

# 生体インピーダンス法と二重エネルギー X 線吸収法による 体組成測定値の比較

滝川 厚<sup>\*1</sup> 加藤 洋司<sup>\*2</sup> 中村 悟<sup>\*3</sup> 堂本 時夫<sup>\*2</sup>

\*1 県立広島大学保健福祉学部理学療法学科

\*2 県立広島大学保健福祉学部看護学科

\*3 県立広島大学学術情報センター

2010年 9月 8日受付

2010年 12月 16日受理

## 抄 録

同一被験者の体組成を生体インピーダンス法 (BIA 法) と二重エネルギー X 線吸収法 (DXA 法) で測定し, 四肢, 体幹部および全身について体脂肪率, 体脂肪量, 推定筋肉量, 重量を求めた。全身の体脂肪率, 体脂肪量, 重量 (体重) の平均値は比較的近い値が得られた。二つの測定法の測定値は有意な相関があったが, 四肢に比べて体幹部, 全身で高い相関が認められた。体幹部や全身のように測定対象範囲が広い場合には BIA 法は体組成測定に有用な方法であることがわかった。

**キーワード** : 体組成, 生体インピーダンス法, 二重エネルギー X 線吸収法

## 1 緒言

体脂肪率をはじめとするいくつかの体組成指標を測定するために、水中体重秤量法、空気置換法、X線CT法など多くの方法が提案されている。中でも、生体インピーダンス法 (bioelectrical impedance analysis: BIA) と二重エネルギー X線吸収法 (dual energy X-ray absorptiometry: DXA) が一般によく用いられている。DXA法は、X線を使うが被曝が少なく精度が良いため、ゴールドスタンダードとされている。一方、BIA法はX線被曝がなく、家庭でも簡単に測定できるが、生体インピーダンスを正確に測定することが難しいと言われている。

BIA法では身体に微弱な電流を流して生体のインピーダンスを測定する。得られたインピーダンスを使って水中体重秤量法やDXA法の値との相関性をもたせる回帰式で体脂肪率その他の指標を推定する<sup>1,2)</sup>。回帰式は測定機器のタイプ (両手で持つもの、両脚で乗るもの、両手両脚の4点で測定するものなど) やメーカーによって異なるものを使用している。そのために機器によるばらつきが大きいと言われている。生体インピーダンスは体内の水分量や水分分布によって変化するので、安静時と比べて、例えば、激しい運動をした後や長く風呂に入った後では測定値が変化する。測定機器に直接接触する手掌や足底が汚れていると正確に測定できないことがある<sup>3-7)</sup>。また、測定機器のタイプに合わせたメーカー推奨の姿勢で測定する必要がある。起床直後は両脚の水分量が立位を長く続けているときより少なく、そのため両脚で乗るタイプの測定器ではインピーダンスが高くなり体脂肪率は高めに評価される。このような特徴を理解して、毎日決まった時間にメーカー推奨の姿勢で測定して、測定値の変化を見ることが大切である。

## 2 目的

われわれは2008年から瀬戸内島嶼部の柑橘類栽培農家中老年女性の骨密度と生活習慣病関連指標の調査を続けている<sup>8)</sup>。体組成はこれまでBIA法で測定してきたが、一般にスタンダードとされているDXA法と比較するため、本年3月に同一被験者の体組成をBIA法およびDXA法で測定した。測定法の精度を議論するためには、真値がわかっているファントムを使用するのが理想的であるが、BIA法とDXA法に共通して使用できるファントムはない。そこで、測定結果にどのような特徴があるのかを検討することにした。

## 3 対象および方法

### 3.1 対象

広島県東部の島嶼部にある瀬戸田町および豊町の「JA三原せとだ」と「JA広島ゆたか」の協力を得て、レモン栽培農家の主婦に研究の趣旨と方法を説明した。研究に協力することを承諾して検診に参加した65名および検診当日に検査を希望した本学教員1名、本学学生1名の計67名を対象とした。対象者は全員女性で年齢は41歳から72歳 (平均58.2歳、標準偏差7.4歳) の範囲である。

### 3.2 方法

柑橘類栽培農家中老年女性の骨密度と生活習慣病関連指標を調べるために、2010年3月に3回目の検診を行った。検診では身体測定、骨密度測定、血液検査、血圧脈波測定と合わせて体組成測定を実施した。これらの測定はいずれも県立広島大学保健福祉学部で行った。

体組成測定には体組成計 (タニタ社製 BC-118D: BIA法) およびX線骨密度測定装置 (Hologic社製 Discovery A: DXA法) を使用した。それぞれ四肢、体幹部、全身の体脂肪率、体脂肪量、推定筋肉量、重量を測定装置からの直接出力または計算で求めた。

BIA法で使用した体組成計は左右の手掌と左右の足底を電極に触れるタイプである。測定する際、汚れを除去するため被験者ごとにエタノールで電極部分を拭いた。また、金属が電極に触れないように指輪などははずしてもらった。怪我で足底に包帯をしている場合や足底の皮膚が荒れている場合は測定対象から除外した。測定に使用した室では通常の空調を使用した。DXA法は金属やボタンを除いた状態で実施した。

### 3.3 統計処理

計数にはMicrosoft Excel 2003を使用した。統計処理は正規性の検定として $\chi^2$ 適合度検定を行い、正規分布を仮定できる場合はPearsonの相関係数、正規分布を仮定できない場合はSpearmanの順位相関係数の有意性を検定した。さらに、加齢の影響を調べるため60歳未満と60歳以上の2群に分けて比較した。これらの処理にはMicrosoft Excel 2003とStatcel2<sup>9)</sup>を使用した。

### 3.4 倫理的配慮

本研究は県立広島大学保健福祉学部研究倫理委員会の承認を得て実施した。また、すべての被験者に研究の趣旨、方法、結果の取り扱いなどについて説明し、承諾書で了解を得た。

表 1 生体インピーダンス法と二重エネルギー X 線吸収法との比較 (体脂肪率)

	右上肢		左上肢		右下肢		左下肢		体幹部		全身	
	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA
被験者数	64	64	66	66	65	65	61	61	66	66	65	65
平均 [%]	27.547	36.254	28.579	37.711	34.931	34.399	34.462	34.372	32.662	28.488	33.112	31.664
標準偏差 [%]	6.581	6.485	6.758	7.105	3.736	5.526	3.962	4.865	6.375	5.392	5.430	4.690
変動係数	0.239	0.179	0.236	0.188	0.107	0.161	0.115	0.142	0.195	0.189	0.164	0.148
正規性の検定 (P-値)	0.842	0.033*	0.798	0.611	0.916	0.142	0.505	0.089	0.697	0.697	0.836	0.281
外れ値の個数	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
相関係数	0.674		0.774		0.443		0.317		0.860		0.858	
決定係数	0.455		0.600		0.196		0.101		0.739		0.735	
相関の検定 (P-値)	<0.001**		<0.001		<0.001		0.013		<0.001		<0.001	

\*  $\chi^2$  適合度検定で正規分布を仮定できない

\*\* Spearman の順位相関係数の検定

表 2 生体インピーダンス法と二重エネルギー X 線吸収法との比較 (体脂肪量)

	右上肢		左上肢		右下肢		左下肢		体幹部		全身	
	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA
被験者数	65	65	65	65	64	64	65	65	65	65	64	64
平均 [kg]	0.685	1.142	0.725	1.153	3.088	3.139	3.155	3.136	10.329	8.926	17.795	17.341
標準偏差 [kg]	0.248	0.327	0.259	0.345	0.627	0.845	0.650	0.840	3.025	2.529	4.537	4.121
変動係数	0.362	0.287	0.357	0.299	0.203	0.269	0.206	0.268	0.293	0.283	0.255	0.238
正規性の検定 (P-値)	0.724	0.715	0.130	0.374	0.355	0.140	0.286	0.657	0.686	0.671	0.952	0.374
外れ値の個数	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
相関係数	0.856		0.859		0.655		0.671		0.914		0.946	
決定係数	0.733		0.737		0.430		0.450		0.836		0.895	
相関の検定 (P-値)	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001	

表 3 生体インピーダンス法と二重エネルギー X 線吸収法との比較 (推定筋肉量)

	右上肢		左上肢		右下肢		左下肢		体幹部		全身	
	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA
被験者数	65	65	64	64	65	65	66	66	66	66	67	67
平均 [kg]	1.654	1.909	1.622	1.776	5.357	3.136	5.479	5.594	19.492	21.162	33.690	36.299
標準偏差 [kg]	0.168	0.260	0.163	0.217	0.547	0.840	0.553	0.697	1.677	2.016	2.976	3.851
変動係数	0.101	0.136	0.100	0.122	0.102	0.268	0.101	0.125	0.086	0.095	0.088	0.106
正規性の検定 (P-値)	0.231	0.382	0.005*	0.184	0.586	0.657	0.760	0.302	0.696	0.410	0.086	0.900
外れ値の個数	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
相関係数	0.758		0.763		0.513		0.630		0.803		0.880	
決定係数	0.575		0.582		0.263		0.397		0.645		0.774	
相関の検定 (P-値)	<0.001		<0.001**		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001	

\*  $\chi^2$  適合度検定で正規分布を仮定できない

\*\* Spearman の順位相関係数の検定

表 4 生体インピーダンス法と二重エネルギー X 線吸収法との比較 (重量)

	右上肢		左上肢		右下肢		左下肢		体幹部		全身	
	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA	BIA	DXA
被験者数	65	65	64	64	65	65	64	64	66	66	66	66
平均 [kg]	2.482	3.171	2.467	3.012	8.886	9.185	9.008	8.998	31.474	31.118	54.450	55.668
標準偏差 [kg]	0.389	0.476	0.367	0.468	1.116	1.389	0.994	1.299	4.254	4.026	7.127	7.264
変動係数	0.157	0.150	0.149	0.155	0.126	0.151	0.110	0.144	0.135	0.129	0.131	0.130
正規性の検定 (P-値)	0.559	0.377	0.409	0.343	0.388	0.522	0.216	0.866	0.615	0.105	0.755	0.755
外れ値の個数	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
相関係数	0.889		0.898		0.853		0.801		0.945		0.999	
決定係数	0.791		0.807		0.728		0.641		0.892		0.998	
相関の検定 (P-値)	<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001		<0.001	

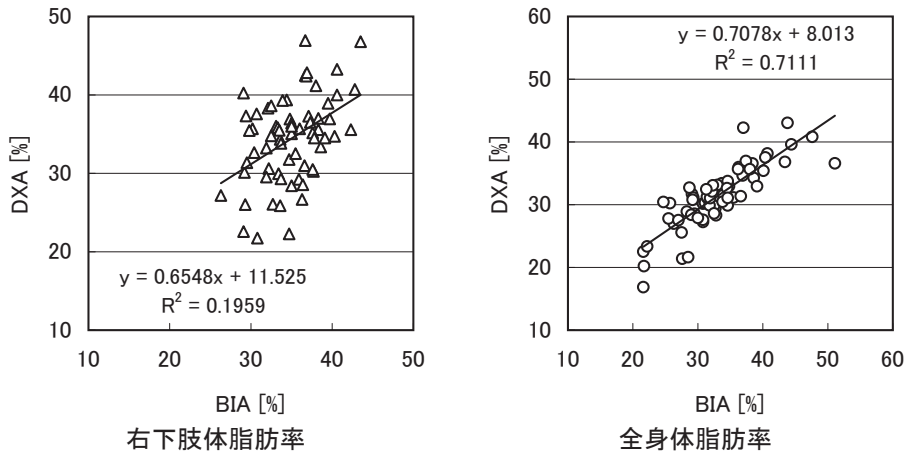


図1 BIA法とDXA法の比較（体脂肪率）

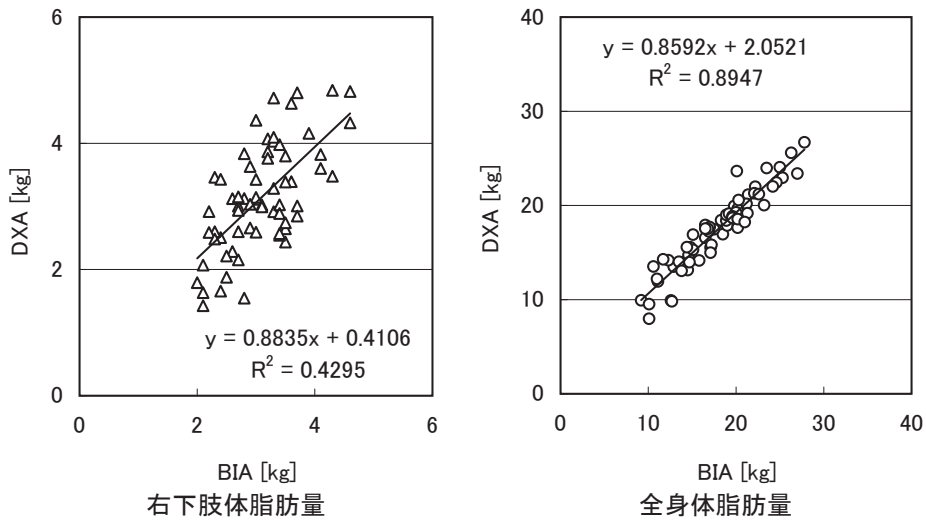


図2 BIA法とDXA法の比較（体脂肪量）

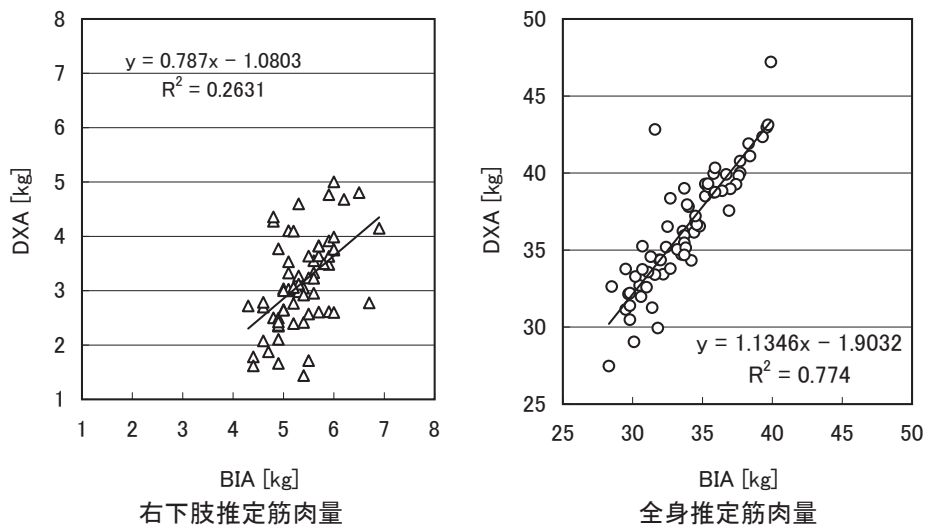


図3 BIA法とDXA法の比較（推定筋肉量）

### 4 結果

体脂肪率, 体脂肪量, 推定筋肉量, 重量は BIA 法と DXA 法の両方で測定できる。被験者全員について測定値を比較したところ, 全身推定筋肉量を除くすべての項目で BIA 法, DXA 法の少なくとも一方に外れ値があった。ヒストグラムおよび正規確率プロットで視覚的に確認しても全体の分布から明らかにはずれているものがあつたため, (第1四分位 - 1.5 × 四分位範囲) と (第3四分位 + 1.5 × 四分位範囲) の範囲からはずれるものを外れ値として除外して解析した。その結果を表1から表4に示す。表中に「外れ値の個数」と表示しているのは, 被験者全員のデータから外れ値を除外した解析でさらに外れ値になったデータ数を示している。また, 正規性の検定は  $\chi^2$  適合度検定の P- 値を示しており, 有意水準を 5% とすると P- 値がこれより小さい右上肢体脂肪率の DXA 法 (表1) と左上肢推定筋肉量の BIA 法 (表3) の2項目は正規分布を仮定できない。体脂肪率, 体脂肪量, 推定筋肉量, 重量のいずれも四肢に比べて体幹部および全身で相関係数と決定係数が高い値になっている。Pearson の相

関係数または Spearman の順位相関係数の有意性を検定した結果, いずれの項目も有意水準 5% で有意な相関を認めた。具体的な例として, 右下肢と全身の体脂肪率, 体脂肪量, 推定筋肉量, 重量について BIA 法と DXA 法の散布図を図1から図4に示す。

被験者 67 名の年齢構成は, 40 歳台が 6 名, 50 歳台が 30 名, 60 歳台が 30 名, 70 歳台が 1 名だった。そこで, 60 歳未満と 60 歳以上の 2 群に分けて加齢の影響を調べた。BIA 法と DXA 法の少なくとも一方で 67 名全体のはずれ値になったデータは解析対象から除外した。体脂肪率, 体脂肪量, 推定筋肉量の結果を表5から表7に示す。体脂肪率と体脂肪量の平均値では 60 歳以上の方が大きく, 推定筋肉量の平均値では 60 歳未満の方が大きい傾向がみられる。どの部位についても被験者数の合計が 60 以上あるので平均値について t 検定を行った。右上肢 BIA 法 ( $P = 0.022$ ), 右上肢 DXA 法 ( $P = 0.031$ ) および左上肢 BIA 法 ( $P = 0.033$ ) で有意差があつた。図5から図10に右下肢と全身の体脂肪率, 体脂肪量, 推定筋肉量について BIA 法と DXA 法の散布図を示す。

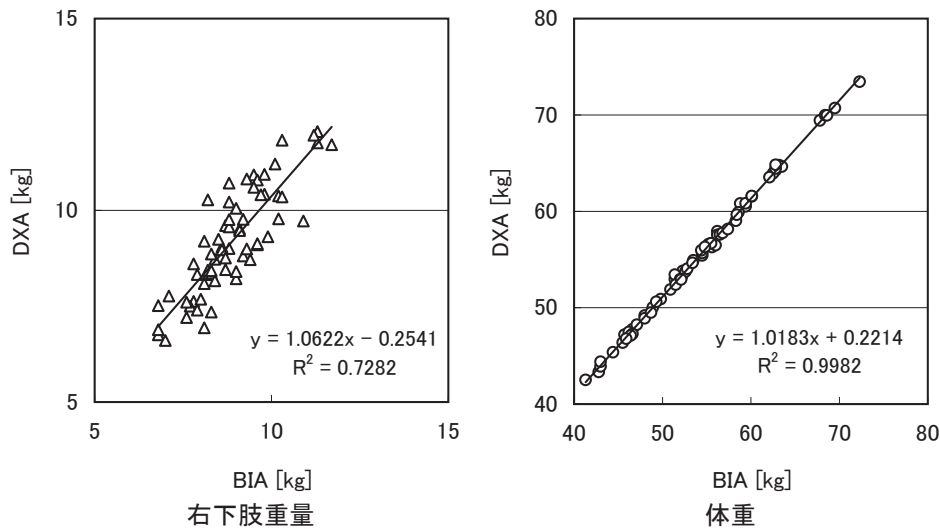


図4 BIA 法と DXA 法の比較 (重量)

表5 年齢層別体脂肪率の比較

	右上肢 (BIA)		左上肢 (BIA)		右下肢 (BIA)		左下肢 (BIA)		体幹部 (BIA)		全身 (BIA)	
	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上
被験者数	34	30	35	31	35	30	33	28	35	31	35	30
平均 [%]	25.797	29.530	26.923	30.448	34.506	35.427	33.715	35.343	31.483	33.994	32.014	34.393
標準偏差 [%]	5.818	6.922	6.162	7.008	3.713	3.763	4.267	3.436	6.135	6.477	5.452	5.202
	右上肢 (DXA)		左上肢 (DXA)		右下肢 (DXA)		左下肢 (DXA)		体幹部 (DXA)		全身 (DXA)	
	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上	60 歳未満	60 歳以上
被験者数	34	30	35	31	35	30	33	28	35	31	35	30
平均 [%]	34.620	38.107	36.791	38.750	34.535	34.240	33.941	34.880	27.419	29.696	30.878	32.582
標準偏差 [%]	5.870	6.743	6.618	7.593	5.595	5.537	5.159	4.534	5.586	4.977	4.751	4.524

表6 年齢層別体脂肪量の比較

	右上肢 (BIA)		左上肢 (BIA)		右下肢 (BIA)		左下肢 (BIA)		体幹部 (BIA)		全身 (BIA)	
	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上
被験者数	35	30	35	30	34	30	35	30	34	31	34	30
平均 [kg]	0.660	0.713	0.689	0.767	3.097	3.077	3.157	3.153	9.682	11.039	17.191	18.480
標準偏差 [kg]	0.261	0.232	0.260	0.255	0.662	0.595	0.698	0.599	2.796	3.152	4.532	4.521
	右上肢 (DXA)		左上肢 (DXA)		右下肢 (DXA)		左下肢 (DXA)		体幹部 (DXA)		全身 (DXA)	
	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上
被験者数	35	30	35	30	34	30	35	30	34	31	34	30
平均 [kg]	1.086	1.207	1.133	1.177	3.212	3.055	3.210	3.049	8.431	9.468	16.990	17.739
標準偏差 [kg]	0.320	0.329	0.356	0.335	0.852	0.843	0.869	0.811	2.564	2.416	4.128	4.147

表7 年齢層別推定筋肉量の比較

	右上肢 (BIA)		左上肢 (BIA)		右下肢 (BIA)		左下肢 (BIA)		体幹部 (BIA)		全身 (BIA)	
	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上
被験者数	35	30	34	30	35	31	35	31	35	31	36	31
平均 [kg]	1.674	1.630	1.638	1.603	5.434	5.294	5.540	5.410	19.514	19.468	33.967	33.368
標準偏差 [kg]	0.177	0.156	0.165	0.161	0.563	0.536	0.562	0.544	1.689	1.690	3.013	2.949
	右上肢 (DXA)		左上肢 (DXA)		右下肢 (DXA)		左下肢 (DXA)		体幹部 (DXA)		全身 (DXA)	
	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上	60歳未満	60歳以上
被験者数	35	30	34	30	35	31	35	31	35	31	36	31
平均 [kg]	1.911	1.907	1.782	1.769	5.725	5.696	5.621	5.563	21.195	21.124	36.522	36.041
標準偏差 [kg]	0.270	0.252	0.233	0.200	0.775	0.684	0.734	0.663	2.017	2.048	4.183	3.477

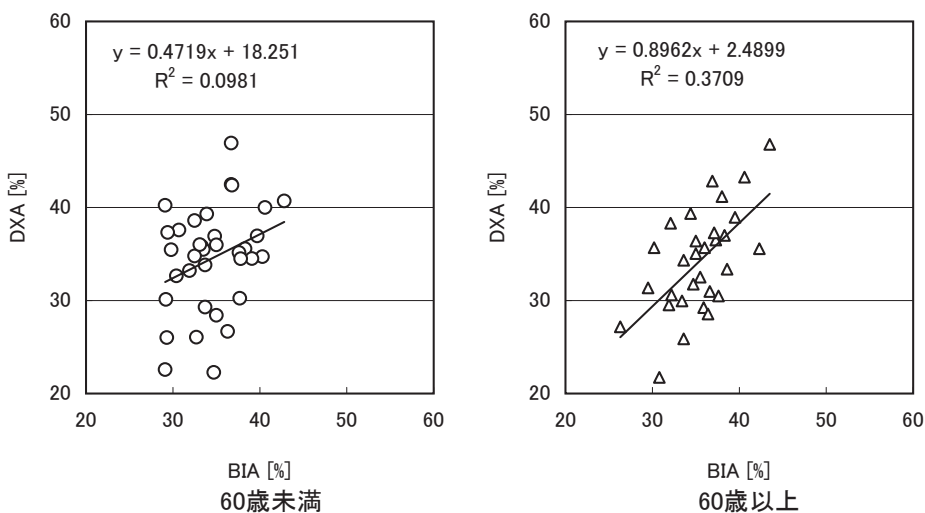


図5 年齢層別右下肢体脂肪率

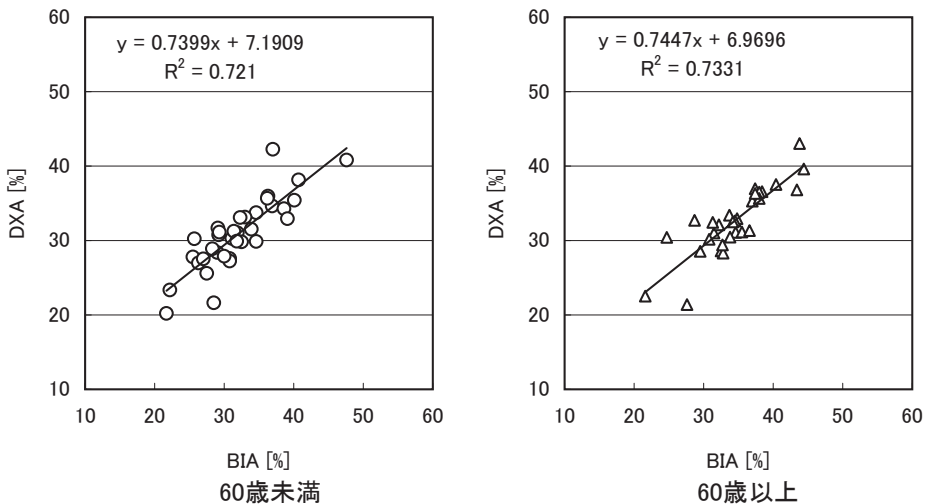


図6 年齢層別全身体脂肪率

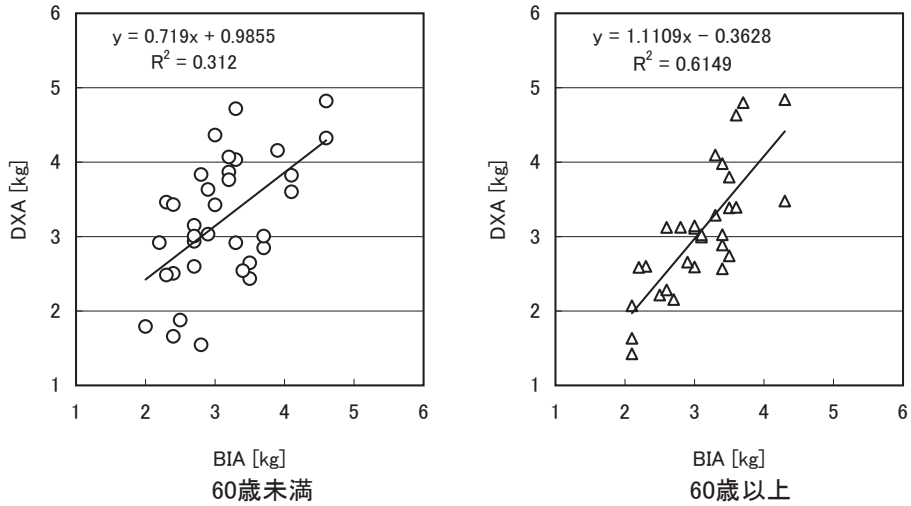


図7 年齢層別右下肢体脂肪量

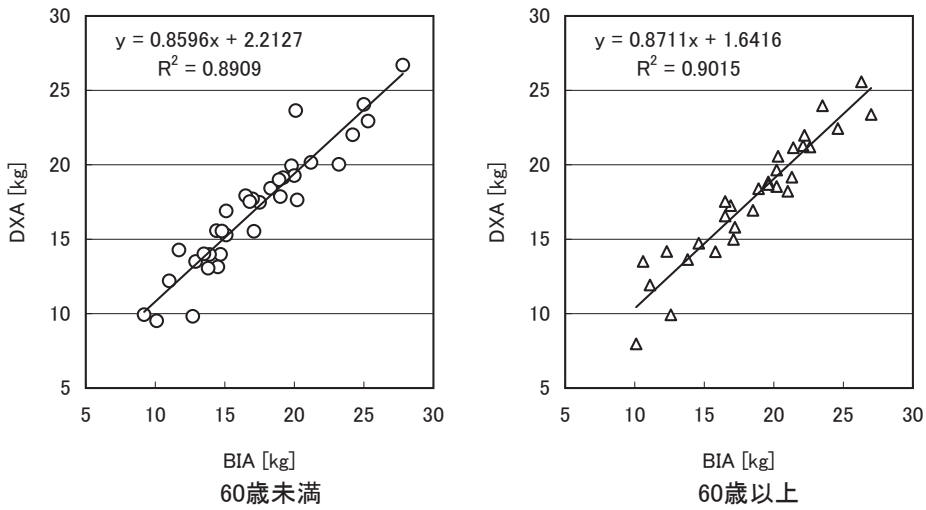


図8 年齢層別全身体脂肪量

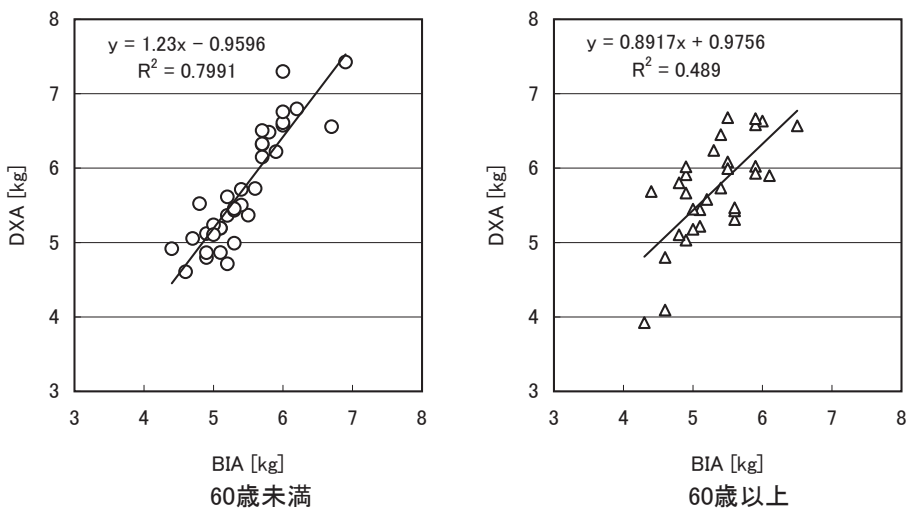


図9 年齢層別右下肢推定筋肉量

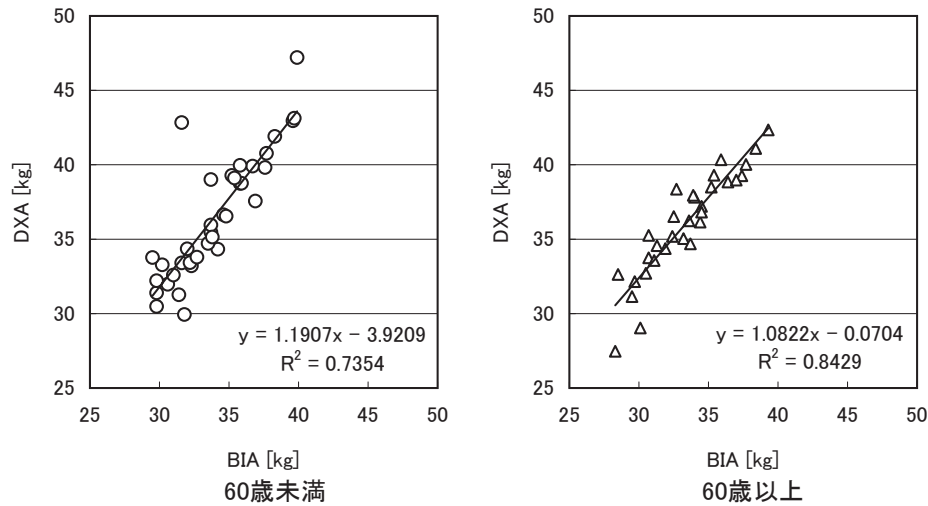


図 10 年齢層別全身推定筋肉量

## 5 考察

BIA 法と DXA 法の測定値を比較した結果、平均値は必ずしも一致しなかったが、全身については体脂肪率、体脂肪量、重量（体重）で比較的近い値が得られた（表 1 から表 4、図 1 から図 4）。相関係数の値は四肢では低く、体幹部や全身では高くなり、測定対象範囲が広いと BIA 法と DXA 法の値は高い相関があることがわかった。測定部位によって異なる結果になったのは、今回使用した体組成計の部位別回帰式による可能性がある。一般に DXA 法の値をゴールドスタンダードとしているが、DXA 法でもスキャン時のポジショニングや解析の仕方によって測定値が異なる可能性があり、個々の被験者の測定値についてはどちらが真値に近いかわからない。

BIA 法の測定値がばらつくのであれば、外れ値を除外した解析でさらに外れ値が存在したり、正規分布から外れたりすることが DXA 法より多い可能性があると考えた。表 1 から表 4 の結果では BIA 法と DXA 法とで差があるとは言えない。

表 5 から表 6 の結果、加齢によって筋肉量が減り、体脂肪率と体脂肪量が増える傾向がみられた。BIA 法と DXA 法の差が年齢の影響を受けるかどうか検討したが、一定の傾向はみられなかった。

図 5 から図 10 では、右下肢は 60 歳未満と 60 歳以上で分布がかなり異なっているが、全身ではよく似た分布になっていることがわかる。

以上のことを総合して考えると、全身の体組成測定に BIA 法をすることに大きな問題はないと言える。ただし、四肢の測定値についてはさらに検討が必要がある。

## 6 結論

同一被験者に対して BIA 法と DXA 法を用いて体組成を測定した。四肢、体幹部および全身について体脂肪率、体脂肪量、推定筋肉量、重量を求めた結果、有意水準 5% で有意な相関を認めた。四肢に比べて体幹部、全身で高い相関が得られた。

体幹部や全身のように測定対象範囲が広い場合には BIA 法は体組成測定に有用な方法であることがわかった。四肢の測定についてはさらに検討が必要である。

## 謝辞

研究に協力いただいた JA 三原せとだ、JA 広島ゆたかの皆様に深謝いたします。本研究の一部は（株）ポッカコーポレーションとの共同研究として実施した。

## 文献

- 1) (株) タニタ：体組成計の原理（BIA 法）、タニタの技術、（オンライン）、入手先＜ <http://pro.tanita.co.jp/tech/tn01.html> ＞、（参照 2010-9-7）
- 2) 平澤 寿康：そこが知りたい家電の新技術ータニタの体重計が「健康をはかる」までー。家電 Watch、（オンライン）、入手先＜ <http://kaden.watch.impress.co.jp/cda/column/2007/11/14/1548.html> ＞、（参照 2010-9-7）
- 3) 竹原克：体重計・体脂肪計の原理。計測技術、7: 14-20, 2004
- 4) 佐藤哲也、大島秀武：生体インピーダンス法による体組成の計測。計測技術、7: 10-13, 2004



- 5) 福山由美子, 西山久美子ほか: 生体インピーダンス法による体脂肪計の測定条件に関する検討. 長崎大学医療技術短期大学部紀要, 6: 103-106, 1993
- 6) 福山由美子, 西山久美子ほか: 生体インピーダンス法を用いた体脂肪計 TBF-101 の精度および測定条件の検討. 長崎大学医療技術短期大学部紀要, 8: 67-69, 1995
- 7) 仲立貴ほか: 部位別生体電気インピーダンス法による身体組成分析. 慈恵医大誌, 120: 35-44, 2005
- 8) 堂本時夫, 瀧川厚ほか: 瀬戸内島嶼部の柑橘類栽培農家中高年女性における骨密度および生活習慣病関連指標. 人間と科学, 10: 67-73, 2010
- 9) 柳井久江: 4Steps エクセル統計 第2版. 所沢, オームエス出版, 2004

# **Comparison of body component indexes obtained with bioelectrical impedance analysis and dual energy X-ray absorptiometry.**

Atsushi TAKIGAWA<sup>\*1</sup> Yoji KATO<sup>\*2</sup> Satoru NAKAMURA<sup>\*3</sup> Tokio DOMOTO<sup>\*2</sup>

\*1 Department of Physical Therapy, Faculty of Health and Welfare,  
Prefectural University of Hiroshima

\*2 Department of Nursing, Faculty of Health and Welfare,  
Prefectural University of Hiroshima

\*3 Library and Academic Information Center,  
Prefectural University of Hiroshima

Received 8 September 2010

Accepted 16 December 2010

## **Abstract**

We measured body component indexes of the same participants using bioelectrical impedance analysis (BIA) and dual energy X-ray absorptiometry (DXA). Body fat percentage, fat mass, lean mass and weight were obtained for upper and lower extremities, trunk and whole body. Mean values of body fat percentage, fat mass and weight for whole body obtained by using two methods were in comparatively close agreement. Measured values of BIA and DXA correlated significantly for all regions. Values of the correlation coefficient for trunk and whole body were higher than those of extremities. BIA is a useful method for broad regions such as trunk or whole body.

**Key words :** body component, bioelectrical impedance analysis, dual energy X-ray absorptiometry