

部位別生体電気インピーダンス法による身体組成分析

—— 健康人に対する検討 ——

仲 立 貴¹ 韓 一 栄¹ 慶 伊 孝 亮¹
笠 原 靖 弘² 西 澤 美 幸² 三 好 努²
 佐 藤 等² 大 野 誠¹

¹ 日本体育大学大学院体育科学研究科

² 株式会社タニタ開発部

(受付 平成 16 年 10 月 14 日)

BODY COMPOSITION ANALYSIS USING SEGMENTAL BIOELECTRICAL IMPEDANCE IN HEALTHY SUBJECTS

Tatsuki NAKA¹, Illyoung HAN¹, Takaaki KEII¹,
Yasuhiro KASAHARA², Miyuki NISHIZAWA², Tsutomu MIYOSHI²,
Hitoshi SATO², and Makoto OHNO¹

¹Graduate School of Health and Sport Science, Nippon Sport Science University

²Research and Development Department, Tanita Corporation

The purpose of this study was to evaluate the data of body composition analysis (*i.e.*, the total body, the upper limbs, the lower limbs, and trunk) of healthy subjects obtained with the new 8-electrode segmental bioelectrical impedance analysis (S-BIA) and compare them with data obtained with dual energy X-ray absorptiometry (DXA) and magnetic resonance imaging. The subjects were 30 healthy adults (15 men and 15 women) aged 24.9 ± 3.5 years. Positive correlations ($p < 0.001$) were observed between the fat-free mass obtained with S-BIA and DXA in the total body ($r = 0.973$), in the right upper limb ($r = 0.947$), and in the right lower limb ($r = 0.950$). The muscle volume of the right lower limb obtained with magnetic resonance imaging was positively correlated ($p < 0.001$) with the lean tissue mass obtained with DXA ($r = 0.986$) and the fat-free mass obtained with S-BIA ($r = 0.956$). These results suggest that the new 8-electrode S-BIA is a convenient, valid method of analyzing the compositions of the whole body and of body parts.

(Tokyo Jikeikai Medical Journal 2005 ; 120 : 35-44)

Key words : body composition, healthy subject, segmental bioelectrical impedance analysis, dual energy X-ray absorptiometry, magnetic resonance imaging

I. 緒 言

身体組成は、スポーツや身体運動のパフォーマンスに影響を与える要因の1つである。また同時に、コンディショニングの指標の1つでもある。たとえば、階級制のスポーツにおける減量では、身

体組成の変化を把握することは大変重要である。また、トレーニング処方を決める際や、トレーニング効果を評価する上でも、重要な情報を提供する。

一般人において全身の身体組成分析は、肥満症などの生活習慣病の予防・療養、美容上の指標、栄

養状態の評価などの面で活用されている。一方、アスリートでは全身のみならず身体各部位別の身体組成分析も重要である。たとえば、筋量の左右差や上肢下肢のバランスを整えることは、スポーツ障害の予防、パフォーマンスの向上にも影響を与える。

以前より、簡便な身体組成評価法の1つとして、生体電気インピーダンス法 bioelectrical impedance analysis (以下、BIA法)が知られている^{1)~4)}。近年、部位別生体電気インピーダンス法 segmental bioelectrical impedance analysis (以下、S-BIA法)が開発され、部位別に生体電気抵抗を測定することにより、身体各部位の身体組成を評価することが可能になった。

一方、二重X線吸収法 dual energy X-ray absorptiometry (以下、DXA法)による身体組成分析結果の精度と妥当性は、Mazessら⁵⁾など多くの研究により確認されている。とりわけ、DXA法による身体組成分析は、骨塩量 bone mineral content (BMC)、脂肪量 fat mass (FM)、骨塩量と脂肪量を除いた組織量である lean tissue mass (LTM)を測定する際の、基準的方法として利用されている⁶⁾。また、筋量の測定では、磁気共鳴画像法 magnetic resonance imaging (以下、MRI法)により、横断画像から筋断面積を算出し、その連続画像から体積を算定することが可能である。しかし、DXA法もMRI法も測定に時間を要し、かつ機器の移動は不可能である。

したがって、多数例を対象とする調査、減量やトレーニングの効果判定、さらに日常の経時的測定などには、短時間で測定ができかつ機器の移動も可能な簡便な方法がのぞまれる。

そこで本研究では、S-BIA法による最新の体組成測定器により健康人の身体組成を全身および部位別に分析し、DXA法およびMRI法による身体組成分析の結果と比較検討し、その妥当性を評価することを目的とした。

II. 方 法

1. 対象

被験者は大学あるいは大学院に通っている普通体重の学生で、特別な運動を1年以上行っていない健康人30名(男/女=15/15名、平均年齢24.9±

Table 1. Physical characteristics of subjects

	male (n=15)	female (n=15)	total (n=30)
Age (year)	26.3±4.0	23.5±2.1	24.9±3.5
Body height (cm)	173.6±5.7	159.4±3.8	166.5±8.6
Body weight (kg)	69.2±7.3	57.4±7.3	63.3±9.3
BMI (kg/m ²)	23.0±2.2	22.6±2.6	22.8±2.4

Values are mean±S.D.

BMI: body mass index

3.5歳、BMI 22.8±2.4 kg/m²)である。被験者の身体的特徴をTable 1に示した。

本研究はヘルシンキ宣言の精神に則って実施し、測定の実施に先立ち、対象者全員に口頭および文書による十分な説明を行い、測定の希望ならびに調査協力の了解が得られた者を対象とした。また、本研究は日本体育大学の「人間を対象とした研究に関する倫理委員会規程」に基づいて行われた。

2. S-BIA法による身体組成分析

最近開発された8電極方式のS-BIA法体組成測定器(BC-118改, タニタ K.K., 東京, 以下, 8電極 S-BIA 体組成計)を用いて身体組成を分析した。この機器はFig. 1に示したように、立位で簡便に部位別の身体組成を測定でき、周波数4 kHz~512 kHz (12種類)の信号成分を含んだ電流(500 μArms)を通電し、そのときのインピーダンスを計測する。さらに、本機特有の8電極方式という最新の機構により、通電する電極の箇所と電圧を計測する電極の箇所を何通りかの組み合わせに変更することによって、身体各部位別のインピーダンスを測定することが可能になった。

たとえば、右下肢の除脂肪組織量 fat-free mass (FFM)の算定方法は、右手足間に電流を通電し、両足間で電圧を測定する。この時測定電圧に影響を与えているのは、電流経路と電圧検出経路が重なっている右下肢の部分のみになる。その電圧から電気抵抗値を求め、電気抵抗値から既知のDXA法との重回帰式によりFFMを算定する。

測定部位は、全身、左右上・下肢、体幹で、測定項目は、体組織重量 body weight (BW), FFM, FMであり、全項目の測定に要する時間は



Fig. 1. 8-electrode segmental bioelectrical impedance analysis (TANITA)

1人あたり約1分である。

部位別身体組成の測定はLukaskiら⁷⁾の方法等を念頭に、以下の条件下で行った。

- ① 測定の前日は、過度の飲食をしない。
- ② 測定の12時間前より、飲酒をしない。
- ③ 測定の12時間前より、激しい運動を行わない。
- ④ 測定の3時間前までに、起床し、朝食をとり、その後は一切の飲食をしない。
- ⑤ 起床後は、坐位や横臥位を長時間継続せずに、通常的生活活動をする。
- ⑥ 測定は同時刻（正午）に統一し、排尿後に測定した。

3. DXA法による身体組成分析

DXA法による身体組成分析は、DPX (Lunar, USA)を用いて、測定Mode: Fastで行った。測定部位は、全身、左右上・下肢、体幹で、測定項目は、FM, LTM, BMCであり、LTM+BMCをFFM, FM+LTM+BMCをBWとして算出した。

この研究で使用したDXA法の機器は、38 keVと70 keVの2種類のエネルギーのX線を照射し、25平方mmのピクセルごとに、X線透過率の差からBMC、軟部組織量を測定する。さらに、軟部組織におけるFMとFFMの割合を、2種類のエネルギーレベルにおける2つの組織の質量減衰

係数の比 (R value) から算定する⁸⁾。

全身のスキャン時間は、約15分であり、測定値の変動係数(CV)は1~2%以下と高精度である⁹⁾¹⁰⁾。全身スキャンのX線被曝量は、0.02 mRem (測定Mode: Fast)と少なく、通常の胸部X線直接撮影の平均的な被曝量である40 mRemと比較して、約800分の1と極めて低線量である。また、測定後auto analysisあるいはmanual analysisでカット位置を定めることにより、身体各部位別の身体組成分析結果を得ることも可能である。

本研究では、下肢のカット位置として、S-BIA法による下肢のFFMと比較するさいには、auto analysisで大腿骨頸部の部分を斜めにカットするように設定した。また、MRI法による下肢の筋量muscle volume (MV)と比較するさいには、manual analysisで大転子と腓骨外果の位置で水平にカットした。

4. MRI法によるMV測定

MRI法によるMVの測定は、MRI装置(AIRIS, 0.3T, 日立メディコ, 東京)を用いて行った。撮影条件はT1強調画像でスライス厚10 mm, スライス間隔30 mm, 仰臥位で行った。測定範囲は、利き脚の大転子から腓骨外果までとした。なお、本研究の被験者の利き脚は全員右脚であった。

筋断面積は、MRIにより得られた下肢横断像をトレーシングペーパーを用いて筋のみをトレース

したのち、スキャナを用いてコンピュータに取り込み、Scion Image Beta 4.02 により算定した。すべてのスライス画像から得られた筋断面積にスライス間隔の 3 cm を乗じ、すべて加算して筋体積を求め、これに筋の密度 1.04 を掛けて MV を算定した¹¹⁾¹²⁾。

S-BIA 法および DXA 法による身体組成分析と MRI 法による下肢 MV の測定は、1 人の被験者につき 3 日以内にすべて終了した。測定期間中は、通常と変らぬ生活を継続し、健康上の異常がないことを確認の上、測定を行った。

5. 統計処理

測定値は平均値±標準偏差 (mean±S.D.) で表示した。S-BIA 法による FFM, DXA 法による FFM および LTM, MRI 法による MV の値は、3 者間のそれぞれの対応関係をみるために単回帰分析を行った。統計学的有意水準はすべて 5% 未満 ($p < 0.05$) とした。

III. 結 果

1. S-BIA 法と DXA 法による身体組成分析

S-BIA 法と DXA 法による身体組成分析の結果を全身および部位別に、男性は Table 2 に、女性

は Table 3 に示した。全身、上肢、下肢については、S-BIA 法と DXA 法による身体組成分析の結果の間に有意な差は認められなかった。しかし、S-BIA 法では頭部と体幹を区別できないため、DXA 法による体幹と比較することはできなかった。

2. S-BIA 法と DXA 法による FFM の関係

S-BIA 法と DXA 法から得られた全身の FFM の間には、Fig. 2 に示したごとく、 $y=0.963x+0.40$, $r=0.973$ の有意な正の相関関係を認めた ($p < 0.001$)。同様に、S-BIA 法と DXA 法から得られた右上肢の FFM の間には、 $y=0.871x+0.20$, $r=0.947$ の有意な正の相関関係を認めた (Fig. 3, $p < 0.001$)。また、右下肢の FFM についても、両者間には、 $y=0.906x+0.46$, $r=0.950$ の有意な正の相関関係が認められた (Fig. 4, $p < 0.001$)。

3. MRI 法による MV と DXA 法による LTM および S-BIA 法による FFM との関係

MRI 法による MV と DXA 法による LTM との間には、Fig. 5 に示したごとく、 $y=0.625x-0.36$, $r=0.986$ の有意な正の相関関係が認められた ($p < 0.001$)。MRI 法による MV と S-BIA 法に

Table 2. Body composition analysis obtained with segmental bioelectrical impedance analysis (S-BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA) for male.

		BW (kg)	FM (kg)	FFM (kg)	BMC (kg)
total body	S-BIA	69.2±7.3	13.8±4.0	55.4±4.8	—
	DXA	69.9±7.3	13.1±5.8	56.8±5.1	3.1±0.36
right upper limb	S-BIA	3.7±0.4	0.6±0.2	3.1±0.3	—
	DXA	3.8±0.4	0.5±0.2	3.3±0.3	0.2±0.03
left upper limb	S-BIA	3.5±0.4	0.5±0.2	3.0±0.3	—
	DXA	3.5±0.5	0.5±0.3	3.1±0.3	0.2±0.02
right lower limb	S-BIA	12.3±1.2	2.5±0.7	9.8±0.8	—
	DXA	12.4±1.3	2.3±0.9	10.1±0.9	0.6±0.08
left lower limb	S-BIA	12.2±1.2	2.5±0.7	9.7±0.8	—
	DXA	12.4±1.4	2.3±1.0	10.2±1.1	0.6±0.08
trunk and head trunk	S-BIA	37.5±4.3	7.7±2.3	29.8±2.8	—
	DXA	32.4±3.7	6.5±3.2	25.9±2.6	1.0±0.16

Values are mean±S.D. ($n=15$)

BW: body weight, FM: fat mass, FFM: fat-free mass, BMC: bone mineral content

No significant differences were observed between body composition analysis obtained with S-BIA and DXA.

Table 3. Body composition analysis obtained with segmental bioelectrical impedance analysis (S-BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA) for female.

		BW (kg)	FM (kg)	FFM (kg)	BMC (kg)
total body	S-BIA	57.4±7.3	18.2±4.3	39.2±3.5	—
	DXA	57.6±7.5	17.0±4.9	40.6±3.5	2.5±0.30
right upper limb	S-BIA	2.7±0.4	0.7±0.2	2.0±0.2	—
	DXA	2.8±0.5	0.7±0.3	2.1±0.3	0.1±0.02
left upper limb	S-BIA	2.6±0.4	0.7±0.2	1.9±0.2	—
	DXA	2.6±0.4	0.6±0.2	1.9±0.2	0.1±0.02
right lower limb	S-BIA	10.5±1.4	3.7±0.7	6.8±0.7	—
	DXA	10.4±1.5	3.3±0.9	7.1±0.8	0.4±0.06
left lower limb	S-BIA	10.6±1.3	3.7±0.7	6.8±0.6	—
	DXA	10.4±1.4	3.3±0.8	7.1±0.8	0.4±0.06
trunk and head trunk	S-BIA	31.1±3.9	9.4±2.5	21.7±1.9	—
	DXA	26.7±3.8	7.8±2.7	19.0±1.5	0.8±0.15

Values are mean±S.D. (n=15)

BW : body weight, FM : fat mass, FFM : fat-free mass, BMC : bone mineral content
 No significant differences were observed between body composition analysis obtained with S-BIA and DXA.

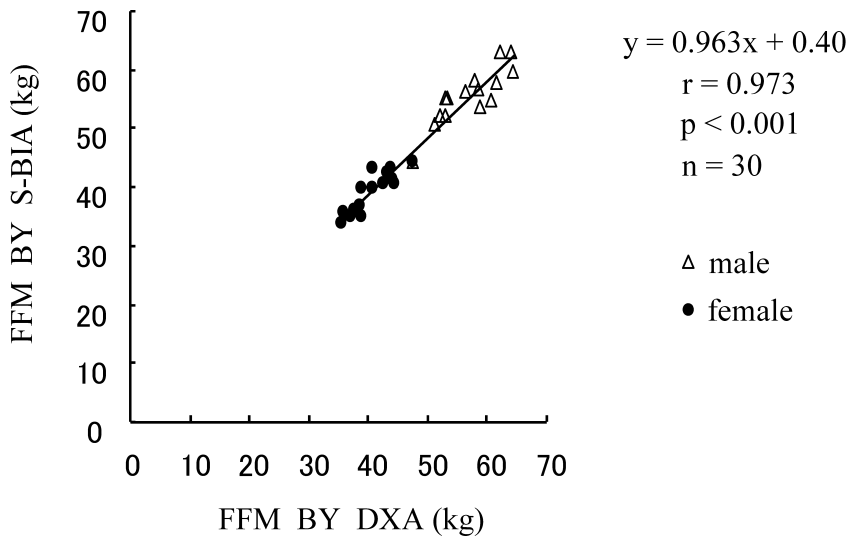


Fig.2. Relationship between the fat-free mass (FFM) obtained with segmental bioelectrical impedance analysis (S-BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in the total body.

よる FFM との間にも, $y = 0.596x - 0.10$, $r = 0.956$ の有意な正の相関関係が認められた (Fig. 6, $p < 0.001$).

IV. 考 察

従来より, 身体組成を簡便に測定する方法として, BIA 法が用いられている。一般に, FFM の 73.2% は電解質を多く含む体水分 total body

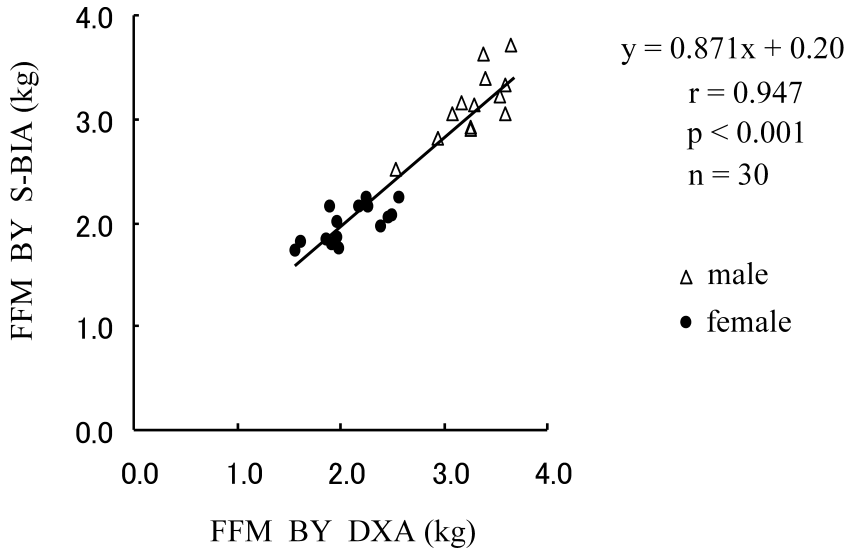


Fig. 3. Relationship between the fat-free mass (FFM) obtained with segmental bioelectrical impedance analysis (S-BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in the right upper limb.

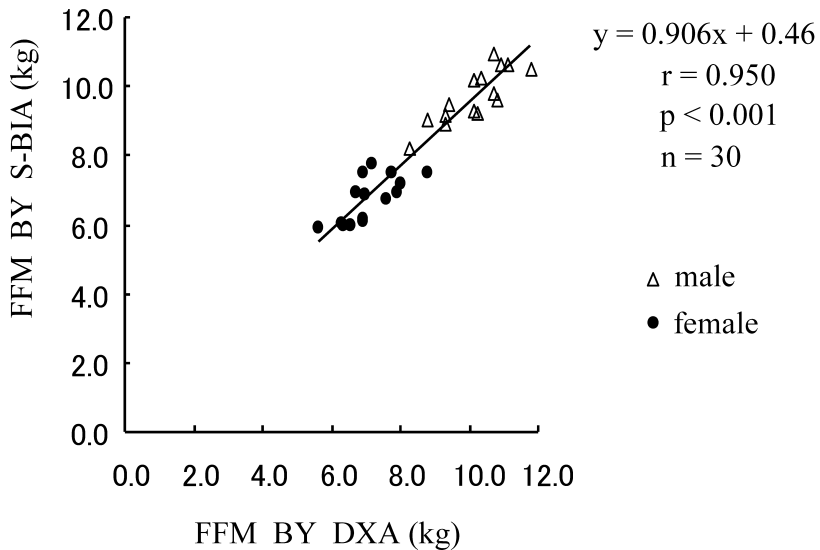


Fig. 4. Relationship between the fat-free mass (FFM) obtained with segmental bioelectrical impedance analysis (S-BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in the right lower limb.

water (TBW)であるため、FFMは導電体とみなされるのに対して、FMや骨は電解質をほとんど含まない絶縁体とみなされる。従来より、BIA法ではこの電気伝導度の差異より身体組成を推定する。すなわち、電気抵抗値と身長と体重よりTBW

を求め、TBWを0.732で除することによりFFMを算定する¹³⁾⁻¹⁵⁾。

しかし、本研究で使用した最新の8電極S-BIA体組成計 (Fig. 1) では、TBWを用いず、電気抵抗値から直接、既知のDXA法による解析値との

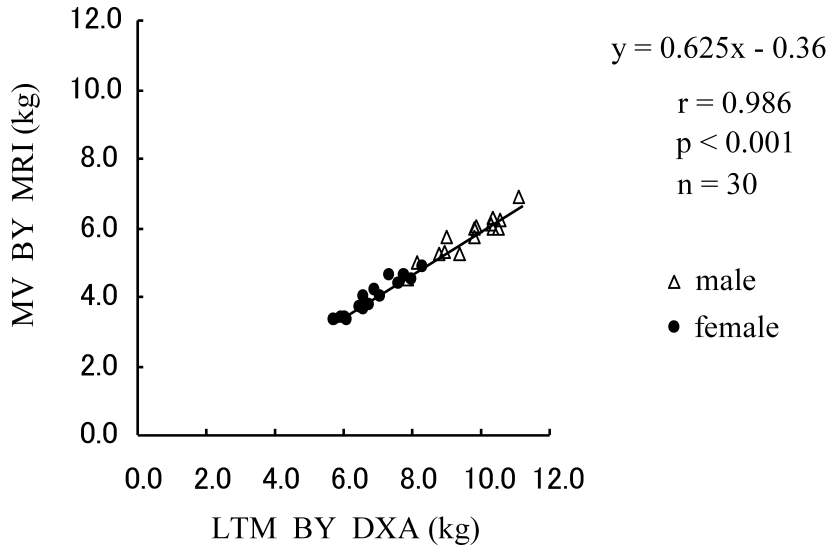


Fig. 5. Relationship between the muscle volume (MV) obtained with magnetic resonance imaging (MRI) and the lean tissue mass (LTM) obtained with dual energy X-ray absorptiometry (DXA) in the right lower limb.

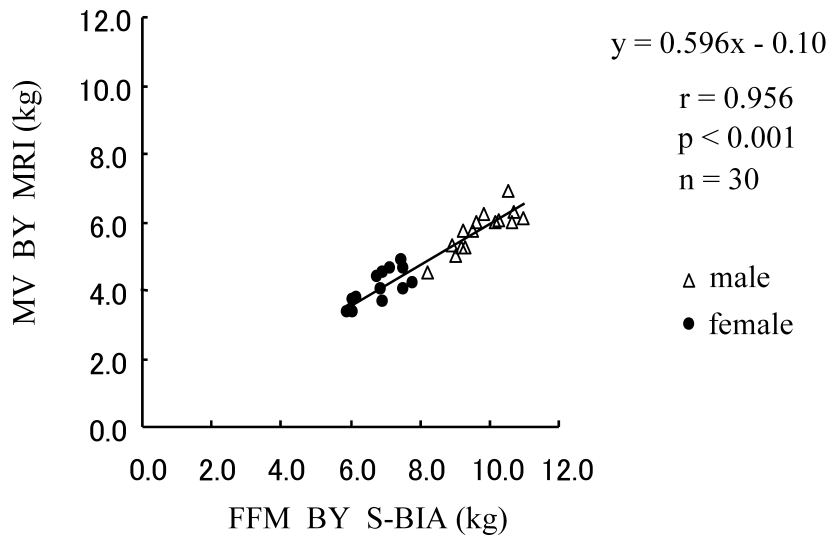


Fig. 6. Relationship between the muscle volume (MV) obtained with magnetic resonance imaging (MRI) and the fat-free mass (FFM) obtained with segmental bioelectrical impedance analysis (S-BIA) in the right lower limb.

回帰式より FFM, 体脂肪率, FM を算定する。したがって、従来の BIA 法の測定器では全身の身体組成しか評価できなかったが、この 8 電極 S-BIA 体組成計では、左右上・下肢, 体幹部ごとに部位別の身体組成の測定も可能になったわけである。

さらに、本測定機は、測定機の上に立位で乗りハンドグリップを握るだけで測定でき、宮谷ら¹⁶⁾が MRI 法によって妥当性を報告した S-BIA 測定器と違い電極の貼り付けなどの手間を要さず、被験者および験者の負担がきわめて軽くなった点が特

徴である。

一方、BIA法と同じく間接法ではあるが、かなり直接的に身体組成を測定しうる方法として、DXA法が知られている。DXA法は、測定後 auto analysis あるいは manual analysis でカット位置を定めることにより、身体各部位別の身体組成分析結果も得ることが可能である。人体に対する侵襲性が小さく、測定精度および客観性が高いことから、身体組成を測定する基準的方法として高く評価されている^{17)~20)}。

また、MRI法では得られた断面像から筋組織や脂肪組織の面積を測定し、筋量や脂肪量を求める。Rossら²¹⁾は、体脂肪総量と局所脂肪分布をMRI法によって定量化する方法を確立している。筋断面面積から筋量を求める方法は、身体を円柱と考え筋断面面積にスライス間隔を乗じ、その総和を求めることによって得られる。したがって、横断画像を1枚づつ手作業でトレースしなければならず、本研究のように右下肢をスライス間隔3cmで測定した場合、女性で約25枚、男性で28枚のスライスが必要となり、データの解析には相当な手間と時間を要することになる。

さてこの研究では、最新の8電極S-BIA体組成計により身体組成を全身および部位別に分析し、DXA法およびMRI法による身体組成分析の結果と比較し、測定値の信頼性および妥当性について検討した。

S-BIA法とDXA法による身体組成分析の結果は、全身、上肢、下肢とも、両者間に有意な差は認められなかった。なお、S-BIA法による体幹の身体組成分析には頭部の重量も含まれているため、DXA法による体幹のそれらより、若干高値を示したと考えられる。

つぎに、S-BIA法とDXA法における全身、右上肢、右下肢のFFMの関係について検討したところ、8電極S-BIA体組成計により測定した全身のFFMは、DXA法から得られたFFMと極めてよく相関しており、測定精度に関して明らかな差異は見られなかった。同様に、上肢および下肢のFFMも、DXA法から得られたそれらに、きわめてよく相関しており、測定精度に関して遜色はなかった。ただし、前述のごとく、DXA法による上肢と下肢のカット位置は、S-BIA法においてカッ

トされる位置と同一部位にして、測定範囲を一致させるように配慮した。以上の結果より、本研究で使用した8電極S-BIA体組成計は全身および部位別(上肢、下肢)の身体組成をDXA法と同等の精度で分析できることが明らかになり、この機器に内蔵されているアルゴリズムの妥当性が確認された。

下肢については、MRI法を用いてMVも測定した。MRI法から得られたMVとDXA法から得られたLTMおよびS-BIA法から得られたFFMとの間には、いずれも有意な正の相関関係が認められた。しかし、MVとLTM、MVとFFMのいずれも回帰係数は若干低く、MRI法による下肢筋量の測定結果は、DXA法およびS-BIA法のいずれよりも低値を示した。

この原因として、MRI法から得られたMVに含まれないで、DXA法から得られたLTMおよびS-BIA法から得られたFFMに含まれる成分を無視することはできない。すなわち、測定した下肢の腱と骨格筋内へ浸潤した脂肪および皮膚直下の血液、リンパ液、骨髄液などの体水分である。その分、MRI法によるMVの方がDXA法やS-BIA法による測定値よりも低値を示した可能性が考えられる。

MRI法から得られたMVは、筋体積にもとづくものであり、DXA法から得られたLTMは、体重からBMCとFMを除いたもので、S-BIA法から得られたFFMは、体重からFMを除いたものであるから、当然水分含有量の差異について考慮せねばならない。Shihら²²⁾も下肢のMRI法によるMVとDXA法によるLTMでは、LTMには皮膚組織量、骨格筋内の脂肪および骨のミネラル分以外の組織量が含まれるため、MRI法によるMVはDXA法によるLTMより約24%過少評価されることを報告している。

さらに、MRI法から得られたMVに含まれないで、DXA法から得られたLTMに含まれる成分として、大転子付近の臓器が考えられる。この2者を比較する場合のDXA法の下肢のカット位置は、manual analysisで大転子と腓骨外果の位置で水平にカットしており、これはMRI法におけるカット位置と同じであり、測定範囲は一致している。しかし、DXA法によるLTMは、体重か

ら BMC と FM を除いたものであるため、大転子付近の臓器重量が含まれる。

また、MRI 法から得られた MV に含まれないで、S-BIA 法から得られた FFM に含まれる成分として、下肢 BMC と足部が考えられる。MRI 法による MV の測定範囲は、大転子から腓骨外果であるのに対し、S-BIA 法から得られた FFM の測定範囲は、DXA 法と同様で大腿骨頸部の部分を斜めにカットし、足部までのすべてを含む。そのため、測定範囲を完全に一致させることは困難である。

これら種々の要因が重なり、MRI 法による下肢 MV の測定結果は、DXA 法および S-BIA 法のいずれよりも低値を示したと考えられた。この点については、今後さらに例数を増やして、詳細な検討が必要であると思われる。

さて、コンディショニングや健康状態の把握、疫学調査の場やフィールドにおける多数例を対象とする研究や臨床応用の場では、測定機器の選定にあたり、機器の測定精度、再現性、測定手技の簡便性、被験者への負担、経済性、携行性などを考慮せねばならない。

DXA 法による身体組成分析は、たしかに測定精度や再現性に優れているが、高価な機器であり、機器の移動ができず、簡単に日常生活において多数例を測定することは難しい。

また、MRI 法は、さらに高価な上に、本実験の条件下でも 1 人の測定に約 1 時間を要し、被験者および験者への負担が非常に大きい。また、測定後の MV の算定にはさらに多大な時間がかかり、大変手間のかかる作業である。したがって、身体組成分析という目的では、DXA 法以上に活用することが困難な方法であることは異論を待たない。

それに対し、本研究で用いた 8 電極 S-BIA 体組成計は、すでに述べたように測定精度に優れ、験者に特別な測定手技を必要とせず、測定時間は約 1 分と非常に短時間であり、被験者への負担はほとんどない。また、DXA 法や MRI 法の機器と比べ、非常に安価で、しかも移動も可能なことから、大規模調査における身体組成分析の目的には大変有用な機器であるということが出来る。さらに、従来より評価されてきた全身の身体組成分析に加え

て、8 電極方式が確立されたことにより、DXA 法と同等に身体各部位別の身体組成分析が可能になったことは特筆に値する。今後の臨床応用の可能性は格段と広がったことになる。

ただし、インピーダンスには日内変動があり、体水分の量および分布の変動と体温による伝導率の変動などの影響を受けることはよく知られている²³⁾²⁴⁾。したがって、測定上の注意点を踏まえて、一定条件で慎重に測定すれば、8 電極 S-BIA 体組成計は、DXA 法にも匹敵する高精度な身体組成分析装置として利用することができよう。

V. 結 語

8 電極 S-BIA 体組成計による全身および部位別の身体組成分析結果を、DXA 法および MRI 法による身体組成分析結果と比較し、測定値の信頼性および妥当性について検討した。

- 1) 8 電極 S-BIA 体組成計は全身のみならず部位別(上肢、下肢)の身体組成を DXA 法と同等の精度で分析できることが明らかになり、この機器に内蔵されているアルゴリズムの妥当性が確認された。
- 2) MRI 法による下肢筋量の測定結果は、DXA 法および S-BIA 法のいずれとの間にも有意な正の相関関係を認めしたが、いずれよりも低値を示した。

以上より、8 電極 S-BIA 体組成計による身体組成分析は、測定条件に配慮すれば、迅速かつ正確に全身および部位別の身体組成を DXA 法と同等の精度で測定できることが明らかとなった。価格、簡便性、携行性などの面から、今後、多方面における臨床応用が期待される。

文 献

- 1) Houtkooper LB, Going SB, Lohman TG, Roche AF, Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. *J Appl Physiol* 1992; 72: 366-73.
- 2) 渡辺完児, 中塘二三生, 田中喜代次, 三宅眞理, 前田如矢. Bioelectrical Impedance Method による中学生の身体組成評価. *体力科学* 1993; 42: 350-9.

- 3) Nakadomo F, Tanaka K, Hazawa T, Maeda K. Validation of body composition assessed by bioelectrical impedance analysis. *Jpn J Appl Physiol* 1990; 20: 321-30.
- 4) Van Marken Lichtenbelt WD, Westerterp KR, Wouters L, Luijendijk SC. Validation of bioelectrical-impedance measurements as a method to estimate body-water compartments. *Am J Clin Nutr* 1994; 60: 159-66.
- 5) Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanson J. Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr* 1990; 51: 1106-12.
- 6) Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* 1987; 46: 537-56.
- 7) Lukaski HC, Bolonchuk WW, Hall CB, Siders WA. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol* 1986; 60: 1327-32.
- 8) 山越憲一. 健康・福祉工学ガイドブック. 東京: 工業調査会; 2001. p. 49-58.
- 9) Compston JE, Laskey MA, Croucher PI, Coxon A, Kreitzman S. Effect of diet-induced weight loss on total body bone mass. *Clin Sci* 1992; 82: 429-32.
- 10) Ramsdale SJ, Bassej EJ. Changes in bone mineral density associated with dietary-induced loss of body mass in young women. *Clin Sci* 1994; 87: 343-8.
- 11) Chowdhury B, Sjostrom L, Alpsten M, Kostantny J, Kvist H, Lofgren R. A multicompartiment body composition technique based on computerized tomography. *Int J Obes Relat Metab Disord* 1994; 18: 219-34.
- 12) Visser M, Fuerst T, Lang T, Salamone L, Harris TB. Validity of fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry for measuring fat-free mass and leg muscle mass. *J Appl Physiol* 1999; 87: 1513-20.
- 13) 金井 寛. インピーダンス計測の基礎と臨床への応用. *臨床検査* 1982; 26: 421-9.
- 14) 佐藤富男. 体脂肪量の測定法 電気伝導度法, インピーダンス法. *日臨* 1995; 53: 179-82.
- 15) Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 1985; 41: 810-7.
- 16) Miyatani M, Kanehisa H, Masuo Y, Ito M, Fukunaga T. Validity of estimating limb muscle volume by bioelectrical impedance. *J Appl Physiol* 2001; 91: 386-94.
- 17) 川上憲司, 凌 慶成, 中村宜男, 池田義雄, 大野 誠. 電気インピーダンス法と二重 X 線吸収法による身体構成成分解析の対比検討. *臨床病理* 1994; 42: 1088-92.
- 18) 藤岡滋典, 徳永勝人. 体脂肪量の測定法概論. *日臨* 2003; 61: 357-62.
- 19) 大野 誠, 池田義雄. 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* 1998; 4: 52-6.
- 20) 藤岡滋典, 徳永勝人. 体脂肪量の測定法 体密度法(水中体重法), 体水分法, 近赤外分光法, 皮下脂肪厚法, 二重 X 線吸収法. *日臨* 2003; 61: 363-7.
- 21) Ross R, Leger L, Morris D, de Guise J, Guardo R. Quantification of adipose tissue by MRI: relationship with anthropometric variables. *J Appl Physiol* 1992; 72: 787-95.
- 22) Shih R, Wang Z, Heo M, Wang W, Heymsfield SB. Lower limb skeletal muscle mass: development of dual-energy X-ray absorptiometry prediction model. *J Appl Physiol* 2000; 89: 1380-6.
- 23) 阪本要一, 佐藤 等, 池田義雄. 体脂肪量の測定法(電気伝導度法, インピーダンス法). *日臨* 2003; 61: 368-73.
- 24) 佐藤 等, 阪本要一. 体脂肪と測定法. 診断と治療 1996; 84: 975-9.