (1996), **2**, 9-15.
- 12) 中塘二三生, 渡辺完児, 田中喜代次, 渡辺一志, 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, (1991), **40**, 93-101.
- 13) 中塘二三生, 田中喜代次, 金 玄秀, 渡辺完児, 前田如矢, Bioelectrical impedance analysis による身体組成推定値の再現性と個人内変動, 臨床スポーツ医学, (1991), **8**, 57-63.
- 14) Gray, D. S., Bray, G. A., Gemayel, N., Kaplan, K. Effect of obesity on bioelectrical impedance. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1989), **50**, 255-260.
- 15) Kanai, H., Haeno, M., Sakamoto, K. Electrical measurement of fluid distribution in legs and arms. *Hed. Prog. Tech.*, (1987), **12**, 159-170.
- 16) Deurenberg, P., Tagliabue, A., Schouten, F. J. M. Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. *Br. J. Nutr.*, (1995), **73**, 349-358.
- 17) Segal, K. R., Burastero, S., Chun, A., Coronel, P., Pierson Jr, R. N., Wang J. Estimation of extracellular and total body water by multiple-frequency bioelectrical-impedance measurement. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1991), **54**, 26-29.
- 18) Deurenberg, P. & Schouten, F. J. M. Loss of total body water and extracellular water assessed by multifrequency. *Eur. J. Clin. Nutr.*, (1992), **46**, 247-255.
- 19) Lusseveld, E. M., Peters, E. J., Deurenberg, P. Multifrequency bioelectrical impedance as a measure of differences in body water distribution. *Ann. Nutr. Metab.*, (1993), **37**, 44-51.
- 20) 田中喜代次, 金 憲経, 中西とも子, 天貝均, 多周波数インピーダンス法による日本人の身体組成の評価, 日本運動生理学雑誌, (1999), **6**, 37-45.
- 21) Deurenberg, P. & Schutz, Y. Body composition : overview of methods and future directions of research. *Ann. Nutr. Metab.*, (1995), **39**, 325-333.
- 22) Wang, Z. M., Visser, M., Ma, R., Baumgartner, R. N., Kotler, D., Gallagher, D., Heymsfield, S. B. Skeletal muscle mass : evaluation of neutron activation and dual-energy X-ray absorptiometry methods. *J. Appl. Physiol.*, (1996), **80**, 824-831.
- 23) Sutcliffe, J. F. A review of in vivo experimental methods to determine the composition of the human body. *Phys. Med. Biol.*, (1996), **41**, 791-833.
- 24) 田中喜代次, 中塘二三生, 大河原一憲, 増尾善久, 生体電気インピーダンス(BI)法の有用性と利用限界, バイオメカニクス研究, (2001), **5**, 91-101.
- 25) 中田由夫, 田中喜代次, 重松良祐, 天貝 均, 鈴木隆雄, 減量に伴う体重・体組成の変化が中年肥満女性の骨量に及ぼす影響, 体力科学, (2002), **51**, 129-138.
- 26) 田原靖昭, 湯川幸一, 綱分憲明, 佐伯重幸, 西山久美子, 浦田秀子, 勝野久美子, 福山由美子, 道向良, 門司和彦, 竹本泰一郎, 日本人成人女子の皮下脂肪厚3部位和(上腕部, 肩甲骨下部及び腹部)と年齢からの身体密度の推定式の検討, 日本公衛誌, (1995), **42**, 84-94.
- 27) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T., Keys, A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *N. Y. Acad. Sci.*, (1963), **110**, 113-140.
- 28) Bland, J. M. & Altman, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, (1986), **77**, 271-277.
- 29) Roche, A. F., Heymsfield, S. B., Lohman, T. G. Human body composition, Human kinetics, Champaign, IL, (1996).
- 30) 日本機械工業連合会, 日本計量機器工業連合会, 体脂肪計技術評価基準等の策定に関する調査研究事業報告書, 東京, (2002).
- 31) Baumgartner, R. N., Chumlea, Wm. C., Roche, A. F. Bioelectrical impedance for body composition. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, (1990), **18**, 193-224.
- 32) Jackson, A. S., Pollock, M. L., Graves, J. E., Maher, M. T. Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *J. Appl. Physiol.*, (1988), **64**, 529-534.
- 33) Komiya, S. & Masuda, T. Estimation of human body composition by bioelectrical impedance measurements : Equation for estimating total body water in Japanese subjects. *Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med.*, (1990), **39**, 53-59.
- 34) Tanaka, K., Nakadomo, F., Watanabe, K., Inagaki, K.,

- Kim, H. K., Matsuura, Y. Body composition prediction equations based bioelectrical impedance and anthropometric variables for Japanese obese women. *Am. J. Hum. Biol.*, (1992), **4**, 739-745.
- 35) 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*, (1989), **31**, 448-452.
- 36) 田中喜代次, 奥野 淳, 藤本誉博, 和田実千, 上原一人, 李 東俊, 渡邊 寛, 中塘二三生, 多周波数インピーダンス法による身体組成評価の有用性: DEXA 法および体水分法との比較から, *肥満研究*, (2000), **6**, 68-75.
- 37) Segal, K. R., Van Loan, M., Fitzgerald, P. I., Hodgdon, J. A., Van Itallie, T. B. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study. *Am. J. Clin. Nutr.*, (1988), **47**, 7-14.
- 38) De Lorenzo, A., Sasso, G. F., Andreoli, A., Sorge, R., Candeloro, N., Cairella, M. Improved prediction formula for total body water assessment in obese women. *Int. J. Obes.*, (1995), **19**, 535-538.
- 39) Panotopoulos G., Ruiz J. C., Guy-Grand B., Basdevant, A. Dual x-ray absorptiometry, bioelectrical impedance, and near infrared interactance in obese women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2001), **33**, 665-670.
- 40) Williams, C. A. & Bale, P. Bias and limits of agreement between hydrodensitometry, bioelectrical impedance and skinfold calipers measures of percentage body fat. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1998), **77**, 271-277.
- 41) McNeill, G., Fowler, P. A., Maughan, R. J., Mcgaw, B. A., Fuller, M. F., Gvozdanovic, D., Gvozdanovic, S. Body fat in lean and overweight women estimated by six methods. *Br. J. Nutr.*, (1991), **65**, 95-103.