

## 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

奥野 淳<sup>1)</sup> 中塘二三生<sup>2,5)</sup> 大蔵倫博<sup>3)</sup> 田中喜代次<sup>4,5)</sup>

### A comparison of four bioelectrical impedance methods and skinfold thickness method for estimation of %body fat

Jun Okuno<sup>1</sup>, Fumio Nakadomo<sup>2,4</sup>, Tomohiro Okura<sup>3</sup> and Kiyoji Tanaka<sup>4,5</sup>

#### Abstract

A variety of techniques for assessing human body composition have been developed. However, the validity of these methods has not been compared in the same subjects. The purposes of this study were (1) to evaluate the validity of %body fat using 5 kinds of indirect method—4 brands of bioelectrical impedance (BI) analyzers and skinfold thickness—against body fat data derived by underwater weighing, and (2) to discuss the accuracy of each method. The subjects were 40 men and 61 women, aged 20 to 67 years (men:  $31.0 \pm 11.0$  yr, women:  $36.0 \pm 13.0$  yr). The BI analyzers used for this study were the Sekisui SS-103, Omron HBF-300, Ueda TYPE-PS, and Tanita TBF-534, and an Eiken caliper was used for skinfold thickness determination. Percentage of body fat estimated by each method was significantly correlated ( $r=0.55-0.77$ ) with the data from underwater weighing in both sexes, and the standard error of estimate (SEE) for %body fat was about 3% for men. However, %fat estimated by the HBF-300 and skinfold thickness for women were significantly different from the results of underwater weighing, giving a SEE of 4% or over for all methods. The accuracy of %fat estimated by the TBF-534 was slightly worse than that for the other BI analyzers in both sexes. In women, the accuracy of %fat estimated by skinfold thickness was slightly worse than that by the BI methods. From these results, it is concluded that %fat can be estimated by each method without a large discrepancy. However, the validity of each method for estimating %fat may not be as high as other reference methods. Further research is necessary for improvement of prediction accuracy.

**Key words:** bioelectrical impedance method, underwater weighing, human body composition, percent body fat

(Japan J. Phys. Educ. 45: 252-261, March, 2000)

- 1) 筑波大学体育研究科  
〒305-8574 つくば市天王台 1-1-1
- 2) 大阪府立看護大学看護学部  
〒583-8555 大阪府羽曳野市はびきの 3-7-30
- 3) 筑波大学体育科学研究科  
〒305-8574 つくば市天王台 1-1-1
- 4) 筑波大学体育科学系  
〒305-8574 つくば市天王台 1-1-1
- 5) 筑波大学先端学際領域センター  
〒305-8577 つくば市天王台 1-1-1

1. *Master's Program in Health and Physical Education, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*
2. *Osaka Prefectural College of Nursing, 3-7-30 Habikino, Habikino, Osaka 583-8555*
3. *Doctoral Program in Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*
4. *Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574*
5. *Center for Tsukuba Advanced Research Alliance, 1-1-1 Tennohdai, Tsukuba, Ibaraki 305-8577*

キーワード：インピーダンス法，水中体重秤量法，身体組成，体脂肪率

## 緒 言

ヒトの身体組成を直接測定するには，死亡直後の人間を解剖する以外にはできないことから，今日までに密度法，体水分法，カリウム法，尿中クレアチニン法，中性子活性法，CT スキャニング，核磁器共鳴映像法 (MRI)，超音波による皮下脂肪厚測定法，二重エネルギー X 線吸収法 (DXA) など，数多くの間接的な身体組成評価法が開発されてきた。これらの方法は，有用な評価法として認められているものの，測定方法が複雑でしかも測定装置が高価なことから，実用性や経済性に問題がある。それゆえ実際には，実用性を重視したキャリパーを用いた皮下脂肪厚から推定する方法（以下，皮脂厚法）や身体に極微弱の電流を流した際の抵抗値から除脂肪量や体水分量を推定する生体電気抵抗法 (bioelectrical impedance method: BI 法) がよく用いられている。これらの方法は，複雑な測定機器や高度な技術を必要とせず，短時間で測定を可能とする利点を有していることから簡便法と言われている。

BI 法は，測定の客観性 (田中ほか，1990)，信頼性 (Lukaski et al., 1985；中塘ほか，1991)，および妥当性 (Lukaski et al., 1985；Segal et al., 1985；Nakadomo et al., 1990；中塘ほか，1990c；坂本ほか，1992；吉村ほか，1997) が高く，年齢・性に関係なく (Katch et al., 1986；Lukaski et al., 1985；中塘ほか，1987；Kim et al., 1994)，容易に適用できる特徴を有することから，医療機関やフィットネスクラブ，栄養学関連の研究機関などで利用されている。加えて最近では，吸着電極や電極ゲルを必要とせず，立位姿勢のまま，手や足の電気抵抗情報から体脂肪率を推定する BI 計が開発されており，簡便化がさらに進んでいる。これらの製品の一部は家電店などにおいて安値で手に入れることができ，一般家庭でも容易に自身の体脂肪率を知ることができるようになってきている。

身体組成を評価するこれら各種の BI 法は，推

定式や電極の接触部位などがそれぞれ異なるため，同一被検者であっても一致した値が常に得られるとは言い難い。むしろ同じ値が得られることはまれであろう。このような測定値の不一致は，運動処方現場において混乱を生じさせかねない。ゆえに，同一被検者に対して複数の異なる測定機器を適用した場合，互いにどの程度の差異を生じるかについて詳細に検討することは重要である。そこで本研究では，密度法である水中体重秤量法によって求められた体脂肪率を妥当基準とし，現在，国内で生産されている 4 つの異なる BI 計および従来より頻繁に活用されてきた皮脂厚法の妥当性，さらにこれら 5 つの方法の精度にどの程度の差があるかを検討することとした。

## 方 法

### 対象者

本研究の対象者は，20-60歳の男性40名（平均年齢と標準偏差は $31 \pm 11$ 歳）および，20-67歳の女性61名（同 $36 \pm 13$ 歳）である。なお，対象者一人ひとりに本研究の目的および測定内容を説明し，研究参加への承諾を得た。

### 測定項目および方法

体脂肪率の算出に先だって身長は0.1 cm，体重は0.1 kg まで測定した。水中体重秤量法，皮脂厚法，BI 法 (4 種類) による体脂肪率は以下のごとく推定した。なお，前日に激しい運動をしていないこと，さらに測定前の2時間以内に摂食・摂水を行わない排便・排尿後の条件下で測定することなどを，対象者に前もって指示した。

#### 1. 水中体重秤量法による密度法

対象者は水着姿で測定した。水中での体重 (以下，水中体重) は，ステンレス製タンク内 (横1.0 m×縦0.8 m，深さ1.1 m) において，天井から吊した籠 (横0.6 m×縦0.45 m，深さ0.3 m) の中で，最大呼息の状態 (約5秒間静止) においてストレンゲージ法を利用したロードセル (総合計装社製：TR215K 防水型) により測定した (Nakadomo et al. 1990；田中ほか，1990)。測定回数は5-10回とし，水中での体重が安定し，か

つ重い値の上位3回の平均値を採用した。測定時の水温は、35–38°Cに保った。なお、見かけ上の体積を理論上の真の体積に補正するために、最大呼息状態においてもなお肺内に残っている気体量（肺残器量）と、腸内などに残っている気体量（腸内ガス量）を考慮に入れた。身体密度（Db, g/ml）は、以下の式によって求めた。

$$Db = Wa / \{ (Wa - Ww) / Dw - (RV + VGI) \}$$

ここで、Waは空気中での体重（kg）、Wwは水中での体重（kg）、Dwは水の密度（g/ml）、RVは肺残気量（l）、VGIは腸内ガス量（l）を示す。肺残気量は閉鎖回路法を利用したヘリウム希釈法（フクダ産業社製 FRC Computer COMF-100）にて測定し、腸内ガス量は、Buskrik (1961) の提案に従って0.15 lとした。体脂肪率は Brožek et al. (1963) %Fat = (4.570/Db - 4.142) × 100の式より算出した。

## 2. 皮脂肪厚法

皮脂肪厚法による体組成は、栄研式キャリパー（国際規定圧：10 g/mm<sup>2</sup>）を用いて、上腕背側の中央部と肩甲骨下部の皮下脂肪厚を測定した。測定部位は体の右側とした。本研究の対象者が20–67歳の成人男女であることから、身体密度は、2部位の皮下脂肪厚の合計値と体表面積（body surface area: BSA）（藤本ほか，1969）からなる長嶺（1972）の式（下式）より算出した。この式は、性・年齢に関係なく利用できることされている。

$$Db = 1.0923 - 0.000514X$$

ただし、

$$X = 100 \times BSA \times (\text{上腕背側部と肩甲骨下部の皮脂肪厚和(mm)}) / Wt(\text{kg})$$

$$BSA = 0.008883 \times (Wt^{0.444}) \times (Ht^{0.663}),$$

Wtは体重（kg）、Htは身長（cm）を示す。

体脂肪率は、算出された体密度（Db）を Brožek et al. (1963) の式に代入することにより求めた。

## 3. Bioelectrical impedance 法

BI法による測定姿勢は、Fig. 1に示した。

1) SS-103（積水化学工業株式会社製インピーダンス計）

出力電流を800 μA, 50 kHzに規定した積水化学工業株式会社製の4極法によるインピーダンス計『SS-103』と中塘らが同法用に応用した吸着電極（1990a）を用いてZを測定した。測定体位は、簡易ベッド上で仰臥位にて腋窩および大腿部を開いた姿勢とした（Fig. 1）。電極は利き側の手足甲部をアルコール綿にて十分に清拭し、かつ電極用ゲルを塗布した後に装着した。検出電極の装着部位は、尺骨茎状突起と橈骨茎状突起間の中央部および脛骨内果と腓骨外果間の中央部とし、電流電極は検出電極より指先側に3 cm 離して装着した。

体密度の算出には、Nakadomo et al. (1990) および中塘ほか（1990c）が水中体重秤量法による体密度を妥当基準として成人用に作成したものを利用した。

$$\text{男性：} Db = 1.1492 - 0.0918(Wt \cdot Z) / Ht^2$$

$$\text{女性：} Db = 1.161 - 0.0909(Wt \cdot Z) / Ht^2 - 0.00039X$$

ただし、Zはimpedance（ohms）、Xは年齢を示す。体脂肪率は Brožek et al. (1963) の式より

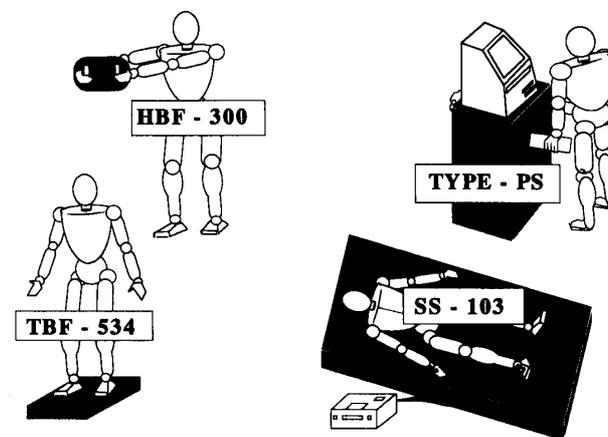


Fig. 1 The posture of estimating %body fat by 4 kinds of bioelectric impedance methods.

算出した。

2) HBF-300 (オムロン製インピーダンス計)  
出力電流を800  $\mu$ A, 50 kHz に規定したオムロン製の4極法によるインピーダンス計『HBF-300』を用いて体脂肪率を推定した。測定開始に先立って、身長・体重・年齢・性別を同機器に入力した。測定体位は立位姿勢とし、腕を伸ばした両腕が床と水平になる姿勢で、インピーダンス計(HBF-300)の電極部を両手で軽く握ってZを求めた。体脂肪率は、測定機器に内蔵されている推定式から表示された値とした。

3) TYPE-PS (株式会社ウエダ製作所製インピーダンス計『活齡』)  
出力電流を800  $\mu$ A, 50 kHz に規定したウエダ製作所の4極法によるインピーダンス計『TYPE-PS』を用いて体脂肪率を推定した。測定体位は立位姿勢とし、液晶画面に現れる映像と音声に従って、年齢・身長・体重を入力した。測定姿勢は上腕と体幹のなす角度(腋窩)が約30度になるよう腕を体側に下ろした姿勢とし、両手でグリップを軽く握ってZを求めた。体脂肪率は、測定機器に内蔵されている推定式から表示された値とした。

4) TBF-534 (タニタ製インピーダンス計)  
出力電流を800  $\mu$ A, 50 kHz に規定したタニタ製の4極法によるインピーダンス計『TBF-534』を用いて体脂肪率を推定した。推定前に先だって身長を入力した後、電極板上に立位の自然体で乗り、両足の前方部分より電流を流し、両足かかと

間の電圧からZを求めた。体脂肪率は、測定機器に内蔵されている推定式から表示された値とした。

SS-103以外のBI法による身体組成評価の推定式は、論文などで発表されていないため、本論文で紹介する事はできなかった。

#### 4. データ解析

各測定法で求められた体脂肪率と妥当基準との平均値の差を検討するために、一元配置の対応のある分散分析を行なった。有意差の認められる場合にはTukey post hoc testを適用した。また、両者の対応関係をみるために単回帰分析を行なった。各変数間の相関関係は、ピアソンの積率相関係数により検討し、さらにそれらの相関係数間の有意差検定を行なった。統計的有意水準はすべて5%とした。また、推定精度を検討するために、標準推定誤差(standard error of estimate: SEE,  $SEE = SD(1-r^2)^{1/2}$ )を算出した。

## 結 果

対象者の年齢および身体的特徴の平均値と標準偏差は、Table 1に示した。水中体重秤量法による体脂肪率(percent body fat by underwater weighing: %fat<sub>UW</sub>)は、男性が17.9 $\pm$ 4.1%、女性が28.8 $\pm$ 6.4%であった。BI法と皮脂厚法による体脂肪率の平均値と標準偏差、および%fat<sub>UW</sub>との相関関係、標準推定誤差(standard error of estimate: SEE)をTable 2に示した。Fig. 2は、%fat<sub>UW</sub>とSS-103および皮脂厚法による体

Table 1 Physical characteristics of subjects

	Men (n=40)		Women (n=61)	
	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range
Age, yr	31.0 $\pm$ 11.0	20.0-60.0	36.0 $\pm$ 13.0	20.0-67.0
Height, cm	170.4 $\pm$ 5.6	157.8-183.8	154.7 $\pm$ 5.5	140.8-167.2
Weight, kg	65.4 $\pm$ 7.8	48.6-86.1	52.8 $\pm$ 8.5	39.1-74.5
Triceps, mm	11.6 $\pm$ 4.1	5.0-21.5	23.2 $\pm$ 8.3	9.5-44.0
Subscapular, mm	15.2 $\pm$ 6.3	6.5-33.0	23.0 $\pm$ 11.1	5.5-54.5
Impedance, ohms (SS-103)	452.0 $\pm$ 41.0	373-566	559.0 $\pm$ 55.0	390-690
Body fat, %	17.9 $\pm$ 4.1	11.4-28.6	28.8 $\pm$ 6.4	18.1-41.7

Body fat was estimated by underwater weighing

**Table 2** Body composition assessed by bioelectrical impedance method and skinfold thickness method

	method	%body fat	range	regression equations			SEE
		mean $\pm$ s.d.		a	b	r	
men	SS-103	18.5 $\pm$ 3.4	10.4-26.2	0.80	3.00	0.67 <sup>#</sup>	3.07
	HBF-300	17.8 $\pm$ 4.4	10.5-29.2	0.66	6.17	0.70 <sup>#</sup>	2.95
	TYPE-PS	17.8 $\pm$ 4.6	10-27.8	0.62	6.83	0.70 <sup>#</sup>	2.97
	TBF-534	18.8 $\pm$ 4.2	10.5-27.6	0.54	7.70	0.55 <sup>#</sup>	3.46
	skinfold thickness	18.3 $\pm$ 4.4	12-31.4	0.61	6.73	0.66 <sup>#</sup>	3.12
women	SS-103	27.8 $\pm$ 6.6	18-48.7	0.75	8.06	0.77 <sup>#</sup>	4.07
	HBF-300	27.6 $\pm$ 6.0*	16.7-42.0	0.81	6.51	0.76 <sup>#</sup>	4.21
	TYPE-PS	27.8 $\pm$ 6.1	16.6-41.3	0.78	7.13	0.74 <sup>#</sup>	4.29
	TBF-534	27.5 $\pm$ 7.0	16.8-53.5	0.62	11.74	0.68 <sup>#</sup>	4.70
	skinfold thickness	30.7 $\pm$ 9.1*	13.7-51.5	0.43	15.52	0.62 <sup>#</sup>	5.04

regression equations a: slope, : intercept, r: correlation coefficient

SEE: standard error of estimate

\*Significantly different from underwater weighing ( $P < 0.05$ )

<sup>#</sup>Significantly correlated to underwater weighing ( $P < 0.05$ )

脂肪率との相関関係を示したものである。

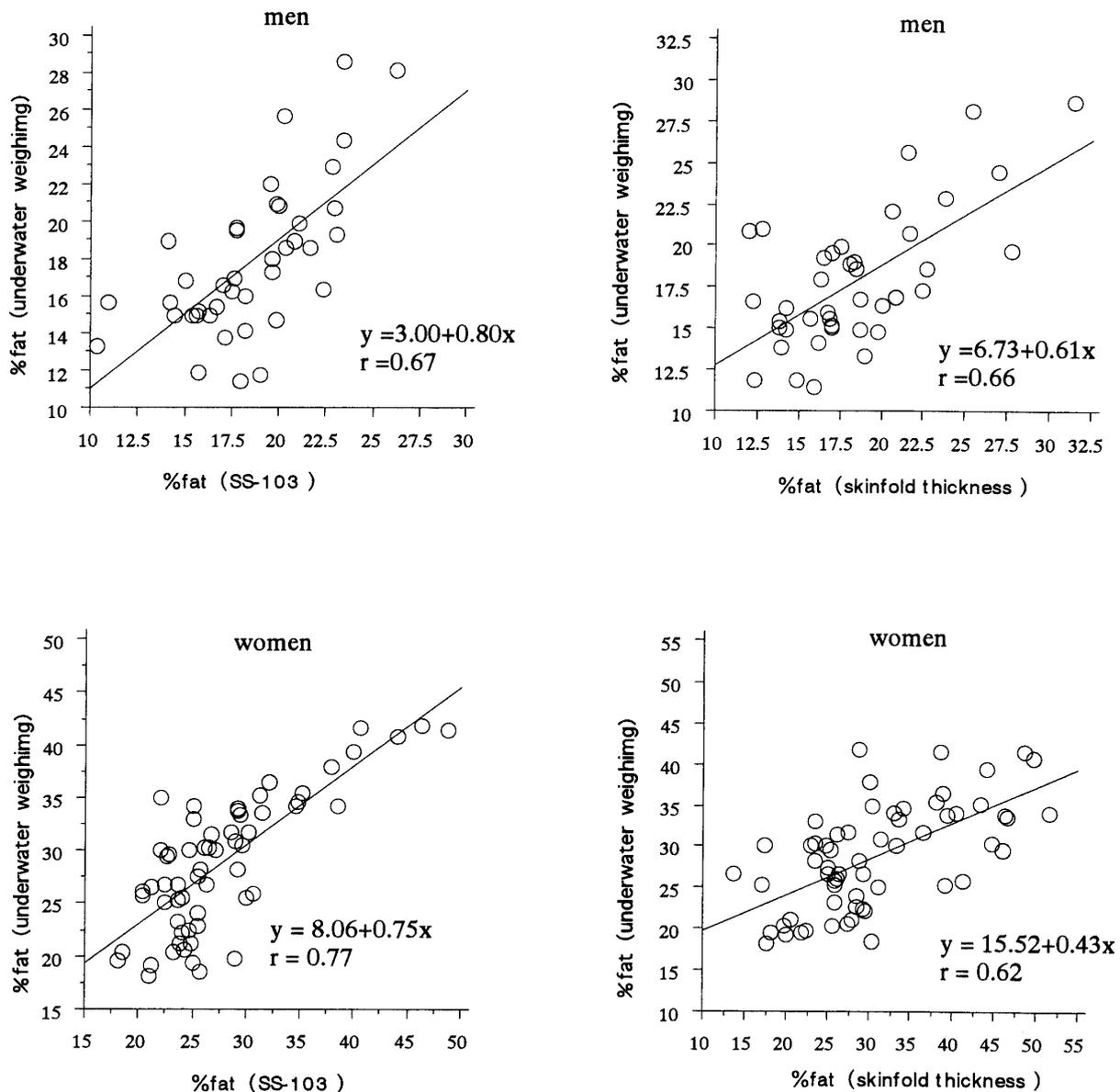
男性・女性ともにいずれの方法による体脂肪率も %fat<sub>UW</sub> との間に有意な相関 ( $r=0.55-0.77$ ) がみられた。男性においては、各推定法による体脂肪率の SEE が 3 % 前後の値を示した。女性においては、HBF-300 による体脂肪率と %fat<sub>UW</sub> の平均値間に有意差が認められ、SEE はいずれの方法においても 4 % を越えた。

体脂肪率推定において 4 種の BI 法を比べると、TBF-534 による体脂肪率の推定精度は、男性 ( $a=0.54$ ,  $r=0.55$ ,  $SEE=3.46\%$ )、女性 ( $a=0.62$ ,  $r=0.68$ ,  $SEE=4.70\%$ ) とともに他の機種に比べて若干劣る傾向がみられた。皮脂厚法と BI 法を比較すると、男性においては、BI 法と皮脂厚法の推定精度は近似する結果が得られた (Table 2, Fig. 2)。一方、女性では、皮脂厚法による体脂肪率と %fat<sub>UW</sub> の平均値間に有意差が認められ、傾きおよび SEE のいずれも BI 法に比べて若干推定精度に劣る結果が得られた。%fat<sub>UW</sub> と各推定法による体脂肪率との相関係数間に有意差は認められなかった。

## 考 察

身体組成を評価する場合、その推定精度が重視されることは言うまでもない。高い推定精度を得るためには、1) 推定値と基準値の平均値の差が小さいこと、2) 基準値を従属変数、推定値を独立変数として単回帰分析した時に得られる傾きが 1.0 に近いこと、3) 相関係数が 1.0 に近づくこと、4) 標準推定誤差 (standard error of estimate: SEE) が小さいことといえる。また、SEE は回帰式における変数の誤差を示しているため、SEE が如何に小さい値を示したとしても、実測値と推定値の関係が  $Y=X$  の直線上に乗っているとは限らない。それ故、推定精度を検討するには、SEE と回帰直線の傾き (a) のどちらか一方だけでは不十分であり、両方あって初めての的に評価できるのである。

本研究では、いずれの推定方法による体脂肪率も %fat<sub>UW</sub> との間に、男性・女性ともに  $r=0.55-0.77$  の有意な相関がみられた。男性においては、各推定法による体脂肪率の SEE が 3 % 前後を示し、これまでの先行研究 (Jackson et al., 1988; Nakadomo et al., 1990; 坂本ほか, 1992; 吉村

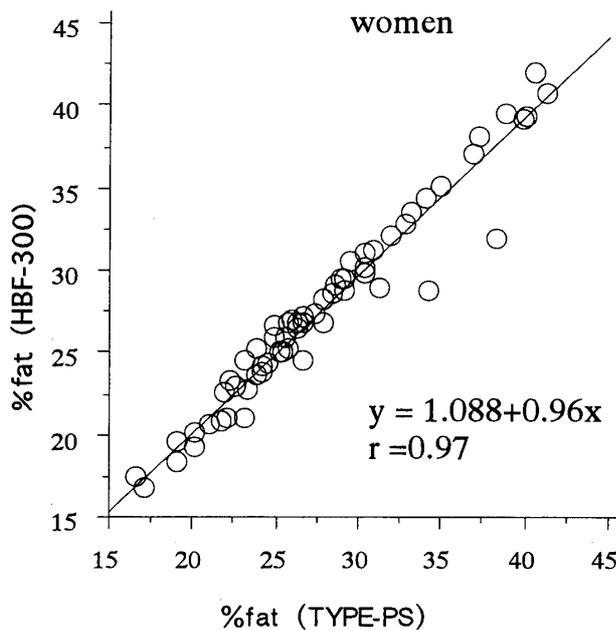


**Fig. 2** Relationship between %body fat estimated by bioelectrical impedance method (SS-103), skinfold thickness and %body fat estimated by underwater weighing.

ほか、1997) に類似した良好な値を示したが、女性における体脂肪率の SEE は 4 % を越え、これまでの報告 (Jackson et al., 1988 ; 中塘ほか, 1990c ; 坂本ほか, 1992 ; 吉村ほか, 1997) と比べて若干劣る傾向がみられた。回帰式の傾きは SS-103 を除いて、identity line ( $Y=X$  の直線) から逸脱しており、推定精度は決して高いとはいえない。

体脂肪率の推定精度について 4 種の BI 法を比べると、男性・女性ともに SS-103, HBF-300,

TYPE-PS の傾き (a), SEE, %fat<sub>uw</sub> との相関は近似し、これまでの先行研究 (Nakadomo et al., 1990 ; 中塘ほか, 1990c ; 坂本ほか, 1992 ; 吉村ほか, 1997) に類似した結果が得られたが、TBF-534 による体脂肪率の推定精度は、他の機種に比べて若干低い傾向がみられた。HBF-300 と TYPE-PS においては類似する結果が得られた (Table 2, Fig. 3)。両 BI 計ともに立位両掌間誘導であり、両腕部を中心とした電気抵抗値から体脂肪率を推定するものであること、本研究にお



**Fig. 3** Relationship between %body fat estimated by HBF-300 and %body fat estimated by TYPE-PS.

いて HBF-300 と TYPE-PS の体脂肪率との間に  $r=0.918$  (男性) および  $r=0.974$  (女性) の非常に高い相関が認められたことなどから、このような類似した結果が得られたものと思われる。すなわち、電極を持つ位置の違いは、体脂肪率を推定することに影響を及ぼさないと見える。吉村ほか (1997) は、HBF-300 の開発にさきがけて、オムロンが独自に製造した研究用 BI データ収集装置を使用して両掌間〈立位〉、両足底間〈立位〉、手甲部-足甲部〈仰臥位〉の 3 種の誘導法にてインピーダンス (impedance:  $Z$ ) を測定し、作成した FFM 推定式から求めた体脂肪率について、水中体重秤量法との相関性を 3 種の誘導間で比較している。その結果、立位両掌間誘導 (男性:  $r=0.83$ , 女性:  $r=0.84$ ) は立位両足底間誘導 (男性:  $r=0.77$ , 女性:  $r=0.78$ ) よりも良好な相関を示し、仰臥位手足間誘導 (男性:  $r=0.83$ , 女性:  $r=0.86$ ) と大差が見られないことを報告している。このことは、手と足に電極を配置する BI 法で測定された  $Z$  に対して、腕の  $Z$  の貢献度が脚の  $Z$  の貢献度よりも優ることを示唆するものであろう。Going et al. (1987), Baumgartner et

al. (1989) も同様な結果を報告している。我々も独自に 16 名の被検者 (男性: 9 名, 女性: 7 名) を用いて、立位姿勢にて両掌間、両足底間、右手右足底間の  $Z$  を測定した。その結果、右手右足底間の  $Z$  に対する両掌間の  $Z$  の貢献度は、男性で 59%, 女性で 54%, また、下半身の  $Z$  の貢献度は、男性で 37%, 女性で 39% となり、両掌間の貢献度の方が大きかった。横断面積の最も小さい、または長さ/横断面積が最も大きい腕におけるインピーダンス特性は、全身の抵抗値を強く支配するのであろう。

女性を対象とした HBF-300 による体脂肪率は、平均値の差において  $\%fat_{TW}$  との間に平均値で 1% の過小評価が認められた。これは、HBF-300 によって推定された体脂肪率の分散が他の BI 法と比べて小さいことによるものと考えられる。この程度の不一致は、同測定法に付随する個人内変動の範囲内 (Baumgartner et al., 1990) と考えられるが、その詳細な要因については、今後さらに検討すべき課題である。

これまでに皮脂厚法と BI 法の妥当性に関する検討は数多くなされており、水中体重秤量法を基準とした場合、BI 法の方が高いとする報告 (Lukaski et al., 1985, 1986; Nakadomo et al., 1990; 中塘ほか, 1990b, 1990c) と皮脂厚法の方が高いとする報告 (Katch et al., 1986; Jackson et al., 1988) に分かれる。本研究では、男性においては、皮脂厚法は BI 法と類似する結果が得られた。しかし、女性においては、皮脂厚法による体脂肪率の推定値は平均値で 2% 過大評価され、傾き、SEE とともに BI 法と比べて精度に劣る (identity line からかなり逸脱している) 結果が得られた。すなわち、痩せている人ほど過小評価され、太っている人ほど過大評価される傾向がみられた。このような結果が得られたのは、対象者の女性の約 2/3 以上が肥満傾向あるいは肥満者であったためと思われる。キャリパーによる皮脂厚値は、皮下脂肪が厚いほど測定値がばらつきやすいこと、同一個人においても測定する部位によってその絶対量に大きな差異がみられること、皮膚の張りの違いによって圧縮率が変化することなど

(西岡, 1984; 北川, 1988b) によって, 全身の脂肪量を推定する上で大きな障害になっているのであろう. 中塘ほか (1987) も皮脂厚法による肥満女性の体脂肪率の推定は妥当性を欠くことを認めている. しかし, 特に肥満者では, 水中体重秤量法に伴う腸内ガス量や肺残気量の推定, さらに水中での完全呼吸は特に困難であると思われることから, 必ずしも水中体重秤量法で得られた値を妥当基準として設定することが適切とはいえない. 本研究において, 各種測定法による女性の %fat の SEE が 4% を越えたことは, このような理由も一要因となりうるであろう.

%fat<sub>UW</sub> と皮脂厚法および各々の BI 法により算出された体脂肪率との相関係数間に有意差は認められなかった. すなわち, 推定方法および原理が異なっても相関関係に差がないことが認められた.

以上をまとめると, 男性では, TBF-534 による体脂肪率の推定精度がやや劣る傾向がみられたものの, いずれの方法も顕著な差異を生じることなく体脂肪率を推定できることが明らかにされた. 女性においては, 皮脂厚法による体脂肪率の推定精度は, BI 法と比べてやや劣り, 肥満傾向あるいは肥満者に適用する場合には注意を要することが確認された. このような知見を基に, 以下にそれぞれの測定機器の特徴を生かした適用範囲を提案することとした.

SS-103 は他の BI 法と異なり, 対象者をベッドや床などに横たわせ, 吸着電極や電極ゲルを定められた位置に正確に装着する必要がある, 自分一人で測定することができない. しかし, 心エコー図や心電図などを必要とする場合には, そのままの姿勢で測定できるという利点を有している. また, 身体組成の推定式はインピーダンス指標のみを用いるものや, 人体計測指標とインピーダンス指標を組み合わせたもの, 肥満女性用や子供用の推定式など非常に多数開発されているため, 対象者および場所に応じて使い分けることが可能である. HBF-300 は家電店などで手に入れることができ, 本研究で用いた機器の中で最も安価であり, 小さくて軽いことから, 持ち運びに適してい

る. SS-103 のように吸着電極や電極ゲルを必要とせず, 靴を脱ぐことなく一人で測定することが可能である. しかし, 手の著しく細い者, 手の著しく小さい者, 小さい子供, 上半身に比べて下半身が著しく太っている者などには, 体脂肪率を適切に判定できない可能性がある. また, 電極を握る位置, 腕を挙げる角度を毎回一定にし, 肘を伸ばすことに注意しなければならないなどの点に注意が必要である. TYPE-PS は最も重く, 持ち運びは不便である. この機器の特徴は, 体脂肪率測定だけでなく活力年齢 (田中ほか, 1991), 日常のカロリーチェックや測定後の運動アドバイスも組み込まれており, 自身の健康度を知りたい者や減量を試みようとする者にこの機器は適している. 同機器は, 医療機関やフィットネスクラブなどでの利用が勧められる. TBF-534 は家電店などで比較的安価で手に入れることができる. この機器は他の BI 計と比べて若干精度に劣る傾向が見られるものの, 身長と性別を測定機器に記憶させておけば, 体重と同時に体脂肪率を推定できる利点を有していることから, 家庭向きの機器といえる. ただし, 足の小さな子供, 大腿部が接触する者, 上半身が下半身に比べて著しく太っている者には, 体脂肪率を適切に判定できない可能性がある. 皮脂厚法に用いるキャリパーは, 測定部位の選択 (Himes et al., 1979), 測定の妥当性 (北川, 1988a; 西岡, 1984; 田中・中塘, 1986), 客観性 (田中ほか, 1990) や再現性 (Garn and Gorman, 1979) など幾つかの問題が指摘されている. また, 本研究からも肥満者に適用する場合には注意を要することが確認された. しかし, 持ち運びが便利であること, 推定方法が比較的容易であることなどから, これまでフィールドにおいて最も頻繁に用いられてきた方法である. それゆえ, 横断的に過去のデータと比較したい時に利用できるであろう.

このように, いずれの推定方法も一長一短であるため, 場所や用途に応じて使い分けることを推奨する. しかし, 推定方法が異なると同じ値が得られることは稀であることから, 縦断的・横断的に身体組成を評価する場合には, 同じ方法を使用

すべきである。

## 結 語

本研究の目的は、一般成人男女を対象者として、BI法4種類と皮脂厚法の妥当性、およびこれら5つの方法の精度にどの程度の差があるかを検討することであった。主な知見は、以下のごとくである。

1) 男性では、TBF-534による体脂肪率の推定精度がやや劣る傾向がみられたものの、いずれの方法も顕著な差異を生じることなく体脂肪率を推定できることが明らかにされた。

2) 女性においては、皮脂厚法による体脂肪率の推定精度は、BI法と比べてやや劣り、肥満傾向あるいは肥満者に適用する場合には注意を要することが確認された。

3) %fat<sub>uw</sub>と皮脂厚法および各々のBI法により算出された体脂肪率との相関係数間に有意差は認められなかった。すなわち、推定方法および原理が異なっても相関関係に差のないことが認められた。

以上のような知見が導かれたことから、対象集団、場所、用途や目的に応じて使い分けることが必要であろう。しかし、これら簡便法の推定精度は十分に高いものではないことから、今後推定精度のさらなる向上を目指して、BI法に改良が積み重ねられることを期待する。

## 文 献

- Baumgartner, R. N., Chumlea, W. C., and Roche, A. F. (1989) Estimation of body composition from segment impedance. *Am. J. Clin. Nutr.* 50: 221-226.
- Baumgartner, R. N., Chumlea, W. C., and Roche, A. F. (1990) Bioelectrical impedance for body composition. *Exercise and Sport Sciences Reviews* Vol. 18, (Ed.) Pandolf, K. B. and Holloszy, J. O., ACSM, 193-224.
- Brožek, J., Grande, F., Anderson, J. T., and Keys, A. (1963) Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. NY Acad. Sci.* 110: 113-140.
- Buskirk, E. R. (1961) Underwater weighing and body density: A review of procedures. (In) Brožek, J. and

Henschel, A. (Eds.) *Techniques for Measuring Body Composition*. National Academy of Sciences National Research Council: Washington, D.C. 90-106.

藤本敏昭ほか (1969) カロリー所要量. 厚生省 (編) 日本人の栄養所要量: p16-28.

Garn, S. M. and Gorman, E. L. (1979) Comparison of pincaliper and teleroentgenogrammetric measurements of subcutaneous fat. *Hum. Biol.* 28: 407-413.

Going, S. B., Lohman, T. G., Wilmore, J. H., Boileau, R. A. Van Loan, M., Sinning, W., Golding, L., and Carswell, C. (1987) Segmental versus whole body bioelectrical impedance measurements for estimation of body composition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19: S39.

Himes, J. H., Roche, A. F., and Siervogel, R. M. (1979) Compressibility of skinfolds and the measurement of subcutaneous fatness. *Am. J. Clin. Nutr.* 32: 1734-1740.

Jackson, A. S., Pollock, M. L., Graves, J. E., and Mahar, M. T. (1988) Reliability and validity of bioelectrical impedance in determining body composition. *J. Appl. Physiol.* 64: 529-534.

Katch, F. I., Keller, B., and Solomon, R. (1986) Validity of BIA for estimating body fat in cardiac and pulmonary patients, and black and white woman matched for age and body fat. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: S17.

Kim, H. K., Tanaka, K., Nakadomo, F., and Watanabe, K. (1994) Fat-free mass in Japanese boys predicted from bioelectrical impedance and anthropometric variables. *Eur. J. Clin. Nutri.* 48: 482-489.

北川 薫 (1988a) 密度法による体脂肪量の測定法. *保健の科学* 31: 433-437.

北川 薫 (1988b) 皮下脂肪厚測定. *保健の科学* 30: 342-348.

Lukaski, H. C., Johnson, P. E., Bolonchuk, W. W., and Lykken, G. I. (1985) Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.* 41: 810-817.

Lukaski H. C., Bolonchuk, W. W., Hall, C. B., and Siders, W. A. (1986) Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J. Appl. Physiol.* 60: 1327-1332.

長嶺晋吉 (1972) 皮下脂肪厚からの肥満の判定. *日本医師会雑誌*. 68: 919-924

中塘二三生・田中喜代次・福田 隆・渡辺一志・角田 聡・奥田豊子・出村慎一・吉村隆喜・岡田邦夫・脇田正道 (1987) 肥満女性の体脂肪率推定に関する研

- 究. 教育医学 32: 20-25.
- Nakadomo, F., Tanaka, K., Hazama, T., and Maeda, K. (1990) Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Jpn. J. Appl. Physiol.* 20: 321-330.
- 中塘二三生・田中喜代次・横山高彬・前田如矢 (1990a) 電極の差異が Bioelectrical Impedance に及ぼす影響. *Ann. Physiol. Anthropol.* 9: 41-45.
- 中塘二三生・田中喜代次・羽間鋭雄・金炫秀・前田如矢 (1990b) インピーダンス法による本邦成人の体組成評価の妥当性に関する研究. *デサントスポーツ科学* 11: 290-296.
- 中塘二三生・田中喜代次・金炫秀・渡辺完児・橋本勲・前田如矢 (1990c) Bioelectrical impedance analysis による体組成推定値の cross-validity. *体力科学* 39: 544.
- 中塘二三生・田中喜代次・金炫秀・渡辺完児・前田如矢 (1991) 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* 8: 57-63.
- 中塘二三生・田中喜代次・渡辺完児・前田如矢 (1992) 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* 4: 739-745.
- 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.
- 坂本要一・佐藤富男・愛敬光代・大野 誠・池田義雄 (1992) 生体インピーダンスによる体脂肪の評価. 第12回日本肥満学会記録 279-280.
- Segal, K. R., Gutin, B., Presta, E., Wang, J., and Van Itallie, T. B. (1985) Estimation of human body composition by electrical impedance method: a comparative study. *J. Appl. Physiol.* 58: 1565-1571.
- 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.
- 田中喜代次・稲垣 敦・松浦義行・中塘二三生・羽間鋭雄・前田如矢 (1990) 身体組成評価におけるインピーダンス法の妥当性と客観性の検討. *臨床スポーツ医学* 7: 939-945.
- 田中喜代次・松浦義行・中塘二三生・中村榮太郎 (1990) 主成分分析による成人女性の活力年齢の推定. *体育学研究* 35: 121-131.
- 吉村 学・石岡正子・田中喜代次・中塘二三生・福永哲夫・梅川常和, 他 (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.

(平成11年 5 月 6 日受付)  
(平成11年10月23日受理)