The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

体力科学（2006）**55**，125～136

体組成変化に対するBI法の推定精度～減量期間中の体組成変動の検討を含めて～

大河原 一 憲[1)]　田 中 喜代次[1,4)]　小 野 洋 平[2)]　片 山 靖 富[1)]
新 村 由 恵[1)]　中 田 由 夫[1,4)]　中 塘 二三生[3)]

ACCURACY OF ESTIMATING HUMAN BODY COMPOSITION CHANGES ON BI METHODS -WITH THE STUDY OF SERIAL MEASUREMENTS DURING THE WEIGHT-LOSS INTERVENTION-

KAZUNORI OHKAWARA, KIYOJI TANAKA, YOHEI ONO,
YASUTOMI KATAYAMA, YUKIE SHIMURA,
YOSHIO NAKATA and FUMIO NAKADOMO

Abstract

The purpose of this study was to investigate the accuracy of estimating human body composition changes using bioelectrical impedance (BI) methods during a weight-loss intervention. Subjects were forty-three obese men (age : 49.2±10.5 yr, BMI : 27.8±1.7 kg/m^2) who completed a 14-week weight-loss intervention. In all subjects, fat mass (FM) and fat-free mass (FFM) were assessed by dual energy x-ray absorptiometry (DXA) as well as single- and multi-frequency BI methods (SBIM, MBIM) before and after the intervention. Resistance parameters were measured by SBIM and MBIM (SBIM : R_{50} ; MBIM : R_∞, R_0, and Rfc). In nine subjects these variables were also measured at weeks 1 and 4. Weight decreased ($P<0.05$) by −8.0±3.2 kg during the intervention while FFM changes averaged −0.4±1.6 kg (DXA), −2.0±1.5 kg (SBIM), and −1.6±1.7 kg (MBIM). BI methods overestimated FFM before the intervention (before ; DXA : 54.4±4.8 kg, SBIM : 56.5±4.3 kg, MBIM : 55.9±4.5 kg). In nine subjects, FFM measured by SBIM (FFM_{SBIM}) and MBIM (FFM_{MBIM}) was similar to FFM measured by DXA (FFM_{DXA}) (after ; DXA : 54.6±5.4 kg, SBIM : 54.6±3.8 kg, MBIM : 54.6±4.1 kg), although BI methods overestimated the FFM before the intervention (before ; DXA : 54.9±5.1 kg, SBIM : 56.9±3.8 kg, MBIM : 56.3±4.4 kg). The ΔFM_{SBIM} and ΔFM_{MBIM} were highly correlated with the ΔFM_{DXA} (SBIM : r =0.87, MBIM : r=0.88). The ΔFFM_{SBIM} and ΔFFM_{MBIM} were significantly correlated with the ΔFFM_{DXA} (SBIM : r=0.54, MBIM : r=0.49). The ΔR_{50} and ΔRfc were also significantly correlated with the ΔFFM_{DXA} (R_{50} : r=−0.63, Rfc : r=−0.48). These results suggest that during a weight-loss intervention, 1) BI methods and DXA provide similar estimates of human body composition change, although they overestimate FFM in obese men, and 2) changes of resistance parameters observed with BI methods may estimate human body composition change more accurately.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2006, **55**：125～136)

key word：body composition change, serial measurements, single-frequency BI method, multi-frequency BI method, DXA

I．緒　　言

身体組成の測定法には，高精度での測定が可能な水中体重秤量法(underwater weighing)，重水希釈法(deuterium dilution technique)，二重エネルギーX線吸収法(dual energy x-ray absorptiometry :

1)筑波大学大学院人間総合科学研究科　*Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8574, Japan*
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1
2)財団法人体力つくり指導協会　*The Association of Physical Fitness Promotion and Guidance, 1-47-1 Hatsudai,Shibuya, Tokyo, 151-0061, Japan*
〒151-0061 東京都渋谷区初台1-47-1
3)大阪府立大学大学院看護学研究科　*Deparment of Nursing, Osaka Prefecture University, 3-7-30 Habikino, Osaka, 583-8555, Japan*
〒583-8555 大阪府羽曳野市はびきの3-7-30
4)筑波大学先端学際領域研究センター　*Center for Tsukuba Advanced Research Alliance, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki, 305-8577, Japan*
〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

DXA)などがある[1~6]が，これらには専門家による特殊な測定技術が求められる．一方，簡便に身体組成を測定できる方法として，皮脂厚法，体格指数法，超音波法，生体電気抵抗法などが挙げられる[7~12]．簡便法の一つである生体電気抵抗法(bioelectrical impedance method : BI 法)は，微弱な電流を身体に通電させることで得られる電気抵抗値を用いて体組成を測定する方法である[13~16]．BI 法は複雑な技術を必要とせず，短時間での測定が可能であることから，近年，一般家庭にまで普及している．BI 法に基づく測定機器の多くは，1種類の交流電流(ほとんどが 500 μA，50 kHz)を用いた単周波数 BI 法(single-frequency BI method : SBIM)であるが[17]，近年，異なる複数の交流電流を用いて身体組成を測定する多周波数 BI 法(multi-frequency BI method : MBIM)が開発されている．50 kHz の単周波数電流では細胞膜を完全に貫通できず，細胞外液量と一部の細胞内液量の電気抵抗情報しか反映されないと指摘されている[18]が，多周波数 BI 法では低周波数電流と高周波電流を含めた複数の交流電流を用いることで，細胞外液量と細胞内液量の情報をより正確に反映することから，高い精度の得られることが期待されている[19,20]．

日常において体重や体組成を管理することは，健康状態を把握する手段の一つとして重要である[21]．特に肥満者にとって，現状の体脂肪量や，減量後にどの程度体脂肪量が減少したのかを正確に把握することは大切である[22]．このことから，簡便にかつ高精度で体組成の変化を測定する方法が望まれる．簡便法の一つである BI 法は，これらの条件を満たす可能性がある．BI 法による体組成推定の歴史は古く[23]，今日に至るまで，その推定精度の高いことが数多く報告されている[24~27]．しかしながら，そのほとんどが横断的検討であり，減量や増量に伴う体組成の変化量の推定精度については十分な検討がなされていない[28~30]．例えば，Deurenberg et al.[28]は減量時における除脂肪量の変化をBI法は過小評価すると報告しているのに対し，van deer Kooy et al.[30]は除脂肪量の変化を過大評価すると報告しており，一致した見解が得られていない．また，これらの報告は単周波数 BI 法を用いた検討であり，多周波数 BI 法を用いた検討が求められる．加えて，BI 法による体組成の推定精度には人種間で違いが存在することが報告されており[31]，減量期間中において体組成を数回にわたり測定し，その経時的変化に対する BI 法の推定精度について日本人を対象とした検討も求められる．そこで，本研究では減量前後の体組成変化および減量期間中の体組成の経時的変化における単周波数 BI 法および多周波数 BI 法の推定精度について検討する．

Ⅱ．方　　法

A．対象者

本研究の対象者は，新聞および地域情報誌にて募集した減量を希望する body mass index(BMI)25以上[32]の肥満男性43名であった．対象者の身体的特徴は，表1に示した．本研究の目的および測定内容を説明した後，各対象者から研究参加への承諾を得た．また，本研究は筑波大学人間総合科学研究科に帰属する倫理委員会の承諾を得て行なった．

B．測定プロトコル

対象者全員が14週間の食事制限プログラムに参加し，体重を減少させた．減量期間中の1日の総摂取

TABLE 1. Physical characteristics of subjects (n=43).

	Mean ± SD	Range
Age (yr)	49.2 ± 10.5	27-66
Height (cm)	168.4 ± 4.9	158.2-177.2
Weight (kg)	78.8 ± 6.2	66.5-90.5
Body mass index (kg/m^2)	27.8 ± 1.7	25.2-32.9

n: no. of subjects.

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

エネルギー量は1600 kcalを目標とした．実践方法は4群点数法を用いた自己管理型で，各対象者が記録した食事内容を管理栄養士が週1回チェックし，摂取エネルギー量を抑えつつ栄養バランスの良い食事ができるよう指導した．減量前後に，全対象者の身長，体重，およびDXA，単周波数BI法，多周波数BI法による体組成を測定した．また，全対象者のうち，中間測定の承諾の得られた9名については，減量前後に加えて，減量開始1週後，4週後においても，減量前後と同様の測定を行なった．本研究は，体重，体組成の大きな変化にBI法の推定がどのように対応するのかを検討するため，期間内において大きく変化しやすい減量初期に2回の測定を設けた[33]．対象者には，測定前日に激しい運動を控えること，測定開始3時間前から摂食，摂水をしないよう指示した．測定は毎回，排便，排尿後に行なった．また，体液分布の日内変動による測定誤差が指摘されていることから[17]，測定時間は午前中とし，ベッド上で仰臥位による5分以上の安静後に測定した．

C．測定項目および測定方法

1．形　態

身長は，身長計(ヤガミ社製YG-200)を用いて，0.1 cm単位まで測定した．体重は，体重・体組成計(タニタ社製BC-118)を用いて，0.1 kg単位まで測定した．また，BMIは各対象者から得られた身長と体重を用いて計算した(kg/m^2)．

2．DXA

本研究の妥当基準となる除脂肪量(fat-free mass : FFM)，脂肪量(fat mass : FM)は，測定精度の高いことが報告されている[34]DXAに基づく専用装置(Lunar社製DPX-NT)を用いて測定した．本研究で妥当基準として用いたDXA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て体組成を求めている．本研究の測定手順において，DXAによるFM測定(2回)の再現性はr＝0.998で，平均値に2回の測定間で有意差はなかった(n＝13)．

3．BI法

1）単周波数BI法

単周波数BI法に基づく体組成の測定には，出力電流500 μA，50 kHzに規定した8電極法によるBC-118(タニタ社製)を用いた．同機器により，FM，FFM，全身に電流を流したときの抵抗値(R_{50})を求めた．尚，FMおよびFFMは同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．算出式は同機器から得られた抵抗値と形態計測値を変数とした重回帰分析によって作成されている[35]．測定は，両足を電極板の上に平行に乗せ，左右それぞれの手で電極の付いたグリップを握り，上肢を自然に降ろした立位姿勢にて行なった．また，測定前に手掌部および足底部をアルコール綿にて十分清拭した．本研究の測定手順において，BC-118によるFM測定(2回)の再現性はr＝0.999で，平均値に2回の測定間で有意差はなかった(n＝30)．

2）多周波数BI法

多周波数BI法に基づく体組成の測定には，周波数2.5 kHz～350 kHz(140種類)の信号成分(100 μArms)を含んだ4電極法によるMLT-100(積水化学工業社製)を用いた．同機器により，細胞膜容量の影響が最大になる周波数での抵抗値(R_{fc})，周波数無限大時の抵抗値(R_{∞})，周波数0 kHz時の抵抗値(R_0)，FM，FFMを求めた．測定は，電気抵抗に影響のない木製のベッド上で，仰臥位にて腋窩および大腿部を開いた姿勢で行なった．電極は同法用に開発された銀電極を使用し，右側の手足甲部をアルコール綿にて十分清拭した後に装着した．電流電極の装着部位は，尺骨茎状突起と橈骨茎状突起間の手背中央部および脛骨内果と腓骨外果間の足背中央部とし，検出電極の装着部位は電流電極より肘および膝側に5 cm離した箇所とした．本研究の測定手順において，MLT-100によるFM測定(2回)の再現性はr＝0.999で，平均値に2回の測定間で有意差はなかった(n＝30)．FM，FFMは同機器に内蔵されている以下の式より求めた[36]．

$$FFM(kg)=(0.021\,Ht+0.021\,Wt-0.011\,A-1.63)+(0.169Ht^2/R_{\infty}+0.003Ht^3/1000+0.186Ht^2/R_0+5.75)$$

$$FM(kg)=Wt-FFM$$

Ht : 身長(cm)，Wt : 体重(kg)，A : 年齢(yr)

D．統計処理

各項目の測定結果は，平均値±標準偏差で示した．減量前後における各抵抗値の平均値の差は，対応のあるt検定を適用した．各測定時において，基

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

準とするDXAから求めたFMおよびFFMと，単周波数BI法または多周波数BI法から求めたFMおよびFFMとの平均値の差については，それぞれ対応のあるt検定を適用した．体重，BMI，各抵抗値の経時的変化の検討には，一元配置の分散分析を適用し，有意性が認められた項目についてはTukey-Kramerの多重比較検定を適用した．DXAと各BI法との対応関係の検討には，ピアソンの積率相関係数(r)と，単回帰分析によって得られた回帰式とidentical lineとの傾きおよび切片の有意差検定を用いた．推定誤差は標準推定誤差(standard error of estimate : SEE)により評価した．統計的有意水準は，すべて5％以下とした．

Ⅲ．結　　果

A．減量前後における各項目の変化

本研究では，14週間の食事制限プログラムを提供した結果，体重が平均8.0±3.2kg減少した．減量前後における体組成および抵抗値の変化を表2に示した．減量前において，DXAから得られたFM(FM_{DXA})，FFM(FFM_{DXA})の平均値と単周波数BI法から得られたFM(FM_{SBIM})，FFM(FFM_{SBIM})および多周波数BI法から得られたFM(FM_{MBIM})，FFM(FFM_{MBIM})の平均値間に有意差が認められたが，減量後はFM，FFMともにDXAと両BI法から得られた平均値間に有意差は認められなかった．また，DXAと両BI法から得られたFM，FFMにおける減量前後での変化量には有意差が認められ，両BI法はFMを過小評価し，FFMを過大評価した．両BI法から得られた抵抗値については，Rfcを除くR_{50}，R_0，R_∞に有意な変化は認められなかった．

B．減量前後における両BI法の相関およびSEE

表3に，単周波数BI法および多周波数BI法によるFM，FFMとDXAによるFM，FFMとの相関係数，SEEを示した．減量前後のFM，FFMにおいて，両BI法とも有意で高い相関係数と低値のSEEが得られた．両BI法とDXAから得られた減量前後でのFM，FFMの変化量における相関係数およびSEEを図1，図2に示した．FM_{SBIM}の変

TABLE 2. Body composition and resistance parameters before and after the intervention (n=43).

		Before	After	Change
DXA	FM (kg)	24.4 ± 3.8	16.8 ± 5.3	-7.6 ± 3.0
	FFM (kg)	54.4 ± 4.8	54.0 ± 4.9	-0.4 ± 1.6
Single-frequency BI method	FM (kg)	22.3 ± 3.3 #	16.3 ± 3.7	-6.0 ± 2.6 #
	FFM (kg)	56.5 ± 4.3 †	54.5 ± 4.3	-2.0 ± 1.5 †
	R_{50} (Ω)	519.3 ± 47.4	523.8 ± 48.6	4.5 ± 23.2
Multi-frequency BI method	FM (kg)	22.9 ± 4.1 #	16.5 ± 5.5	-6.4 ± 3.5 #
	FFM (kg)	55.9 ± 4.5 †	54.3 ± 4.6	-1.6 ± 1.7 †
	Rfc (Ω)	380.6 ± 40.5	390.5 ± 40.2 *	9.9 ± 18.1
	R_0 (Ω)	457.8 ± 46.5	465.7 ± 47.6	7.9 ± 64.6
	R_∞ (Ω)	302.9 ± 33.3	315.2 ± 34.2	12.3 ± 44.9

Values are mean±SD ; n : no. of subjects ; DXA : dual energy x-ray absorptiometry ; BI : bioelectrical impedance ; FM : fat mass ; FFM : fat-free mass ; R_{50} : resistance at 50 kHz ; Rfc : resistance at a frequency where cell membrane's volume is maximized ; R_0 : resistance at a very low frequency ; R_∞ : resistance at a very high frequency ; *significant difference between the values before and after the intervention ($P<0.05$); #significant difference compared with FM measured by DXA before the intervention ($P<0.05$); †significant difference compared with FFM measured by DXA before the intervention ($P<0.05$).

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

TABLE 3. Correlation coefficients and SEEs for FM and FFM between BI methods and DXA (n=43).

		FM		FFM	
		r	SEE	r	SEE
Single-frequency BI method	Before	0.82*	2.21	0.89*	2.22
	After	0.92*	2.10	0.88*	2.39
Multi-frequency BI method	Before	0.85*	2.04	0.89*	2.22
	After	0.94*	1.78	0.93*	1.85

n : no. of subjects ; DXA : dual energy x-ray absorptiometry ; BI : bioelectrical impedance ; FM : fat mass ; FFM : fat-free mass ; r : Pearson's correlation coefficient ; SEE : standard estimate of error ; *significantly correlated with DXA ($P<0.05$).

化量と FM_{DXA} の変化量との間には，r=0.87 の有意な相関係数と 1.48 kg の SEE が得られた．また，FM_{MBIM} の変化量と FM_{DXA} の変化量との間には，r=0.88 の相関係数と 1.44 kg の SEE が得られ，単周波数 BI 法と多周波数 BI 法から得られた結果はほぼ同程度であった．さらに，FFM_{SBIM} の変化量と FFM_{DXA} の変化量との間には，r=0.54 の相関係数と 1.35 kg の SEE が得られ，FFM_{MBIM} の変化量と FFM_{DXA} の変化量との間には，r=0.49 の相関係数と 1.40 kg の SEE が得られた．なお，DXA と両 BI 法との間に得られた FM，FFM の単回帰式の傾きおよび切片は，DXA と多周波数 BI 法との FFM の変化量に関する回帰式の傾きを除いて，identical line との間に有意差は認められなかった．表 4 に，減量前後における FFM_{DXA}，FM_{DXA} の変化量と体重および両 BI 法から求めた抵抗値の変化量の相関係数を示した．体重の変化量と FM_{DXA} の変化量には r=0.87 の有意な相関係数が得られ，FFM_{DXA} の変化量との間には r=0.37 の有意な相関係数が得られた．また，R50 および Rfc の変化量と FM_{DXA} の変化量には，それぞれ r=0.31，r=0.30 の有意な相関係数が得られ，FFM_{DXA} の変化量との間には，それぞれ r=−0.63，r=−0.48 の有意な相関係数が得られた．

C．減量期間中における各項目の経時的変化

表 5 に，対象者 9 名における，体重，BMI および抵抗値の経時的変化を示した．体重は，減量前後に有意差が認められ，平均 7.0±3.2 kg 減少した．各抵抗値については，減量期間中に有意な変化が認められなかった．また，各測定法から求めた FM の経時的変化を図 3 に示した．減量前は，単周波数 BI 法，多周波数 BI 法ともに FM_{DXA} との間に有意差が認められ，FM を過小評価したが，減量開始 1 週後，4 週後，減量後においては，両 BI 法ともに FM_{DXA} との間に有意差は認められなかった．一方，FFM については，両 BI 法とも減量プログラム前には FFM_{DXA} との間に有意差が認められ，FFM を過大評価したが，減量開始 1 週後，4 週後，減量後においては，FFM_{DXA} と有意差は認められなかった(図 4)．

Ⅳ．考　　察

本研究では，減量前後において，単周波数 BI 法および多周波数 BI 法から求めた FM，FFMと DXA から求めた FM，FFM との間に，いずれも有意で高い相関係数と低値の SEE が得られた．つまり，相関係数と SEE については，減量前後で得られた結果に差が認められず，減量前の肥満体格者(BMI ≧25)[32]の集団においても，減量後の標準体格者に近づいた集団においても，同程度に高い相関関係の

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

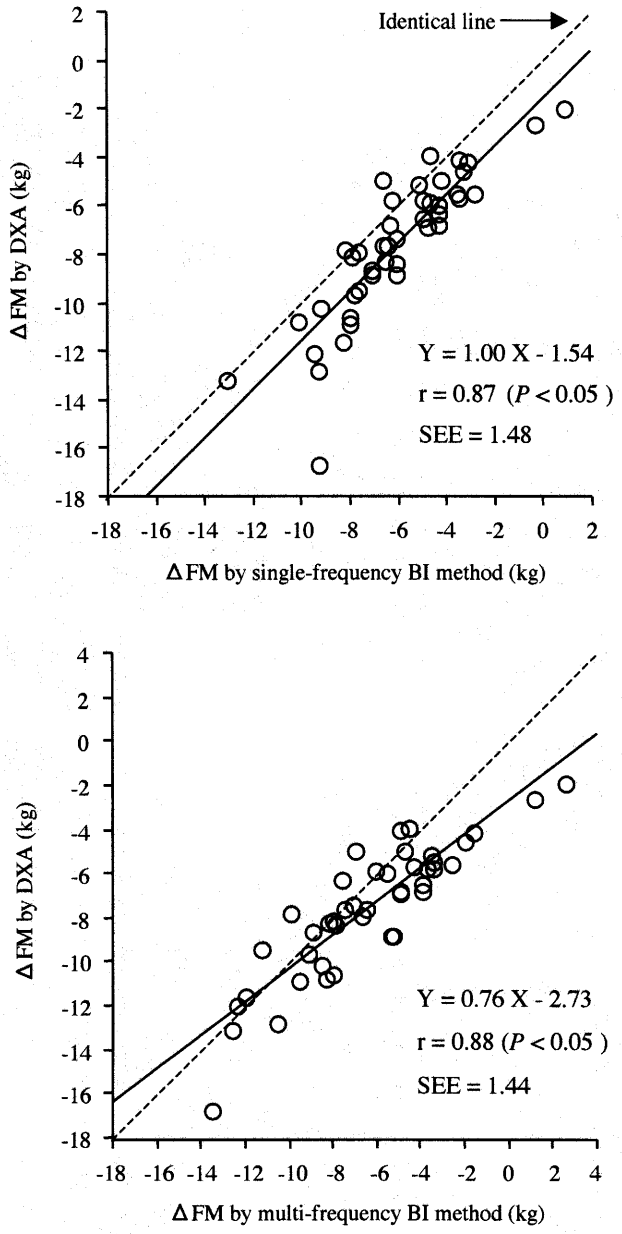

FIGURE 1. Relations between FM changes measured by DXA and by BI methods during the intervention ; DXA : dual energy x-ray absorptiometry ; BI : bioelectrical impedance ; Δ: change ; FM : fat mass ; SEE : standard error of estimate.

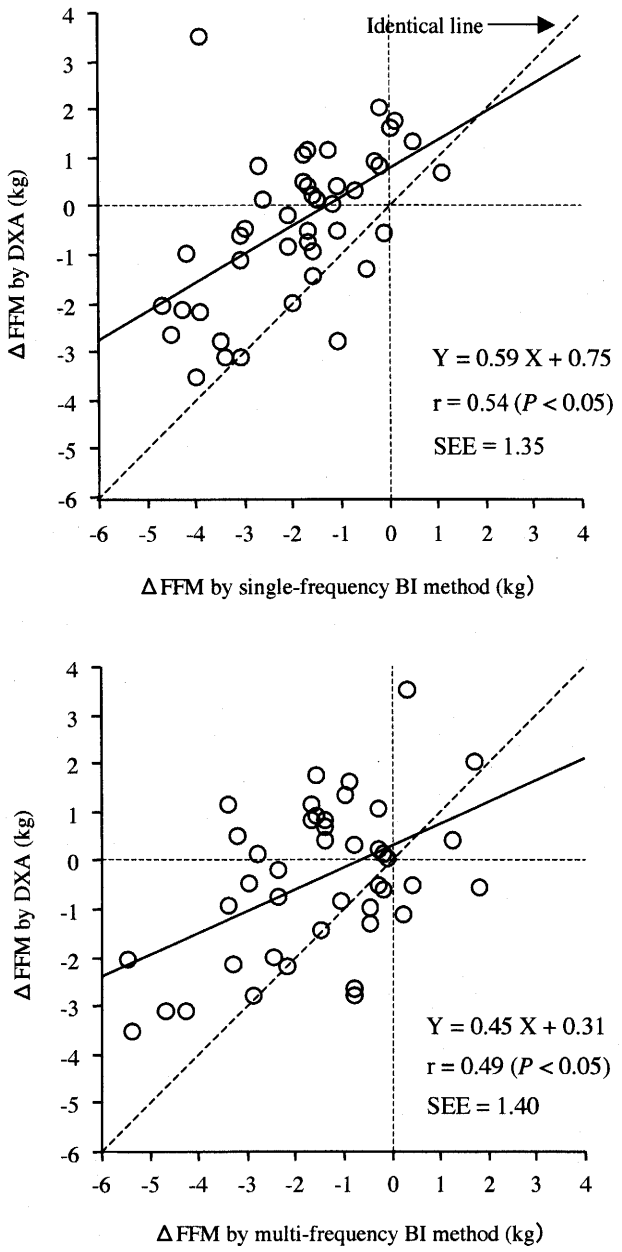

FIGURE 2. Relations between FFM changes measured by DXA and by BI methods during the intervention ; DXA : dual energy x-ray absorptiometry ; BI : bioelectrical impedance ; Δ: change ; FFM : fat-free mass ; SEE : standard error of estimate.

得られることが推察された．さらに，減量に伴うFMの変化量についても，両BI法ともDXAとの間に有意で高い相関係数が得られた．一方，FFMの変化量における相関係数は有意であったものの，FMの変化量から得られたものと比べて高くなかった．この要因として，減量に伴いFMは平均約7.6 kg減少したものの，FFMは平均値でみるとほとんど減少しなかったことが挙げられる．つまり，FFMの変化量のプロットが一箇所に集中することで，それほど高い相関関係が得られなかったと考えられた．次に，単周波数BI法と多周波数BI法について比較すると，減量前後においても，減量による変化量においても，得られた相関係数，SEEは同程度であった．これはFM，FFMの推定に関わらず，同様の結果を示した．つまり，本研究においては両BI法とも高い相関関係が得られ，多周波数BI法と単周波数BI法に顕著な差は認められなかっ

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

TABLE 4. Correlation coefficients between changes of body composition measured by DXA and changes of weight or resistance parameters during the intervention (n=43).

		Δ FFM	Δ FM
	Δ weight (kg)	0.37 *	0.87 *
Single-frequency BI method	Δ R_{50} (Ω)	-0.63 *	0.31 *
Multi-frequency BI method	Δ Rfc (Ω)	-0.48 *	0.30 *
	Δ R_0 (Ω)	-0.08	0.20
	Δ R_∞ (Ω)	-0.05	0.15

n : no. of subjects ; DXA : dual energy x-ray absorptiometry ; BI : bioelectrical impedance ; FM : fat mass ; FFM : fat-free mass ; Δ : change ; R_{50} : resistance at 50 kHz ; Rfc : resistance at a frequency where cell membrane's volume is maximized ; R_0 : resistance at a very low frequency ; R_∞ : resistance at a very high frequency ; *significantly correlated with Δ FFM or Δ FM measured by DXA ($P<0.05$).

TABLE 5. Serial changes of weight, BMI, and resistance parameters (n=9).

		Before	1 week	4 week	After	ANOVA
	Weight (kg)	77.9 ± 4.4	76.6 ± 4.6	74.4 ± 4.6	70.9 ± 5.7	Before>After
	BMI (kg/m²)	28.1 ± 1.3	27.6 ± 1.4	26.8 ± 1.6	25.5 ± 2.2	Before, 1 w>After
Single-frequency BI method	R_{50} (Ω)	490.6 ± 44.9	505.4 ± 46.9	510.1 ± 43.3	504.7 ± 52.8	N.S.
Multi-frequency BI method	Rfc (Ω)	365.2 ± 31.1	366.2 ± 29.0	372.0 ± 28.3	372.7 ± 31.8	N.S.
	R_0 (Ω)	443.2 ± 35.9	443.6 ± 33.7	448.3 ± 33.1	445.4 ± 36.2	N.S.
	R_∞ (Ω)	287.2 ± 28.1	288.8 ± 25.9	295.8 ± 25.7	300.0 ± 28.2	N.S.

Values are mean ± SD ; n : no. of subjects ; BI : bioelectrical impedance ; BMI : body mass index ; R_{50} : resistance at 50 kHz ; Rfc : resistance at a frequency where cell membrane's volume is maximized ; R_0 : resistance at a very low frequency ; R_∞ : resistance at a very high frequency ; N. S. : not significant.

た．これは，大河原ほか[37]によっても報告されているように，単周波数 BI 法によって得られている FM，FFM の推定精度がすでに高く，多周波数 BI 法を用いてもさらに大幅な改善が望まれないと考えられた．また，本研究で用いた多周波数 BI 法の推定式においては，1 種類の抵抗値と複数の抵抗値を合わせた場合の体組成算出に対する貢献度に大差がなかったことも要因の一つとして考えられよう．

本研究において，14週間の減量プログラムを実施した結果，体重が 8.0±3.2 kg 減少した．そのうち，FM_{DXA} の変化量は −7.6±3.0 kg，FFM_{DXA} の変化量は −0.4±1.6 kg であった．体重減少量に占め

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

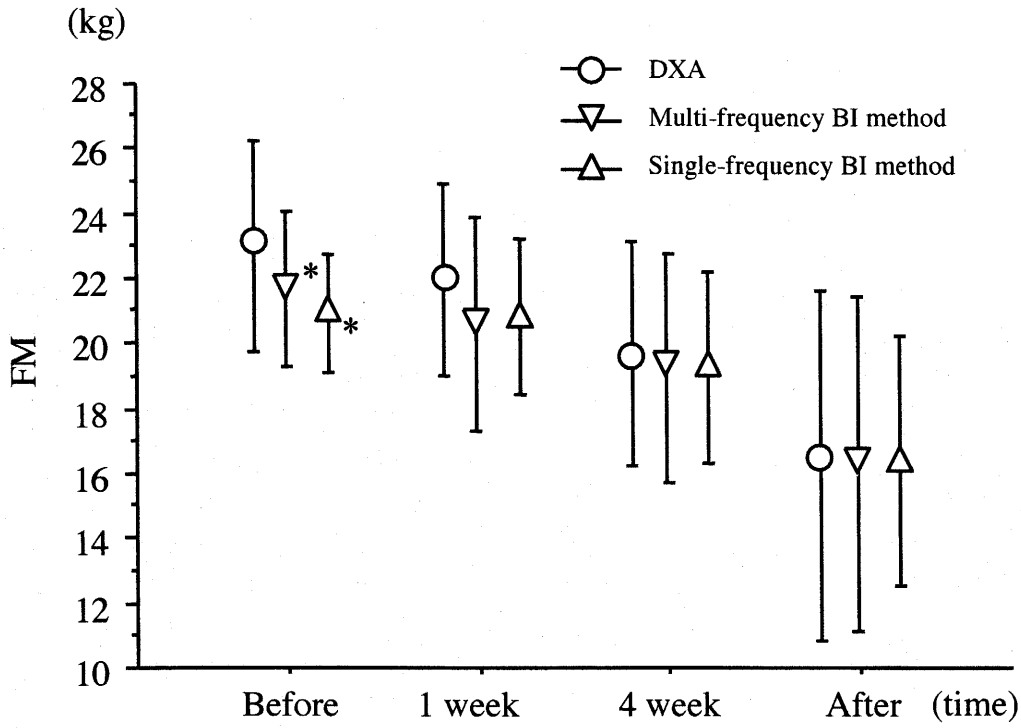

FIGURE 3. Serial changes of FM measured by DXA, single-frequency BI method, and multi-frequency BI method during the intervention ; DXA : dual energy x-ray absorptiometry ; BI : bioelectrical impedance ; FM : fat mass ; *significant difference from FM measured by DXA before the intervention ($P<0.05$).

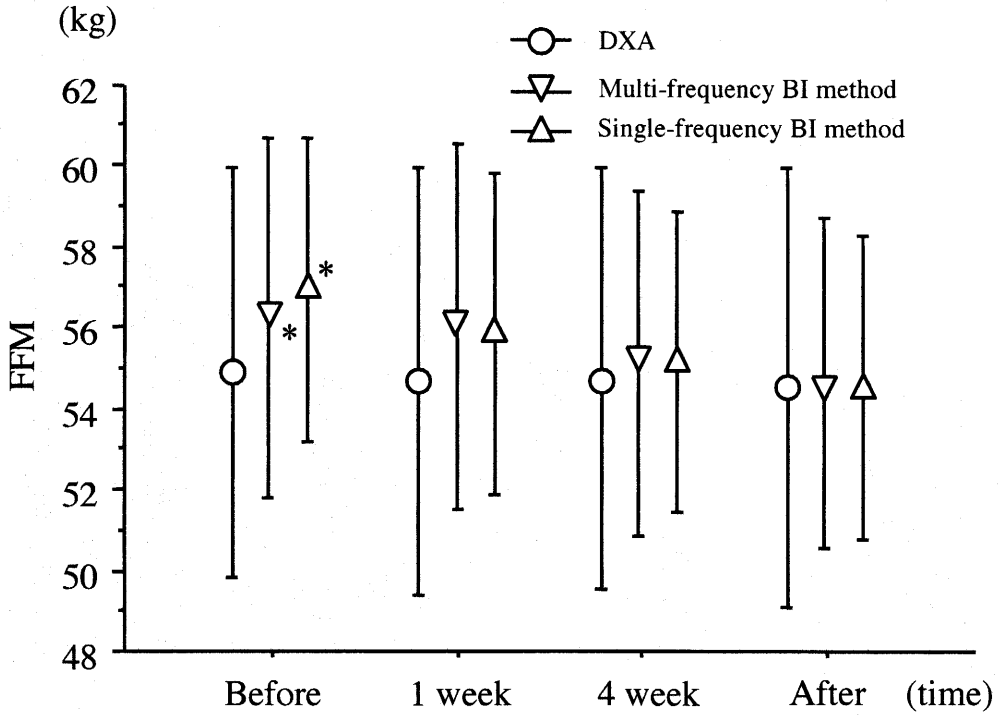

FIGURE 4. Serial changes of FFM measured by DXA, single-frequency BI method, and multi-frequency BI method during the intervention ; DXA : dual energy x-ray absorptiometry ; BI : bioelectrical impedance ; FFM : fat-free mass; *significant difference from FFM measured by DXA before the intervention ($P<0.05$).

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

るFMの割合は約95%となり，体重減少はほぼFMによってなされる結果となった．また，FM_{SBIM}の変化量は−6.0±2.6 kg, FM_{MBIM}の変化量は−6.4±3.5 kgとなり，体重減少量に占めるFMの割合はそれぞれ約75%と約80%であった．両BI法ともに，DXAの値と比較して，減量前後におけるFMの変化量を過小評価することとなった．一方，FFMの変化量については，両BI法ともDXA(−0.4±1.6 kg)と比較して過大評価した(単周波数BI法：−2.0±1.5 kg, 多周波数BI法：−1.6±1.7 kg)．Deurenberg et al.[28]は，減量によるグリコーゲンの減少とそれに伴う水分の減少をBI法では正確に捉えきれないため，FFMの減少量を少なく見積もることを示唆している．一方，van deer Kooy et al.[30]の報告では，BI法は減量によるFFMの減少を過大評価した．彼らはDeurenberg et al.[28]と異なる結果が得られた要因として，測定のタイミングを挙げている．Deurenberg et al.[28]の報告においては，体重の減少が継続している時期に測定したため，減量中に生じるグリコーゲンの減少が測定値に影響を与えたが，van deer Kooy et al.[30]の報告においては，減量後，体重が安定した期間に測定したため，影響を受けなかったと考察している．また，減量によるFFMの変化量を正確に捉えられなかった理由として，標準体格者よりも細胞内液量に対する細胞外液量比の高い肥満体格者が，減量によって標準体格者に近づくことで，細胞外液量と細胞内液量比に変化が生じるため，単周波数BI法によって測定された抵抗値から求めたFFMを減量前後で単純に比較することに限界があることを挙げている．本研究は，van deer Kooy et al.[30]の報告と同様にFFMの変化量を過大評価することとなった．これは，前述した様々な要因が考えられ，本研究のみでは明確にできないものの，本研究結果から考えられる大きな要因として，BI法が肥満体格者のFFMを過大評価することが挙げられる．なぜならば，本研究では減量前のFFMを過大評価していたものの，減量後はDXAによるものと有意差が認められず，FFMの変化量の過大評価は減量前の過大評価が大きく影響していると考えられるからである．また，このことは9名を対象とした減量期間中の経時的変化の結果からも確認できる．減量前は両BI法ともにFFMを過大評価していたものの，減量開始1週後ではDXAとの平均値間に有意差が認められなくなっている．さらに減量の経過とともに両BI法とDXAの平均値は近似し，減量後においてはほぼ一致した．Carella et al.[38]の報告においても，本研究と同様の傾向を示している．彼らは8名の男性を対象として25週間の減量介入を行ない，減量前，減量開始2週後，3週後，13週後，減量後の時点で単周波数BI法と水中体重秤量法にてFFMを測定した．その結果，減量前から減量開始13週後までは，FFMを平均約5 kg過大評価していたが，減量後は2.6±4.4 kgの過大評価に留まっており，その差が小さくなっている．しかしながら，Carella et al.[38]の報告において，減量後も妥当基準との平均値間に有意差がみられた要因として，対象者が減量後においても依然として高度肥満であったことが考えられた(Carella et al.；43±4 kg/m^2→34±6 kg/m^2，本研究；27.8±1.7 kg/m^2→25.0±2.0 kg/m^2)．この点について，先行研究では多周波数BI法は単周波数BI法では肥満体格者のFFMを過大評価してしまう点を改善できるといわれていた[39,40]が，本研究の結果では単周波数BI法と同様に肥満体格者のFFMを過大評価し，この点を克服するに至らなかった．

本研究では，体重が8.0±3.2 kg減少したにもかかわらず，両BI法から得られた各抵抗値は，減量前後および減量期間中においてほとんど変わらなかった．Komiya et al.[29]，van deer Kooy et al.[30]の報告においても，減量前後でそれぞれ+9Ω，+16Ωしか変化しておらず，FM，FFMの変化量と抵抗値の変化量との間に有意な相関関係は得られていない．しかしながら，本研究ではR_{50}およびR_{fc}の変化量とDXAによるFFMの変化量との間に有意な相関係数が得られた．この結果は，Komiya et al.[14]，Nakadomo et al.[15]によって横断的に検討された，単周波数BI法による抵抗値と基準法によるFFMとの間に得られた相関係数と変わらない．つまり，R_{50}およびR_{fc}の変化がわずかであったにも関わらずこのような結果が得られたことは，先行研究[29,30]に報告されているものと異なるものであり，BI法が減量中の体組成変化を高精度で推定できる可能性を示唆するものである．一方，DXAと両BI法におけるFMの変化量との間に高い相関係数が得られたにも関わらず，FMの変化量とR_{50}および

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

Rfc の変化量との間に得られた相関係数は FFM の変化量との間に得られたものより高くなかった．つまり，この結果から，BI 法が本来体水分量と生体電気抵抗値との関係を利用して体組成を推定する原理に基づいていることが変化量の推定においても保持されていることが確認された．

以上の成績から，減量における FM，FFM の変化量を今後さらに正確に推定する方法として二通り考えられた．一つは肥満者の FFM を過大評価せず，かつ標準体格者にも適合する推定式を提案し，減量前後で測定した値を引くことで変化量を求める方法である．もう一つは，減量前後の抵抗値などを変数として，体組成の変化量を直接推定する式を提案する方法である．両者ともに今後より詳細な検討が必要であるが，多くの先行研究で BI 法は肥満者の FFM を過大評価しており，それを明確に改善した報告がなされていないことや，本研究においては多周波数 BI 法を用いてもその点が改善されなかったことから，後者に BI 法の新たな可能性が見出せると考えられた．

V. ま と め

本研究では，減量前後の体組成変化および減量期間中の体組成の経時的変化における BI 法の推定精度について検討し，以下の知見を得た．

1. 減量前後における FM_{DXA} の変化量と FM_{SBIM} および FM_{MBIM} の変化量との間に，r＝0.87，r＝0.88 の有意な相関係数と 1.48 kg，1.44 kg の SEE が得られた．また，FFM_{DXA} の変化量と FFM_{SBIM} および FFM_{MBIM} の変化量との間には，r＝0.54，r＝0.49 の有意な相関係数と 1.35 kg，1.40 kg の SEE が得られた．
2. 平均値において，単周波数 BI 法および多周波数 BI 法は，DXA と比較して FFM の変化量を過大評価した．両 BI 法は，減量前における FFM を過大評価していたものの，減量の経過とともに DXA による FFM と近似し，減量後においてはほぼ一致した値が得られた．このことから，両 BI 法が FFM の変化量を過大評価した原因として，減量前において肥満体格者の FFM を過大評価したことが考えられた．
3. FFM_{DXA} の変化量と R50 および Rfc の変化量との間に，r＝－0.63，r＝－0.48 の有意な相関係数が得られた．このことから，BI 法による生体電気抵抗値の変化量を用いて，体組成の変化量をより正確に推定できる可能性が示唆された．

謝 辞

本研究は，公益信託 タニタ健康体重基金，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)，研究拠点形成費補助金(21世紀 COE プログラム西平プロジェクト)の支援を受けて行なったものである．ここに，感謝の意を表します．

(受理日 平成17年10月28日)

文 献

1) Behnke, A. R., Feen, B. G., Welham, W. C. The specific gravity of healthy men. body weight and volume as an index of obesity-1942. Obes. Res., (1995), **3**, 295-300.
2) Ellis, K. J. Human body composition : in vivo methods. Physiol. Rev.,(2000), **80**, 649-680.
3) Haarbo, J., Gotfredsen, A., Hassager, C., Christiansen, C. Validation of body composition by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). Clin. Physiol.,(1991), **11**, 331-341.
4) Schoeller, D. A. Isotope dilution methods In., Bjorntorp, P. & Brodoff, B. N., Obesity, Lippincott, New York,(1991), 80-88.
5) 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.
6) 小宮秀一，小室史恵，吉川和利．体脂肪率(%Fat)推定法の比較．体力科学，(1981)，**30**，277-284.
7) Durnin, J. V. G. A. & Womersley, J. Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. Br. J. Nutr.,(1974), **32**, 77-97.
8) Jackson, A. S. & Pollock, M. L. Generalized equations for predicting body density of men. Br. J. Nutr.,(1978), **40**, 487-504.
9) Gray, D. S. & Fujioka, K. Use of relative weight and body mass index for the determination of adiposity. J. Clin. Epidemiol.,(1991), **44**, 545-550.
10) 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.
11) 田中茂穂，松坂 晃，服部恒明．水中体重秤量法と比較した各種身体組成測定法による肥満判定精度．肥満研究，(2000)，**6**，168-172.
12) 長嶺晋吉．皮脂厚法からの肥満の判定，日本医師会雑誌，(1972)，**68**，919-924.

NII-Electronic Library Service

The Japanese Society of Physical Fitness and Sport Medicine

13) Chumlea, W. C. & Guo, S. S. Bioelectrical impedance and body composition: Present status and future directions. Nutr. Rev.,(1994), **52**, 123-131.
14) 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.
15) 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.
16) 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.
17) 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.
18) Gray, D. S., Bray, G. A., Gemayel, N., Kaplan, K. Effect of obesity on bioelectrical impedance. Am. J. Clin. Nutr.,(1989), **50**, 255-260.
19) Deurenberg, P., Tagliabue, A., Schouten, F. J. Multi-frequency impedance for the prediction of extracellular water and total body water. Br. J. Nutr.,(1995), **73**, 349-358.
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) 服部恒明. 身体組成の人類学的課題と健康ーとくに体脂肪分布に着目してー. 人類学雑誌, (2000), **107**, 121-128.
22) 徳永勝人. 肥満の体型と疾病, 初版, 新版肥満の臨床医学, 池田義雄, 井上修二編, 朝倉書店, 東京, (1993), 155-162.
23) Hoffer, E. C., Meador, C. K., Simpson, D. C. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. J. Appl. Physiol.,(1969), **27**, 531-534.
24) 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.
25) 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.
26) 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.
27) 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, (1992), **41**, 467-476.
28) Deurenberg, P., Weststrate, J. A., van der Kooy, K. Body composition changes assessed by bioelectrical impedance measurements. Am. J. Clin. Nutr.,(1989), **49**, 401-403.
29) Komiya, S., Imai, K., Masuda, T. Validity of bioelectrical impedance measurement for determining changes in human body composition during weight reduction. Jpn. J. phys. Fitness Sports Med.,(1992), **41**, 576-585.
30) van der Kooy, K., Leenen, R., Deurenberg, P., Seidell, J. C., Westerterp, K. R., Hautvast, J. G. Changes in fat-free mass in obese subjects after weight loss: a comparison of body composition measures. Int. J. Obes.,(1992), **16**, 675-683.
31) Janssen, I., Heymsfield, S. B., Baumgartner, R. N., Ross, R. Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. J. Appl. Physiol., (2000), **89**, 465-471.
32) 松澤佑次, 井上修二, 池田義雄, 坂田利家, 齋藤　康, 佐藤祐造, 白井厚治, 大野　誠, 宮崎　滋, 徳永勝人, 深川光司, 山之内国男, 中村　正. 新しい肥満の判定と肥満症の診断基準. 肥満研究, (2000), **6**, 18-28.
33) Wynn, V., Densem, J. W., Abraham, R. R. Method for estimating rate of fat loss during treatment of obesity by calorie restriction. Lancet,(1985), **2**, 482-486.
34) Lukaski, H. C. Soft tissue composition and bone mineral status : evaluation by dual-energy x-ray absorptiometry. J. Nutr.,(1993), **123**, 438-443.
35) 体組成計 BC-118 取り扱い説明書. 株式会社タニタ, 32.
36) 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成人の身体組成の評価. 日本運動生理学雑誌, (1999), **6**, 37-45.
37) 大河原一憲, 田中喜代次, 中田由夫, 李　東俊, 魏丞完, 中塘二三生. 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. 体力科学, (2003), **52**, 443-454.
38) Carella, M. J., Rodgers, C. D., Anderson, D., Gossain, V. V. Serial measurements of body composition in obese subjects during a very-low-energy diet (VLED) comparing bioelectrical impedance with hydrodensitometry. Obes. Res.,(1997), **5**, 250-256.
39) Deurenberg, P. Limitations of the bioelectrical impedance method for the assessment of body fat in severe obesity. Am. J. Clin. Nutr.,(1996), **64**, 449S-452S.
40) 田中喜代次, 奥野　淳, 藤本誉博, 和田実千, 上原一人, 李東俊, 渡邉寛, 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ーDEXA 法および体水分法との比較からー. 肥満研究, (2000), **6**, 68-75.

NII-Electronic Library Service