

身体組成測定に於ける 皮脂厚法とインピーダンス法の比較

谷口 紘八・松元 尚大・井福 裕俊・大石 康晴・大重 稿二*

Comparison of the Skinfold Thickness and Bioelectrical Impedance Methods in Measuring Body Composition of Athletes

Kohachi TANIGUCHI, Hisahiro MATSUMOTO, Hirotoishi IFUKU,
Yasuharu OISHI, and Koji OSHIGE

(Received September 1, 1997)

Abstract

To determine the validity of measurements of body density (BD) and body composition, e.g., the percentage of body fat (%BF), the amount of body fat (BF), and the lean body mass (LBM), we compared the results of the skinfold thickness (ST) and bioelectrical impedance (BI) methods. Subjects were 117 male students aged 18 to 22 years representing four different sports groups: gymnastics ($n=21$), basketball ($n=18$), baseball ($n=45$), and judo ($n=33$).

First, we measured the STs of triceps and subscapula with a caliper. Next, the BD was predicted from ST according to the formula of Nagamine.

BI method, whole body impedance was measured with a portable total body fat analyzer (Tanita, TBF-102). BD was predicted from the impedance according to the formula for Japanese male competitive athletes. Then, in the same subject, %BF by each method was derived according to the equation of Brozek et al.. Subsequently, the amount of BF was estimated by multiplying body weight by %BF, and LBM was obtained by subtracting BF from body weight. Finally, the relationship between ST and BI methods was investigated using a correlation efficient for BD and body compositions.

The results were as follows:

- 1) The BDs of the BI method showed larger values in all four sports groups. The BFs of the ST method were higher than those of the BI method, LBMs of the ST method were inversely lower.
- 2) Except for the BF of the judo athletes, there were significant differences ($P<0.001$) in the average values of BD, %BF, BF, and LBM obtained by the two methods in all four groups.
- 3) In the gymnastics group, the correlation efficient of LBM but not BD or BF was significantly different ($r=0.969$, $P<0.001$) according to the methods. However, in the judo group, there was significant correlation ($r=0.817\sim0.913$, $P<0.001$) in the values of BD, %BF, BF, and LBM between the methods.

From these results, it was concluded that the BI method was one of the more convenient and valid means for assessing body composition in athletes.

Key words: skinfold thickness method, bioelectrical impedance method, body density, body fat, lean body mass

はじめに

身体組成の体脂肪量や除脂肪量を推定する方法として理論的根拠の高い測定法に、水中体重

* 鹿児島大学大学院工学研究科：〒 890 鹿児島市郡元 1-21-40

法^{1,2,3)}, 体水分法^{4~10)}, カリウム法¹¹⁾, 超音波法^{12~16)}, X線法^{17,18)}, CT法¹⁹⁾, 近赤外分光法^{20,21)} などがある。しかしながら, これらの測定法は, 高い精度の測定が可能である反面, 高価で大規模な実験装置が必要であり, フィールド・ワークや多人数を対称とする測定には利用し難い。このような理由から, 身体組成の測定には, キャリパーを使用した皮脂厚法 Skinhold Thickness Method (ST法)^{22,23)} がフィールドで最も多く用いられてきた。ST法は皮下脂肪の厚さを直接, 経皮的に測定して, 体密度を推定し, その体密度をもとに体脂肪量及び除脂肪量を算出する方法である。また, 近年, 生体に微小な高周波電流を流して生体インピーダンス (BI) を測定して, 体脂肪量を簡便かつ非侵襲的に推定する Bioelectrical Impedance Method (BI法) が開発され, その有用性が Lukaski ら^{24~27)} や Segal ら^{28~29)} をはじめ多くの研究者^{30~33)} によって認められている。

また, 最近, BI法の改良により信頼性が向上し, スポーツ生理学の分野でも, スポーツマンの身体組成とスポーツ種目特性についての報告^{34~35,48)} がなされるようになった。

我々は, 先に, 大学運動部員の身体組成をキャリパーを使用したST法によって測定し, 動部員の身体組成をキャリパーを使用した皮脂厚法によって測定し, スポーツ種目別の身体組成の特性について報告³⁶⁾ した。

本研究は, ST法とBI法の二種の方法で, 大学運動部員の身体組成を測定して, スポーツ種目別特性を身体組成から評価するための両測定法の有用性について比較検討した。

方 法

1. 対 象

大学運動部員 18歳~22歳の男子, 117名の学生を被験者とした。これらの学生が所属しているスポーツ種目及び人数は, 体操競技 21名, バスケットボール 18名, 野球 45名, 柔道 33名である。

皮脂厚の測定とインピーダンスの測定を同日連続して実施した。なお, 被験者には, 測定前 12時間以降のアルコール摂取, 激しい発汗を伴う運動, 測定前日の過度の摂食摂水を制限した。また, 測定前 3時間以降の摂食摂水を禁止したが, 測定直前の排尿の条件は付けていない。

2. 測定方法

1) ST法 (Skinhold Thickness Method)

栄研式キャリパーを用いて上腕後部と肩甲骨下部の皮下脂肪の厚さを測定し, これら 2つの皮下脂肪の厚さの合計 (以下, 皮脂厚), 体表面積, 体重から皮脂厚係数を求め, Nagamine and Suzuki の式²²⁾ を改良して, 性別, 年齢に関係なく適用できる長嶺³⁷⁾ の推定式から, 体密度を算定し身体組成を求める方法を適用した。

(1) 形態測定項目: 身長, 体重, および皮脂厚を測定した。測定誤差を少なくするため, 皮脂厚の測定は全被験者について熟練者が一人で測定した。体表面積は, 身長と体重から下記の高比良の算定式⁴⁹⁾ より算出した。

$$A = W^{0.425} \times H^{0.725} \times 0.007246$$

但し, A: 体表面積 (m²), W: 体重 (kg), H: 身長 (cm)

(2) 体密度：体密度 (D) は下記の長嶺の推定式³⁷⁾により算出した。

$$D = 1.0923 - 0.000514X$$

皮脂厚係数 (X) = 皮脂厚 (mm) × 体表面積 (m²) ÷ 体重 (kg) × 100

但し、皮脂厚 (mm) = 上腕背部 (mm) + 肩甲骨下部 (mm)

(3) 脂肪率 (%)：脂肪率 (%) は上記の体密度 (D) を下記の Brozek らの推定式³⁸⁾に代入して求めた。

$$\text{Fat (\%)} = (4.570 / D - 4.142) \times 100$$

(4) 脂肪量 (kg)：体重 (kg) に脂肪率 (%) を乗じて算出した。

(5) 除脂肪量 (kg)：体重 (kg) から脂肪量 (kg) を減じて算出した。

2) BI 法 (Bioelectrical Impedance Method)

BI 法は身体のインピーダンス (Z) の測定値から、体密度 (D) を推定し、その体密度をもとに体脂肪量及び除脂肪量 (LBM) を算出する方法と、インピーダンスの測定値から、体水分量 (TBW) を求め除脂肪量及び体脂肪量を算出する方法の二種類がある。本研究では、タニタ製の体脂肪計 (TBF-102) を使用してインピーダンスを推定し、前者の方法により身体組成を算定した。

本装置は両足の前方部より身体に微弱な高周波 (50 kHz)、正弦波定電流 (0.8 mA) を通流し、両足の踵間から電圧を計測して体内のインピーダンスを求める 4 電極法が採用されている。この装置で測定したインピーダンスからタニタ体重科学研究所から性別に提案された成人アスリート用の体密度推定式のうち、成人男性アスリート用の体密度推定式 (下記) により体密度を求めた。

$$\text{体密度 (D)} = 1.117 - 0.079 \times W \times Z / (\text{Ht})^2 + 2.513 \times Z / (\text{Ht})^2$$

ただし、W：体重 (kg)、Ht：身長 (cm)、Z：インピーダンス (Ω)

次に、上の式によって求められた体密度 (D) から、皮脂厚法と同様に Brozek らの推定式³⁸⁾ (下記) により、体脂肪率を求めた。

$$\text{Fat (\%)} = ((4.570 / D) - 4.142) \times 100$$

その後、脂肪量 (kg) は体重 (kg) に脂肪率 Fat (%) を乗じて算出し、除脂肪量 (kg) は体重 (kg) から脂肪量 (kg) を減じて算出した。

結 果

1. 測定項目のスポーツ種目別平均値について

表 1. はスポーツ種目別の体格、皮脂厚及びインピーダンスの平均値を示したものである。4つのスポーツ種目の形態的特徴は、身長、体重、体表面積の平均値で示した。

上腕背部の皮下脂肪厚、肩甲骨下部の皮下脂肪厚、及びこれらの2つの和（皮脂厚）をスポーツ種目別に平均値で見ると、柔道は、他の3つのスポーツ種目と比較して非常に高い値を示し、次いで、野球、バスケットボールの順で、体操競技が最も低い値を示した。上腕背部の皮下脂肪厚、及び2つの和の皮脂厚の平均値をスポーツ種目間で比較すると、バスケットボールと野球の間を除いて、すべてのスポーツ種目間に有意差 ($P < 0.01$) が認められた。また、肩甲骨下部の皮下脂肪厚では、バスケットボールと野球の間、及び体操競技とバスケットボールの間を除くすべてに有意な差 ($P < 0.01$) が認められた。BI法によって測定したインピーダンスは、バスケットボール、体操競技、野球、柔道の順に高い値を示し、バスケットボールと体操競技を除くすべての種目間に有意の差 ($P < 0.01$) が認められた。

2. 体密度及び身体組成の推定値について

表 2. は、スポーツ種目別体密度及び身体組成の平均値について、ST法とBI法で求めた値を比較したものである。体密度の推定値を比較すると、4つのスポーツ種目の全てで、BI法による推定値が高く、有意な差 ($P < 0.01$) が認められた。ST法では皮下脂肪の厚みを測定し、BI法では生体インピーダンスを測定して、この測定値および身長と体重から、それぞれ異なった体密度の推定式を使用して体密度を推定するところに、両測定法の基本的な相違点がある。しかし、体密度推定後は、両測定法に従って求められた体密度の推定値を、どちらも同じ Brozek らの推定式³⁸⁾にそれぞれ代入して、体脂肪率(%)を求める計算手順になっているため、両測定法における体密度の推定値の差が、体脂肪率の差として表われ、さらに、それが体重に対する比率として脂肪量と除脂肪量の算定値に反映される。従って、ST法に比べて、BI法による体密度の推定値の方

Table 1. Average values of anthropometric measurement, skinfold thickness, and impedance among the four sport groups

Sport Group	Average S D	Height (cm)	Weight (Kg)	BSA ¹⁾ (m ²)	Triceps (mm)	Subscapula (mm)	ST ²⁾ (mm)	Impedance (Ω)
Gymnastics n = 21	mean	167.17	59.79	1.686	5.8	7.57	13.43	450.10
	S D	4.60	4.73	0.083	1.03	1.29	2.20	47.04
Basketball n = 18	mean	180.13	68.92	1.890	8.94	8.72	17.67	451.50
	S D	9.25	6.46	0.126	3.83	2.16	5.82	36.18
Baseball n = 45	mean	176.25	71.35	1.890	9.27	9.44	18.71	407.76
	S D	5.61	7.25	0.117	3.02	2.33	4.87	33.23
Judo n = 33	mean	173.24	90.36	2.053	15.18	24.55	39.73	382.58
	S D	5.48	19.75	0.214	7.70	14.05	21.22	46.36

¹⁾ BSA : body surface area (m²), ²⁾ ST : skinfold thickness measured by caliper,
ST = triceps (mm) + subscapula (mm)

Table 2. Average values of body density and body composition predicted by skinfold thickness (ST) and bioelectrical impedance (BI) methods

Sport group	BD ¹⁾ (g/cm ³)		% BF ²⁾		BF ³⁾ (kg)		LBM ⁴⁾ (kg)		
	ST method	BI method	ST method	BI method	ST method	BI method	ST method	BI method	
Gymnastics n=21	mean	1.0728	1.082**	11.802	8.110**	7.040	4.881**	52.750	54.614
	S D	0.0034	0.004	1.349	1.603	0.843	1.274	4.4461	3.627
	max.	1.0791	1.091	14.171	10.600	8.247	7.200	62.314	62.800
	min.	1.0668	1.076	9.290	4.600	5.508	2.200	41.388	44.900
Basketball n=18	mean	1.0675	1.076**	13.920	10.356**	9.657	7.239**	59.265	61.639
	S D	0.0073	0.005	2.973	2.067	2.703	2.045	5.1530	4.772
	max.	1.0741	1.087	23.749	15.500	18.619	12.200	67.355	71.600
	min.	1.0435	1.063	11.276	6.400	7.132	3.700	47.375	52.200
Baseball n=45	mean	1.0669	1.077**	14.163	10.296**	10.170	7.449**	61.179	63.898*
	S D	0.0059	0.005	2.364	1.789	2.425	1.995	5.7181	5.5122
	max.	1.0777	1.086	21.178	14.400	19.102	13.000	75.366	79.200
	min.	1.0497	1.069	9.838	6.700	6.446	4.300	51.781	55.400
Judo n=33	mean	1.0474	1.060**	22.280	16.973**	21.471	16.336	68.862	73.755
	S D	0.0198	0.014	8.288	5.769	11.906	9.207	9.5404	11.227
	max.	1.0795	1.086	37.166	34.300	52.938	49.600	92.062	95.100
	min.	1.0140	1.019	9.145	6.600	5.944	4.100	54.994	57.700

¹⁾ BD : body density (g/m³), ²⁾ %BF : percentage of body fat, ³⁾ BF : total body fat, ⁴⁾ LBM : lean body mass
* : P<0.05, ** : P<0.001

Table 3. Correlation coefficients of body density and body composition obtained from ST and BI methods

Sport group	BD ¹⁾ (g/cm ³)	%BF ²⁾ (%)	BF ³⁾ (kg)	LBM ⁴⁾ (kg)
Gymnastics n=21	-0.260	0.269	0.330	0.969**
Basketball n=18	0.561*	0.570*	0.780**	0.942**
Baseball n=45	0.509**	0.502**	0.783**	0.960**
Judo n=33	0.822**	0.817**	0.913**	0.888**

¹⁾ BD : body density (g/m³), ²⁾ %BF : percentage of body fat, ³⁾ BF : total body fat,

⁴⁾ LBM : lean body mass * : P<0.05, ** : P<0.001

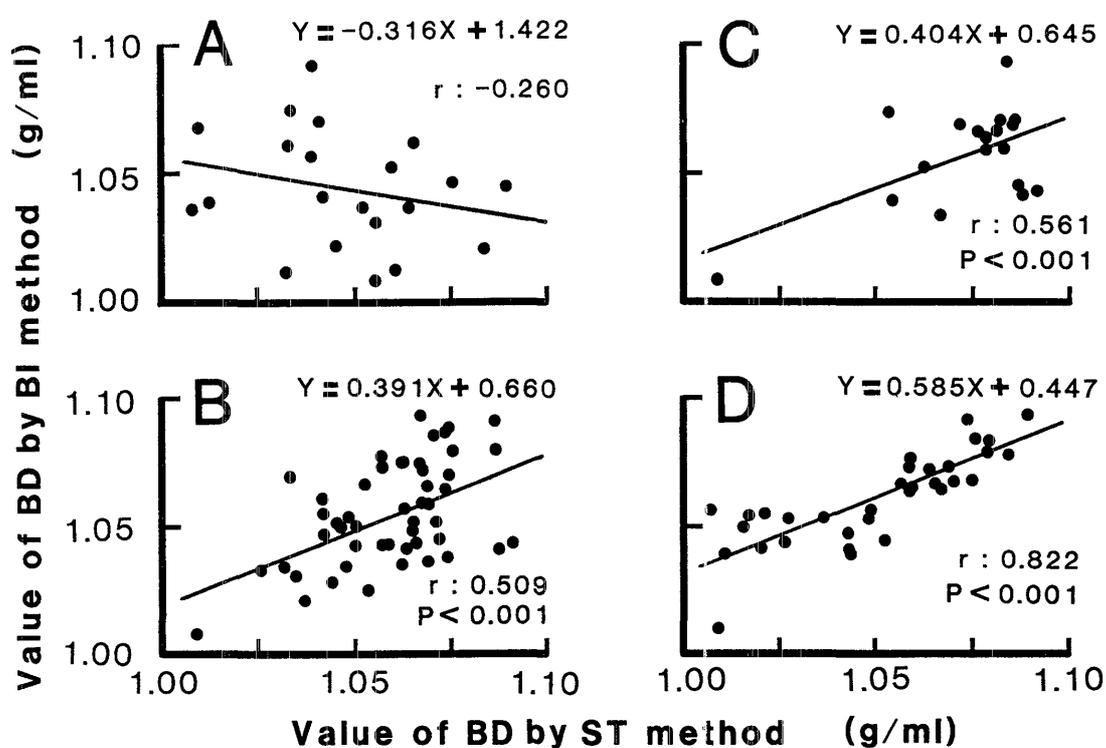


Fig. 1. Relationships between body density (BD) predicted by ST methods and by BI methods for athletes in four groups.

A : gymnastics, B : basketball, C : baseball, D : judo

が高かったため、BI法で算定した体脂肪率が小さくなり、BI法の方が脂肪量は低く、除脂肪量は高めに判定される結果となった。体脂肪率の平均値は、4つのスポーツ種目の全てで、ST法とBI法の間で有意な差 ($P < 0.01$) が認められ、脂肪量の平均値は柔道を除く3つのスポーツ種目で有意な差 ($P < 0.01$) が認められたが、除脂肪量の平均値では、野球 ($P < 0.01$) を除いて有意な差が認められなかった。

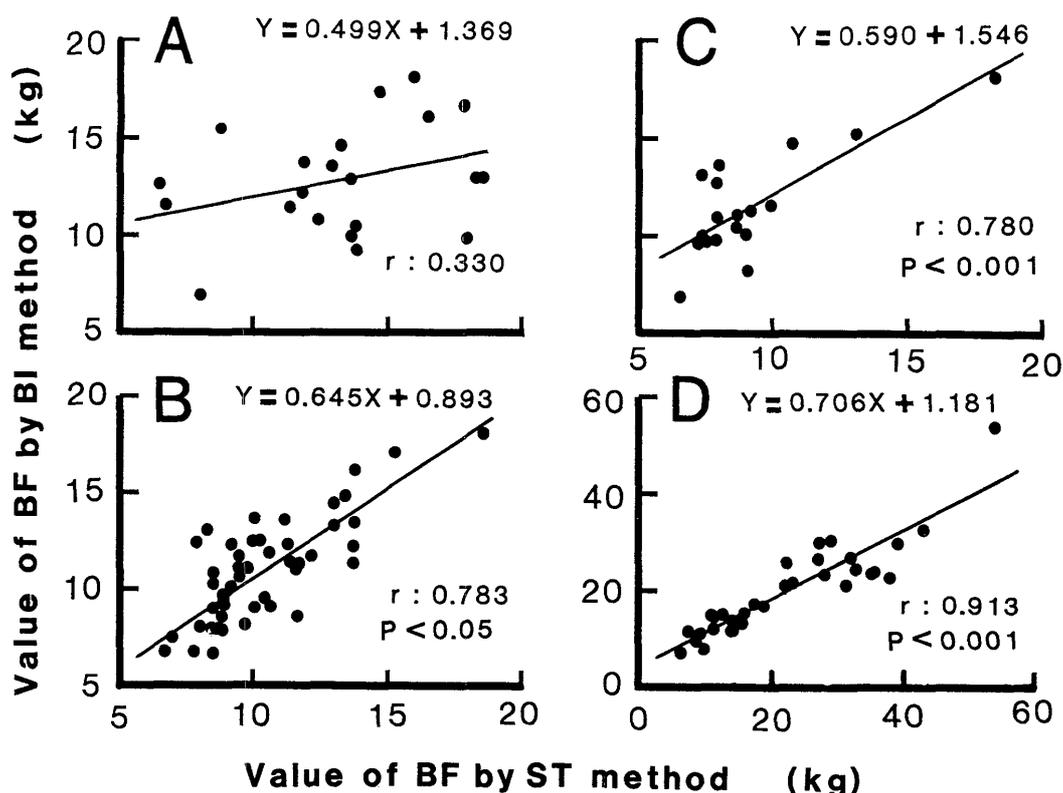


Fig. 2. Relationships between body fat (BF) predicted by ST methods and by BI methods for athletes in four groups.
 A : gymnastics, B : basketball, C : baseball, D : judo

3. ST法とBI法の相関について

表3. は、体密度及び身体組成について、ST法とBI法で求めた値の相関を比較したものである。体密度は、柔道 ($r=0.969, P<0.001$)、バスケットボール ($r=0.561, P<0.001$)、野球 ($r=0.509, P<0.001$)、体操競技 ($r=0.260$) の順に相関が高かった。その体密度についてST法とBI法の相関散布図と回帰直線を4つのスポーツ種目別に図1. に示した。また、除脂肪量は、すべての種目で両測定法間に著明な相関 ($r=0.880\sim 0.969$, いずれも $P<0.001$) が認められ、脂肪量は、体操競技を除く3つのスポーツ種目で高い相関 ($r=0.780\sim 0.913$, いずれも $P<0.001$) が認められた。脂肪量についてのST法とBI法の相関散布図と回帰直線は同様に図2. に示した。柔道では、体密度、脂肪率、脂肪量、除脂肪量のすべてにおいて、ST法とBI法の推定値に高い相関 ($r=0.817\sim 0.913$, いずれも $P<0.001$) が認められたが、体操競技では、除脂肪量で著明な相関 ($r=0.969, P<0.001$) を示しただけで、体密度、脂肪率、脂肪量には有意な相関 ($r=0.260\sim 0.330$) が認められなかった。バスケットボール及び野球では、体密度、脂肪率、脂肪量に、それぞれ、 $r=0.561, P<0.05$, $r=0.570, P<0.05$, $r=0.780, P<0.001$ 及び $r=0.509, 0.502, 0.783$ いずれも $P<0.001$ で、低い相関が認められた。

全体の結果として、体密度は、BI法の方が高めに判定されるため、脂肪量はST法の方が高く、除脂肪量はBI法の方が高めに判定される傾向があること、体操競技におけるST法とBI法の除脂肪量を除く推定値には、相関が認められないが、柔道においては、すべての推定値に高い相関が認められることが特徴であった。

考 察

従来、フィールドにおける身体組成の測定は、大がかりな装置を必要としないキャリパーを使用した皮脂厚法 Skinhold Thickness Method (ST 法)^{22,23,37)} が最も多く用いられてきた。また、最近、生体に微小な高周波電流を流し、生体のインピーダンス (BI)^{22,23,37)} を測定して、体密度を推定した後、体脂肪率、体脂肪量、及び除脂肪量を簡便かつ非侵襲的に推定する Bioelectrical Impedance Method (BI 法)^{24~33)} が開発された。

本研究では、大学運動部員の身体組成をスポーツ種目別に、ST 法と BI 法の二種の方法で測定して比較し、身体組成の特性を評価する測定法としての両測定法の有用性について検討した。

1. 体密度、脂肪量および除脂肪量の推定値について

ヒトの身体組成を知るためには、先ず、体密度を求めて、体脂肪率を推定する必要がある。ST 法は、身体の一部（上腕後部と肩甲骨下部）の皮下脂肪の厚さを測定して、身体全体としての体密度を皮脂厚係数から推定するという原理のもと付いている。これに対して、BI 法は、体脂肪は水分を含まない絶縁体であり、体脂肪以外の水分を含む組織（除脂肪量）は導電体であるという理論的根拠のもとに、この除脂肪量に通電してそのインピーダンスを測定し、体密度を推定するという原理のもと付いている。このように、ST 法と BI 法の体脂肪率の算定法には、体密度を推定するに至るまでのデータの履歴に基本的な相違がある。すなわち、体密度の推定に当たって、両測定法の基本的な相違点は、ST 法では皮下脂肪の厚みを測定し、BI 法では生体インピーダンスを測定することである。また、これらの測定値に加えて、身長、体重などの形態的側面を考慮した推定式を導いている点は両者とも同じであるが、体密度の推定式自体はそれぞれ異なる式を使用しているところに両測定法の相違点がある。

体密度の推定後は、得られた体密度の推定値を、どちらも同じ Brozek らの推定式³⁸⁾に代入して、体重当たりの体脂肪率 (%) を求める計算手順になっている。この体脂肪率の推定式 ($Fat(\%) = ((4.570/D) - 4.142) \times 100$) は、体密度 (D) の値のみが変数で、定数の除減で決定される。この推定式からわかるように、体脂肪率は、体密度の値のみによって決定されるため、両測定法における体密度の推定値の差が、そのままの比率で体脂肪率の差として表われ、体重に対する脂肪率として脂肪量と除脂肪量の算定値に反映される。従って、ST 法と BI 法を比較した時、体密度の推定値が小さい方が、推定式から必然的に、体脂肪率が大きく判定される結果として脂肪量は大きく、逆に、体重から脂肪量を減じて算出される除脂肪量は、小さく判定されることになる。

本研究における ST 法と BI 法の体密度の推定値を比較すると、表 2. に示すように、4つのスポーツ種目の全てで ST 法による推定値が明らか ($P < 0.001$) に小さかった。従って、体脂肪率と脂肪量は ST 法の推定値の方が高く、除脂肪量は BI 法の方が高めに判定される ($P < 0.001$) ことがわかった。

一方、BI 法は、脂肪組織がほとんど水分を含まないため、電気を通さない絶縁体とみなして、導電体である除脂肪量のインピーダンスを測定するので、皮下脂肪の少ない者、逆に、皮下脂肪肥りや内蔵脂肪の多い者であっても、体脂肪量の大小はインピーダンスの測定値に影響を及ぼさない。しかしながら、除脂肪量は、体脂肪以外の組織、骨、体水分量から成り、このうち、特に水分量は、体重とともに変動しインピーダンスに変動をきたすため、体密度の推定値に日内変動を生じる。さらに、体水分量は細胞内液と細胞外液（間質液、血漿、リンパ液）に分けられるが、

現行の BI 法によるインピーダンスの測定値は、細胞内液よりも細胞外液への依存性が高いことが知られている。すなわち、強度の運動による発汗、多量のアルコール摂取による脱水、サウナ、入浴等の多量の発汗などによってインピーダンスは大きくなり、暴飲暴食による多量の摂水によって小さくなる。従って、体密度の推定値に正確さを期すために、BI 法による体脂肪計を使用するに当たっては、過度の水分摂取量、食事量の制限、摂取から測定までの時間、測定時間などの測定時の条件を厳守することが必要条件となる。特に、スポーツマンの身体組成の推定では、測定条件を厳守することが大切であることが報告^{34,35,39)}されている。

2. ST 法と BI 法による体密度及び身体組成測定値の相関について

BI 法は、除脂肪量のインピーダンスから体密度を推定するため、インピーダンス測定上の誤差は少ないが、皮下脂肪（脂肪量）が少なく筋肉量（除脂肪量）いスポーツマンでは、一般成人に比較して、体密度の推定値に誤差が生じやすい。本研究で使用した BI 法による体脂肪計（タニタ製 TBF-102）は、一般成人用とは別にアスリート用の推定式を性別に考案して、体密度の推定式に改良が加えられている。体密度をできるだけ正確に求めるには、水中体重秤量法を用いるのが一般的である。これまで、ST 法や BI 法などの簡易測定法の妥当性は、この水中体重秤量法の測定値と比較して評価されてきた。

本研究においては、両測定法から間接的に得られた体密度の推定値と、妥当基準値としての水中体重秤量法による体密度の直接測定値とを比較検討していないので、ST 法と BI 法の間の測定値の相関関係のみからは、両測定法の優劣については論じ難い。

ST 法と BI 法による身体組成の推定値の間の相関係数は、表 3. に示した。先行研究において、ST 法と BI 法の一般成人の身体組成との間に、坂本ら⁴⁰⁾は男性で $r=0.832$ 、女性で $r=0.920$ 、いずれも $P>0.001$ の相関があることを報告している。

本研究の結果では、極端に皮下脂肪の少ない体操競技選手の体密度、体脂肪率、脂肪量は相関係数が $r=-0.260\sim 0.330$ で相関は認められなかった。野球、及びバスケットボール選手の体密度と体脂肪率では $r=0.502\sim 0.570$ ($P<0.05\sim 0.001$) と低い相関を示したが、特に、柔道では ST 法と BI 法による体密度及び身体組成の推定値の間に高い相関 ($r=0.817\sim 0.913$, $P>0.001$) が認められた。

柔道選手は、一般成人に比較して除脂肪量（筋肉量）の絶対値が極端に多いにもかかわらず、脂肪量も多いため、脂肪量が少なく除脂肪量が多いというスポーツマン特有の身体組成の割合とはならない。体脂肪率（体重当たりの脂肪量）は、むしろ、一般成人の割合に近くなっている。その後、両測定法は、得られた体密度をどちらも同じ Brozek らの推定式³⁸⁾ に代入してを使用して体脂肪率を算定する。体密度の推定に当たって、たとえ、BI 法で筋肉量の多いアスリート用に改良された推定式を使用したとしても、Brozek らの推定式³⁸⁾ は、一般成人の体重に対する平均的な脂肪量の比率（体脂肪率）が一定であることを条件として、これを妥当基準値にして導かれているため、この時点でさらに、体脂肪率の推定値に誤差が生じることは否定できない。にもかかわらず、柔道選手における両測定法の相関係数は、上述のように高い値を示した。柔道選手は脂肪量と除脂肪量の絶対量においては一般成人とは異なるタイプであることは一目瞭然であるが、体重に対する割合、すなわち、脂肪量と除脂肪量のバランスからみれば、一般成人タイプの体脂肪率に近い値に判定されるため、一般成人用に考案された ST 法と BI 法の相関係数が高くなったものと推察される。このように、柔道選手においては、両測定法に高い相関があることが特徴であった。

体操競技選手は皮下脂肪が少なく体重に対するの脂肪量の割合が極端に少ない。従って、一般人に比較して極端に少ない皮下脂肪を、キャリパーを使用して計測し、体密度を推定した上で体脂肪率を算定する ST 法は、先ず最初の皮脂厚の測定時に誤差を生じ易い。更に、体脂肪率の算定に当たっては、一般人の体脂肪率の標準値をもとに、体重当たりの脂肪率を求める Brozek らの推定式³⁸⁾を柔道の場合と同じように使用するため、トレーニングによって鍛えられたスポーツマンの体脂肪率の推定値には、誤差が生じ易いことは否めない。

3. ST 法と BI 法の有用性について

BI 法から得られた一般人の体脂肪率と、妥当基準値として用いられる水中体重秤量法から得られた体脂肪率との間には、高い相関 ($r=0.860\sim 0.875$, $P<0.01$) があることが知られている。^{26,28,39,40,41,45)}

これに対して、アスリート用に修正された推定式を用いた改良型の BI 法は、水中体重秤量法との間に、さらに高い相関 ($r=0.908$, $P<0.001$ タニタ体重科学研究所, テクニカルレポート) があることが確認されている。一方, ST 法の体脂肪率と水中体重秤量法の体脂肪率との間には, $r=0.733\sim 0.805$, $P<0.01$ の相関^{43,46)}を示すが, ST 法よりも BI 法の方が, 水中体重秤量法と高い相関があることが認められている。また, ST 法による体脂肪率は, 水中体重秤量法の体脂肪率に比べて高めに判定される傾向があり, 特に, 体脂肪率の高いグループにその傾向があることがわかっている。本研究における ST 法と BI 法の比較でも, 体脂肪率は BI 法よりも ST 法の方が高めに判定されたことから, 先行研究の結果と併せて評価すると, BI 法の方が水中体重秤量法の値に近く判定され, スポーツマンの身体組成の計測には ST 法よりも BI 法の方が有用であると推測される。さらに, ST 法は, 測定値の再現性が測定者の測定技術に左右され, 誤差が生じ易い。一方, 体重計型の 4 電極方式を採用した BI 法は, 除脂肪量 (LBM) のインピーダンス測定時の繰り返し測定値に再現性が高く, 体脂肪率の相対値の再現性が高いことが国井によって報告³⁹⁾されている。この件については著者らも本研究の測定時に繰り返し測定を実施して確認している。

以上のことから, スポーツマンの身体組成の計測, とりわけ, 集団を対象とした計測には ST 法よりも BI 法の方が有用であると考えられる。脂肪量に比して除脂肪量が極端に多い体操競技選手や, 逆に, 鍛えられた筋肉を有するスポーツ選手でありながら脂肪量の絶対値も大きい柔道選手などスポーツ種目によっては, フットボール選手など単一種目について報告⁴⁷⁾されているように, 個別的に体密度の推定式を考案して, より正確さを期す必要があると考えられるが, 成人アスリート用の体密度推定式を導入した BI 法は, 筋肉量が多く体密度の大きい一般的なスポーツ選手の身体組成の測定に十分適用できる測定法であり, ST 法よりも有用であるとの結論に達した。ただし, この場合, 被験者の過度の水分摂取や発汗量の制限など, 測定前に厳守すべき必要条件を満たすことが前提である。

ま と め

ST 法と BI 法の二種の方法で, 大学運動部員の身体組成を測定して, 身体組成のスポーツ種目別特性を評価するための両測定法の有用性について比較検討し, 以下の結果を得た。

1. 体操競技, バasketボール, 野球, 柔道の 4 つのスポーツ種目の全てにおいて, 体密度は,

BI 法による推定値の方が高く有意な差 ($P < 0.001$) が認められた。従って、脂肪量は ST 法の方が高く、除脂肪量は BI 法の方が高めに判定される傾向があることがわかった。

2. 柔道選手の脂肪量を除いて、すべてのスポーツ種目で、体密度、体脂肪率、脂肪量の推定値の平均値において、ST 法と BI 法に有意な差 ($P < 0.001$) が認められた。
3. 体操競技選手では、体密度及び脂肪量において、ST 法と BI 法の間に関係がなかったが、除脂肪量にのみ高い相関 ($r = 0.969, P < 0.001$) が認められた。しかしながら、柔道選手では、体密度、体脂肪率、脂肪量及び除脂肪量において高い相関 ($r = 0.817 \sim 0.913, P < 0.001$) が認められた。

結論として、BI 法は ST 法に比較して、体密度は大きく、脂肪量は低めに判定され、妥当基準値としての水中体重秤量法の値に近いため、測定条件を厳守すれば、スポーツ選手の身体組成の種目別特性を評価する測定法として ST 法よりも有用であることがわかった。

参考文献

- 1) Rathbun, E. N. and Pace, N. (1945): Study on body composition. I. The determination of total body fat by means of the body specific gravity. *J. Biol. Chem.*, **158**, 667-676.
- 2) 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.
- 3) Lukaski, H. C. Johnson, P. E. (1985): A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer dose of D2O and infrared absorption of biological fluids. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 363-370.
- 4) Jackson, A. S. Pollock, M. L., Graves, J. E. and Mahar, M. T. (1988): Reliability and validity of bioelectrical impedance determining body composition. *J. Appl. Physiol.*, **64**, 529-534.
- 5) Keys, B. and Grozek, J. (1953): Body fat in adult men. *Physiol. Rev.*, **33**, 245-325.
- 6) 小宮秀一, 小室史恵, 吉川和利 (1981): 体脂肪率 (%Fat) 推定法の比較. *体力科学*. **30**: 277~284.
- 7) 吉川和利, 小宮秀一, 小室史恵 (1983): 体内総水分量予測式作成の試み(I). *体力科学*. **32**: 39~48.
- 8) 吉川和利, 小宮秀一 (1987): 体内総水分量 (TBW) 予測式作成の試み(II) *体力科学*. **36**: 105~115.
- 9) 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.
- 10) 小宮秀一, 千綿俊機 (1986): 体組成の変化量を推定するための皮脂厚と体水分法の比較. *体力科学*. **35**: 39~46.
- 11) 吉沢康雄, 今堀 章, 上田慶子, 田所美枝子 (1968): 小児の全身カリウム量の年齢, 身長による変化. *日本小児学会雑誌*. **72**, 109-114.
- 12) Whittingham, P. D. G. W. (1962): Measurement of tissue thickness by ultrasound. *Aerospace Medicine*, **33**, 1121-1128.
- 13) 斎藤晋能, 小川新吉, 増田 幹 (1984): 超音波による皮下脂肪厚の計測と身体組成に関する研究. *デサントスポーツ科学*. **5**, 266-272.
- 14) 石田良恵, 角田直也, 金久博昭, 近藤正勝, 福永哲夫 (1985) 超音波を用いた体脂肪率の推定. 第6回日本肥満学会記録. 68-70.
- 15) 福永哲夫 (1987) エコーによる肥満の測定. *臨床スポーツ医学*. **4**(3), 291-298.
- 16) Eugene, L. G., John, E. o. and Harold, W. C. (1974): Maximal oxygen uptake based on lean body mass a meaningful measure of physical fitness? *J. Appl. Physiol.*, **36**, 757-760.
- 17) 小宮秀一, 佐藤方彦, 安河内朗 (1988) 体組成の科学. 朝倉書店, 東京.
- 18) Wilmore, J. H. and Behnke, A. R. (1969): An anthropometric estimation of body density and lean body weight in young men. *J. Appl. Physiol.*, **27**, 25-31.
- 19) 徳永勝人, 松沢佑次 (1987): CT による肥満の測定. *臨床スポーツ医学*, **4** (3), 299-305.
- 20) 沢井史穂, 白山正人, 武藤芳照, 宮下充正 (1990): 近赤外分光法による体脂肪測定. *体力科学*. **39**:

155~163,

- 21) Conway, J. M., Norris K. H. and Bodwell, C. E. (1984) : A new approach for the estimation of body composition : infrared interactance. *Am. J. Clin. Nutr.*, **40**, 1123-1130.
- 22) Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964) : Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Hum. Biol.*, **36** : 8-15.
- 23) 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.
- 24) Lukaski, H. C. Johnson, P. E. Bolonchuk, W. W. and Lykken G. I. (1985) : Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurement of the human body. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 810-817.
- 25) Lukaski, H. C. and Johnson, P. E. (1985) : A simple, inexpensive method of determining total body water using a tracer dose of D₂O and infrared absorpton of biological fluids. *Am. J. Clin. Nutr.*, **41**, 363-370.
- 26) Lukaski, H. C. and 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.
- 27) Lukaski, H. C. (1987) : Methods for the assessment of human body composition : traditional and new. *Am. J. Clin. Nutr.*, **46**, 537-556.
- 28) 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.
- 29) Segal, K. R., Van Loan, Fitzgerald, P. I., Hodgdon, J. A. and Van Itallie, T. B. (1988) : Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis : a four-site cross-validation study. *Am. J. Clin. Nutr.*, **47**, 7-14.
- 30) Linke, L. W. J. (1986) : Electrical impedance : a new technique to assess human body composition. *Milit. Med.*, **151**, 338-341.
- 31) 中塘二三生, 田中喜代次, 羽間悦雄, 前田如矢 (1990) : Bioelectrical impedance 法による日本女性の身体組成評価. *体力科学*, **39**, 164-172.
- 32) 田中喜代次, 中塘二三生, 羽間悦雄, 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.
- 33) 中塘二三生, 田中喜代次, 渡辺完児, 前田如矢 (1991) : Bioelectrical impedance 法による身体組成の再現性と個人内変動. *臨床スポーツ医学*, **8**, 57-63.
- 34) Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., (1990) : Validation of the bioelectrical impedance (BI) method to assess body composition in athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18** , S16.
- 35) Lukaski, H. C., Bolonchuk, W. W., Siders, W. A. Hall, and C. B. (1990) : Body composition assessment of athletes using bioelectrical impedance measurements *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. **30** (4) : 434-440.
- 36) 大田紘一, 土橋敏郎, 紫垣由則, 松元尚大, 谷口紘八(1996) : 運動部員の身体組成 ; 身体組成. 九州東海大学総合教育研究センター紀要. 第8巻, 105-114.
- 37) 長嶺晋吉(1983) : 生活と肥満, III 肥満の判定法. 49-66 医歯薬出版, 東京.
- 38) Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. T. and Keys, A. (1963) : Densitometric analysis of body compositions. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* **110** : 113-140.
- 39) 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.
- 40) 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. *日本肥満学会記録誌*, **12** : 279~280.
- 41) 田中喜代次, 中塘二三生 (1986) : 肥満成人女性における体脂肪率の推定, *体力科学*, **35** : 270~276.
- 42) Komiyama, S. and Msuda, T. (1990) : Estimation of human body composition bioelectrical impedance measurements—Equation for estimating total body water in Japanese subjects—*Jpn. J. Phys. Fitness Sport Med.*, **39**, 53-59.
- 43) 長嶺晋吉 (1979) : スポーツとエネルギー・運動, 長嶺晋吉 (編), 初版, 第9章 肥満と体重減量法. 259-283, 大修館, 東京.
- 45) 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.
- 46) 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, **17** (8), 939-945.
- 47) Joe F. Smith and Edward R. Mansfield (1984): Body composition prediction in university football players. *Med. Sci. Sports Exerc.* **16**(4) 398-405.
- 48) Gualdi Russo, E., Gruppioni, G., Gueresi, P., Belcastro, N. G., Marchesini, V. (1992): Skinfold and body composition of sports participants. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness.* **32** (3): 303-313.
- 49) 東京都立大学身体適性学研究室 (編). (1975): 日本人の体力標準値, **2**, 103.