

生体インピーダンス測定器の測定精度

—水泳選手の脂肪率は標準モードとアスリートモードのどちらで測る?—

Measurement accuracy of bioelectric impedance analysis

Is normal mode or athlete mode more useful when measuring percent body fat in swimmers?

佐藤	進 (Susumu SATO)	金沢工業大学
出村	慎一 (Shinichi DEMURA)	金沢大学教育学部
中田	征克 (Masakatsu NAKADA)	防衛大学校
北林	保 (Tamotsu KITABAYASHI)	金沢大学大学院自然科学研究科
吉村	豊 (Yutaka YOSHIMURA)	中央大学

【Abstract】

This study measured relative fat mass in 29 college swimmers (15 males and 14 females) by the measurement modes of normal (N-mode) and athlete (A-mode) in single-frequency bioelectrical impedance analysis with 8-point tactile electrodes (SF-BIA8) developed by TANITA. We aimed to examine the measurement accuracy of these two measurement modes by SF-BIA8 using the Dual-energy X-ray Absorptiometry (DXA) method as a reference. The percent total body fat (%TBF) and five percent segmental fats (%fat) of right arm, left arm, right leg, left leg and trunk) of all subjects were measured using SF-BIAS (BC-118, TANITA Co., Ltd.) and DXA (model DPX, Lunar Radiation Corp.). Significant differences and relationships between measurements by SF-BIA8 and DXA in each mode were examined. As a result, N-mode and A-mode %TBF and %fat significantly differed. No significant differences were found in N-mode %fats in both arms in males, but were found in A-mode %fats in both arms and legs in females. In general, however, SF BIA8 N-mode overestimated and A-mode underestimated as compared with DXA. Furthermore, when measuring A-mode %TBF and %fat in the trunk of female swimmers, a significant systematic error was found, and measurement error tended to increase with advancing relative fat mass.

【和文要旨】

本研究の目的は、(株)タニタの単周波8電極誘導BIA測定器(SF-BIA8)を用い、競泳選手の全身および部位別脂肪率を標準モードとアスリートモードで測定した際の測定精度について、DXA法を基準に検討することであった。被験者は大学競泳選手29名(男性15名、女性14名)であった。DXA、SF-BIA8の標準モードおよびアスリートモードを用い、全ての被験者の部位別および全身の脂肪率を測定した。SF-BIA8の各測定モードの測定値について、基準値との有意差および一致度を検討した。SF-BIA8におけるNモードとAモードの測定値は有意に異なった。男性競泳選手ではNモードの両腕部において、女性競泳選手ではAモードの四肢において基準値と有意な差は認められなかった。全体的に基準値との比較において、Nモードは脂肪率を過大評価し、Aモードは過小評価する傾向にあった。また、女性競泳選手の体幹部および全身の脂肪率をAモードで測定した場合、系統誤差が認められ、脂肪率が多くなるにしたがって誤差が大きくなる傾向を示した。

緒言

生体インピーダンス法(BI法)は簡便な体脂肪測定法の一つであり、近年、一般家庭にも広く普及している^{4,5)}。BIA法では、血液などによる水分を多く含む筋肉は電流を通すのに対し脂肪は電気を通さないという性質を利用し、体に微弱な電流を流した際の電気抵抗値(インピーダン

ス値)から体脂肪率を推定する。電流を流す部位の違い(両脚間誘導法、両手間誘導法、手一足間誘導法など)により、これまでもいくつかの測定法(推定法)が開発されている。

電気抵抗値と体脂肪量との関係は、性別や年齢、人種などによって異なることが報告されており^{1,7,11)}、これら

の特性を考慮した推定式が作られている。つまり、BI法の適用性は、推定式作成時におけるこれらの要因の特性に依存する。

これまでに開発されたBI測定器のうち、(株)タニタのBIA測定器には、他の測定器とは異なり、一般的な測定法に加えて、アスリートモード(Aモード)という測定方法がある。これは、一般人と比較して筋量の多いスポーツ選手の体組成を推定するために開発された評価法である。(株)タニタでは、アスリートモードでの測定が望ましい人を以下の様に説明している。

- ・1週間に12時間以上のトレーニングを行っている人
- ・体育会やスポーツ実業団に所属し、競技会などを目指している人
- ・プロスポーツ選手
- ・ボディビルダーのように筋肉量が多くなるようなトレーニングを行っている人

しかし、これらの条件は測定対象を明確にするものではない。上記の条件にあてはまる「アスリート」には、投擲選手や重量級の柔道選手のように、筋肉量が非常に多いタイプの人から、陸上長距離選手のように筋肉量はそれほど多くなく、比較的一般人と類似した体格の人も含まれる。実際に標準モード(Nモード)とAモードで測定してみると、測定値は大きく異なる場合が多く、利用時に混乱を招く恐れがある。

競泳選手は投擲選手や重量級柔道選手と比べて一般人と比較的類似した体格特性を有していると考えられるが、NモードとAモードのどちらで測定した方がより正確な測定値が得られるか検討されていない。

本研究では、最近(株)タニタより開発された部位別脂肪率測定が可能な単周波8電極誘導BIA測定器(SF-BIA8)を用い、標準およびアスリートモードで競泳選手の体組成を測定した際の測定精度についてDXA法による測定値を基準に比較した。

方法

被験者

5年以上の競技経験を有する大学競泳選手29名(男性15名;身長171.0±4.9cm、体重60.7±5.1kg、%TBF11.7±2.1%、BMI20.8±1.5、女性14名;160.6±7.9cm、50.9±6.5kg、21.6±4.2%、19.7±1.4)であった(表1)。

体脂肪測定

単周波BIA測定器(SF-BIA8:タニタ製BC-118)およびDXA(Lunar社製model DPX)により、体脂肪率(%TBF)および部位別脂肪率(右脚、左脚、右腕、左腕、体幹)を測定した。SF-BIA8は、ハンドグリップおよび足形プレートに8つの接触電極が内蔵されている。被験者はハンドグリップを両手に持ち、足形上に素足で立つだけで測定可能である。全被験者が標準モード(Nモード)とア

表1 被験者の身体特性

	Males		Females	
	Mean	SD	Mean	SD
年齢	20.3	1.5	20.4	1.2
身長	171.0	4.9	160.6	7.9
体重	60.7	5.1	50.9	6.5
%TBF	11.7	2.1	21.6	4.2
BMI	20.8	1.5	19.7	1.4
腹囲(最小囲)	70.5	4.7	62.2	4.0
腹囲(下腹部)	72.0	4.8	67.6	4.7
腰囲	87.1	3.6	87.2	4.0

表2 両測定モードとDXA間の測定値の有意差検定

		SF-BIA8(標準)		SF-BIA8(アスリート)		DXA		vs標準	vsアスリート
		Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Males	Leg R	16.3	2.5	10.0	2.5	13.2	1.8	**	**
	Leg L	16.0	2.3	10.1	2.4	13.5	2.2	**	**
	Arm R	8.3	2.3	5.4	2.6	9.2	2.1	ns	**
	Arm L	8.9	2.4	6.2	2.6	9.3	2.1	ns	**
	Trunk	13.3	2.6	8.0	3.1	10.8	2.5	**	**
	%TBF	13.8	2.4	8.5	2.7	11.7	2.1	**	**
Females	Leg R	29.8	2.4	23.9	2.3	25.3	3.5	**	ns
	Leg L	29.9	2.4	24.4	2.3	25.9	3.6	**	ns
	Arm R	15.2	4.9	17.0	6.4	18.1	4.6	**	ns
	Arm L	15.8	5.0	19.6	6.1	18.3	4.2	**	ns
	Trunk	20.5	4.8	14.4	2.6	18.5	5.4	*	**
	%TBF	23.6	3.7	18.1	2.8	21.6	4.2	**	**

注)vs標準およびvsアスリートは、それぞれの測定モードとDXAとの有意差検定の結果を示す

**：p<0.01, ns:有意差なし

スリートモード（Aモード）により測定した。DXA測定は、X線技師が実施し、スキニング時間は一人約20分程度であった。両測定法は2試行実施され、試行間信頼性は両測定法とも高かった（級内相関係数ICC>0.96）。

解析方法

本研究では、DXAによる測定値を基準とし、SF-BIA8におけるNモードとAモードの測定精度を検討した。対応のあるt-testにより基準値との有意差を検討し、基準値との相関係数も算出した。DXA法を従属変数、SF-BIA8による測定値を独立変数とした回帰分析により推定値の標準誤差（SEE）を算出した⁶⁾。さらに、測定値の系統誤差をBland-Altmanプロットにより検討した²⁾。

結果

表2は、SF-BIA8の両測定モードおよびDXAによる測定値の基礎統計値および基準値との有意差検定の結果を示している。SF-BIA8におけるNモードとAモードの測定値は大きく異なった。両測定モードの測定値と基準値との有意差検定の結果、男性のNモードで測定した両腕部、および女性のAモードで測定した両四肢部を除く部位で有意差が認められた。

基準値とSF-BIA8の測定値間における相関係数およびSEEを算出した結果（表3）、基準値との相関係数は男性において、Nモード（0.241~0.571）、Aモード（0.229~0.529）、女性においてNモード（0.617~0.914）、Aモード（0.652~0.910）であった。SEEは、男性では両モー

表3 DXAとSF-BIA8間の測定値の一致度

		Males		Females		Total	
		r	SEE	r	SEE	r	SEE
標準	right leg	0.443	1.669	0.617	2.842	0.933	2.440
	Left leg	0.532	1.932	0.662	2.827	0.941	2.413
	right arm	0.285	2.083	0.880	2.257	0.884	2.716
	left arm	0.241	2.117	0.884	2.051	0.873	2.774
	trunk	0.543	2.208	0.892	2.550	0.906	2.459
	%TBF	0.571	1.786	0.914	1.767	0.950	1.902
アスリート	right leg	0.443	1.669	0.652	2.739	0.938	2.364
	Left leg	0.529	1.937	0.665	2.817	0.940	2.416
	right arm	0.229	2.085	0.880	2.242	0.915	2.343
	left arm	0.238	2.149	0.885	2.050	0.922	2.205
	trunk	0.503	2.274	0.885	2.626	0.843	3.126
	%TBF	0.519	1.860	0.910	1.810	0.930	2.230

表4 両測定法間の誤差（DXA-SF-BIA8）およびlimits of agreement

		Males				Females			
		Measurement error (DXA - SF-BIA8)		Limits of Agreement	r	Measurement error (DXA - SF-BIA8)		Limits of Agreement	r
		Mean	SD			Mean	SD		
標準	右脚	-4.8	5.3	9.4	-0.356	-4.5	2.7	8.7	0.452
	左脚	-4.3	5.2	8.8	-0.401	-4.0	2.7	8.4	0.400
	右手	-0.4	4.3	10.7	-0.376	2.9	2.3	12.0	-0.177
	左手	-0.9	4.3	10.6	-0.398	2.3	2.1	11.5	-0.253
	体幹	-3.9	4.5	9.7	-0.182	-2.0	2.5	10.3	0.188
	全身	-3.6	4.6	8.3	-0.220	-1.9	1.7	7.7	0.263
アスリート	右脚	1.5	5.4	9.2	-0.335	1.4	2.6	8.0	0.492
	左脚	1.6	5.3	9.0	-0.368	1.5	2.7	8.0	0.466
	右手	2.5	4.6	11.7	-0.321	1.1	3.2	9.5	-0.584
	左手	1.7	4.6	11.5	-0.167	-1.5	2.8	6.9	-0.498
	体幹	1.3	4.9	11.4	0.001	4.2	3.3	13.7	0.799
	全身	1.7	4.9	9.7	0.174	3.5	2.0	9.1	0.762

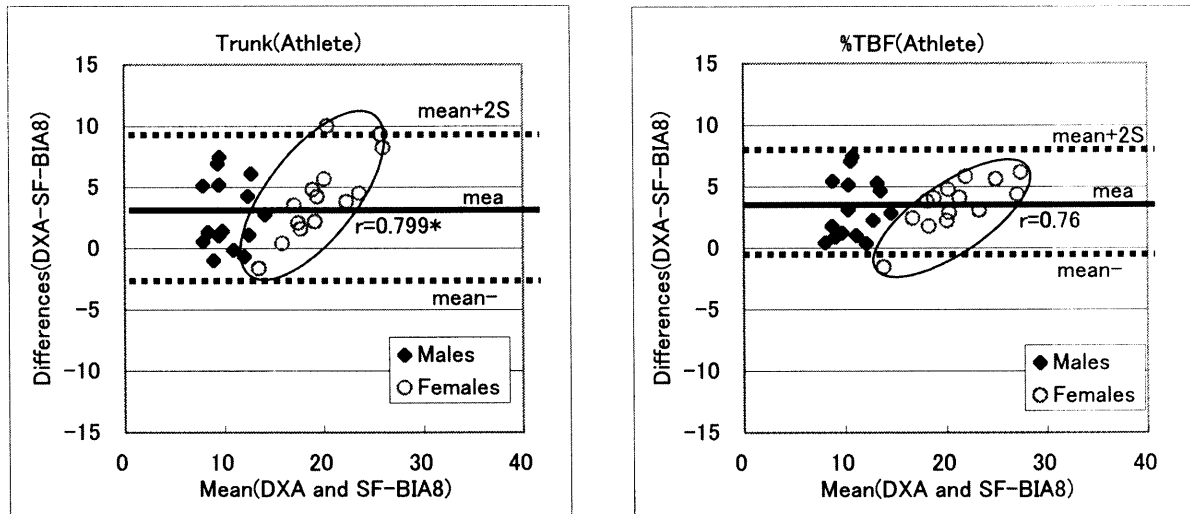


図1 アスリートモードによる体幹部および全身脂肪率のBland-Altman プロット

ドにおいて2.5%未満の値を示し、女性では体幹部を除き3.0%未満の値を示した。

Bland-Altmanプロットにより、基準値とSF-BIA8の測定値の平均と両測定法の誤差の関係について見ると(表4)、男女とも、基準値と比較してNモードは脂肪率を過大評価、Aモードは過小評価する傾向が認められた。両測定法の平均値と誤差間の相関係数は女性においてアスリートモードの方がやや高い傾向にあり、特に女性の全身および体幹部において有意な相関(0.762および0.799)が認められた(図1)。

考 察

一般人を対象に開発された体組成の推定式を競技者に当てはめた際の測定精度について検討した先行研究^{8,13,15,16)}では、競技者特有の推定式の必要性を示唆している。その一方で、大集団から作成された推定式が競技者にも適用可能であるとする報告もある^{14,17)}。一般に、推定式には適用範囲があり、それは推定式の作成に用いた標本特性に依存する^{1,3,4,7,11)}。

BI法はその簡便性から、競技選手の身体組成測定に頻繁に用いられているが、競技者に対するBI法の妥当性を検討した報告は少ない¹²⁾。また、(株)タニタのAモードの推定式がどのような特徴を有する標本に基づいて作成されたかは明らかではないが、実際のところ、この推定式がどの程度の測定精度を有しているかについて検討した報告はない。つまり、全ての「アスリート」の脂肪

率を精度高く測定できるとは限らず、競技者の体組成評価における測定精度を検討する必要があると考えられる。

本研究において、競泳選手の体組成をNモードとAモードで測定した場合、両モードの測定値は有意に異なった(表2参照)。このことは、いずれのモードで測定するかによって得られる情報が異なることを意味しており、現場で使用する際には混乱を招き、また、どちらの測定法で計測した法がより正確なのかを理解しておくことも重要であろう。

一般に、競泳選手は、投擲選手や重量級の柔道選手等の他の競技選手と比較して、体重や体脂肪率が少ない¹²⁾。また、一般人と比較した場合でも、機能的には一般人とは大きく異なるが、前述の他の競技選手と比較して体格特性にそれほど大差はなく、体重や体脂肪率がやや低い程度である。つまり、競泳選手は「アスリート」の中でも一般人に近い体格特性を有すると考えられ、一般人と同様な推定式を用いてもある程度正確な値が得られる可能性も考えられる。

SF-BIA8による測定値をDXA法による測定値と比較してみると、全体的にSF-BIA8は、Nモードで測定した場合には脂肪率および部位別脂肪率を過大評価し、Aモードで測定した場合には過小評価する傾向にあった。男性競泳選手は、Nモードで測定した場合、両腕部の脂肪率に有意差は認められなかったが、Aモードで測定した場合、全ての部位の脂肪率が基準値と有意に異なる値を示した。一方、女性競泳選手は、Nモードで測定した場合、全て

の部位において有意差が認められたが、Aモードで測定した場合、体幹部および全身の脂肪率にのみ有意差が認められた。これらの結果は、競泳選手の中でも、両モードで計測した場合の誤差の生じ方が男女で異なること、女性の場合、四肢の脂肪率に関してはAモードの方がより正確な測定値を得られる可能性があるが、女性の体幹部や全身の脂肪率および男性の脂肪率を測定する場合には、必ずしもAモードが正確に測定できるとは限らないことを示している。

両モードの測定値と基準値との関係、および両モードでの測定値により基準値を推定した際のSEEは、男女とも測定モードによる顕著な差異は認められなかった。各測定モードと基準値間の相関係数は、女性では中程度以上の有意な値(0.617~0.914)が認められたが、男性の相関は低い(0.229~0.571)傾向にあった。この原因の一つには本研究の男性標本における個人差が小さいことによる影響と考えられる。男性のSEEは両腕部および体幹部でやや大きくなる傾向にあったがいずれも2.5%未満の小さい値を示した。女性のSEEは、Aモードの体幹部を除き、いずれも3.0%未満であった。体脂肪率推定時のSEEの目安としてLohman¹⁰⁾が報告した基準では、3.0%未満であれば推定の精度は“good”と解釈される。つまり、いずれの測定モードにおいても、測定値自体は基準値と異なるが、推定誤差自体はそれほど小さくなく、推定式のズレを修正することで精度高く脂肪率を推定できる可能性があると考えられる。

しかし、両測定モードにおける推定値の系統誤差についてBland-Altmanプロットにより検討した結果、女性の体幹部および全身の脂肪率をAモードで測定する場合に、系統誤差が認められた。このことは、脂肪率が高い人ほど測定誤差が大きくなる傾向にあることを意味しており、女性におけるこれらの推定式については特に改善が必要と考えられる。

SF-BIA8は、性別、年齢、身長、体重、インピーダンス値を説明変量とした重回帰式により脂肪率を推定しているが、皮下脂肪厚を用いて競技者の身体密度を推定した先行研究では、皮下脂肪厚の他に大腿囲や肘幅、腹囲、臍囲、前腕囲等の周囲および幅変量を説明変数として用いている^{9, 17)}。また、Sinning and Wilson¹⁴⁾は、一般人を対象とした大集団から開発した推定式が競技者にも適用可能であったことを報告している。これらのことは、競技者の脂肪率をより精度高く推定するためには、新た

な説明変数の追加やより多くのデータを収集することにより推定式の適用性を高める必要があることを示唆している。

本研究の結果を踏まえると、今後の課題として、より高い測定精度のAモード用推定式を作成するか、またはアスリートを含めたNモード用推定式を作成することの2通りが考えられる。Aモードの測定精度を高めるには、多種目にわたってより多量のサンプルを収集するか、種目ごとに推定式を作成する必要がある。いずれにしても、既存の測定器を利用する際には、本研究で明らかにされた測定値の特徴(例えば、Nモードで測定した場合には過大評価し、Aモードで測定した場合には過小評価する可能性がある)を踏まえて測定値を解釈する必要がある。

まとめ

本研究の標本、測定機器、解析方法の限界のもとで以下のことが明らかにされた。

1. SF-BIA8のNモードとAモードの測定値は異なる。
2. 男性競泳選手の場合、Nモードによる両腕部の測定値はDXA法と差はない。
3. 女性競泳選手の場合、Aモードによる四肢の測定値はDXA法と差はない。
4. 男女とも、Nモードは脂肪率を過大評価し、Aモードは過小評価する傾向にある。
5. 女性競泳選手の体幹部および全身の脂肪率をAモードで測定した場合、基準値との間に系統誤差が認められ、脂肪率が多い者の方が誤差が大きくなる傾向にある。

【参考文献】

- 1) Baumgartner RN, Chumlea WC and Roche AF. (1990) Bioelectric impedance for body composition. *Exercise and Sports Science Reviews* 18: 193-224.
- 2) Bland, JM, Altman, DG. (1986) Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 1: 307-310.
- 3) Demura S, Yamaji S, Goshi F, Kobayashi H, Sato S, Nagasawa Y. (2002) The validity and reliability of relative body fat estimates and the construction of new prediction equations for young Japanese adult males. *Journal of Sports Science* 20: 153-64.
- 4) Demura S, Yamaji S, Muase T, Nagasawa Y, Sato S and Minami M. (2001) New prediction equation for residual volume in Japanese male and female young adults. *The Journal of Sports Medicine and Physical fitness* 41: 114-120.
- 5) Demura S, Kobayashi H, Tanaka K, Sato S, Nagasawa Y and Mur-

- ase T. (1999) Comprehensive evaluation of selected methods for assessing human body composition. *Applied Human Science* 18: 43-51.
- 6) 出村慎一. (1996) 例解 健康・スポーツ科学のための統計学. 大修館書店.
- 7) Deurenberg P, Smit HE and Kusters CSL. (1989) Is the bioelectric impedance method suitable for epidemiologic field studies? *European Journal of Clinical Nutrition* 43: 647-654.
- 8) Forsyth HL and Sinning WE. (1973) The anthropometric estimation of body density and lean body weight of male athletes. *Medicine and Science in Sports* 5: 174-180.
- 9) Jackson AS and Pollock ML. (1978) Generalized equations for predicting body density of men. *British Journal of Nutrition* 40: 497-504.
- 10) Lohman, TG. (1992) Advances in body composition assessment. Current issues in exercise science series. Monograph No.3. pp. 3-4, Champaign, IL, Human Kinetics.
- 11) Roche AF and Cuo S. (1993) Development, testing and use of predictive equations for body composition measures. In JG Kral and TB Van Itallie (Edu.), Recent developments in body composition analysis: Methods and applications (pp. 1-16). London: Smith-Gordon.
- 12) Sinning WE. (1996) Human body composition Human Kinetics.
- 13) Sinning WE. (1978) Anthropometric estimation of body density, fat and lean body weight in women gymnasts. *Medicine and Science in Sports* 10: 243-249.
- 14) Sinning WE and Wilson JR. (1984) Validity of 'generalized' equations for body composition analysis in women athletes. *Research Quarterly for Exercise and Sports* 55: 153-160.
- 15) Walsh FK, Heyward VH and Schau CG. (1984) Estimation of body composition of female inter-collegiate basketball players. *Physician and Sports Medicine* 12: 74-79.
- 16) Withers RT, Craig NP, Bourdon PC and Norton KI. (1987) Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *European Journal of Applied Physiology* 56: 191-200.
- 17) Withers RT, Whittingham NO, Norton KI, et al. (1987) Relative body fat and anthropometric prediction of body density of female athletes. *European Journal of Applied Physiology* 56: 169-180.