

体組成計は、どのように体脂肪率を決めているのか？

橋本 勉*、渡部 絵里奈

大阪青山大学健康科学部健康栄養学科

How does a body composition analyzer determine body composition?

Tsutomu HASHIMOTO*, Erina WATANABE

Faculty of Health Science, Department of Health and Nutrition, Osaka Aoyama University

Summary We examined how a body composition analyzer determines body composition. Using measured body weight and the bioelectrical impedance value, the analyzer estimates body fat composition as a stastically confirmed value based on age, gender and height. By comparing two subjects of the same age, gender and body weight, the taller has a smaller body fat component, and a larger impedance value corresponds to a larger fat component. The fat component does not depend on age, but the visceral fat area is estimated to be higher for a male over 40 years old than for a female or a younger person.

Keywords: body composition analyzer, metabolic syndrome(MetS), body fat composition, visceral fat area, Bioelectrical Impedance Analysis(BIA)
体組成計、メタボリック症候群、体脂肪率、内臓脂肪面積、生体インピーダンス法

1. はじめに

肥満は、従来、体重の著しい増加あるいは脂肪組織の増加と捉えられてきた。平成7(1995)年から国民栄養調査、国民健康・栄養調査にBMI (body mass index [kg/m²]) による判定基準が導入され、平成10(1998)年以降、男女ともBMI=22を標準とし、18.5未満をやせ、18.5以上25.0未満を普通、25.0以上を肥満と判定することとされた。

日本肥満学会が2000年に発表した「新しい肥満の判定と肥満症の診断基準」で、BMI ≥ 25の肥満 (obesity) と、治療すべき肥満である肥満症 (obesity disease) とを明確に区別することが提言された (東京宣言)。その後、「肥満症治療ガイドライン2006」で、脂肪局在の違いにより、肥満症を内臓脂肪型と皮下脂肪型にわけ、脂肪細胞がアディポサイトカインの産生・分泌異常を引き起こしていることから、内臓脂肪型を「脂肪細胞の質的異常による肥満症」と捉え、皮下脂肪型肥満を「脂肪細胞の量的異常による肥満症」として区別することが提案された¹⁾。

これに先駆けて、2005年、日本肥満学会や日本内科学会など8学会の合同の診断基準検討委員会により、メタボリックシンドローム (以下、MetSと略す) の診断基準が作成された。MetSの基本的な考え方は、血糖や血圧、脂質などの単独の危険因子に注目するのではなく、軽度な高血糖、血圧高値、脂質異常であっても内臓脂肪の蓄積が原因となっている場合を心血管疾患のハイリスクと捉え、早期の生活習慣の改善により体重と内臓脂肪を減少させ、動脈硬化のリスクを下げ、心血管イベントを予防することである¹⁾。

内臓脂肪型肥満については、CTなどで内臓脂肪量測定を行うことが望ましいとされたが、CT検査に伴う電離放射線被曝の正当化という観点から、内臓脂肪のCT測定の適応は限定的で、被検者の同意を得た任意型の健康診断として行われることはあっても、対策型検診に導入されることはなかった。医療の現場では、腹部CTでの内臓脂肪面積 ≥ 100cm²に相当するウエスト周囲長が男性 ≥ 85 cm、女性 ≥ 90cmの基準によるスクリーニングが行われている。

筋肉と比較すると脂肪は電気を通しにくい、すなわ

*Email: t-hashimoto@osaka-aoyama.ac.jp
〒562-8580 箕面市新稲2-11-1

ちインピーダンス値が高い。最近、生体インピーダンス (BIA:Bioelectrical Impedance Analysis) 法を用いた体組成計の進歩が著しく、非侵襲的に安価で短時間に計測できることから、主に生活習慣病の予防の観点から幅広く利用されている²⁻⁴⁾。ところが、そのデータ処理については企業機密とされ、詳細はブラックボックス内に閉ざされている。

体脂肪率や内臓脂肪レベルなどの出力データに、体重やインピーダンスなどの計測値、および性別、年齢、身長などの入力値がどのように反映されているのかを明らかにすることを目的に、体組成計の出力データを詳細に検討したので報告する。

2. 対象と方法

性別、年齢、身長、体重の異なる2名(表1)を対象に、入力値を変えながら計測を繰り返し、得られた出力データを検討した。計測期間は2018年12月～2019年5月で、発表者自身を対象とした。

表1 対象2名の通常測定データ

対象	A	B
年齢 (歳)	21	68
性別	女	男
身長 (cm)	157.0	173.0
体重 (kg)	43.0	60.5
体脂肪率 (%)	15.4	10.0
内臓脂肪レベル	1	9
インピーダンス H-L (Ω)	758.3	623.7
インピーダンス L-L (Ω)	588.9	501.3

H-L: 体幹部 (hand to leg)

L-L: 両脚部 (leg to leg)

使用機種はタニタ製マルチ周波数体組成計 MC-780A で、測定部は体重測定部 (電気抵抗線式はかり、秤量 270 kg、最小表示 0.1 kg) とインピーダンス測定部 (8 電極、測定周波数 5kHz/50kHz/250kHz、測定範囲 75.0 ~ 1,500.0 Ω、0.1 Ω単位) からなる⁵⁾。

出力データ⁶⁾を図1に示す。体組成計では、全身を脂肪量と除脂肪量に分け、除脂肪量は筋肉量と(推定)骨量からなると考え、腹部臓器は大部分が筋肉と見なされる。内臓脂肪レベルは相対値で表され、この装置に特有の値なので他機種と直接比較できない。

インピーダンス情報は、複素量であるインピーダンス値の実数部を R、虚数部を X としてオーム (Ω) 単位で表示される。RL は右脚、LL は左脚、RH は

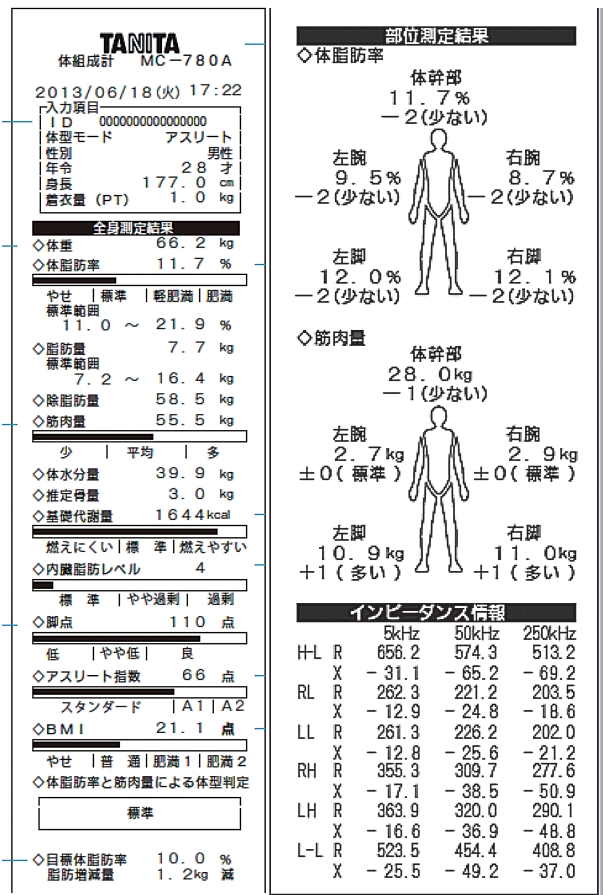


図1 出力例 (MC-780A 取扱説明書より)

右腕、LH は左腕、H-L は体幹部 (hand to leg)、L-L は両脚部 (leg to leg) に相当すると考えたが、正式な説明・記載を見つけることはできなかった。

ここでは、主に体脂肪率、内臓脂肪レベルについて検討した。

入力項目は、個人識別のための情報に加えて、性別、年齢、身長であり、その値が体脂肪率などの出力データに反映される。

体重は測定値であるが、着衣量 (最大 10.0kg まで入力可能) を差し引いた値が正味の体重として処理される。このことを利用して、見かけの体重を実際の体重より軽く調整することができた。

実際の計測に当たって、検討を容易とするため、対象 A、B の体重を調整した。水を入れたペットボトルを背負って体重を増やし、また着衣量を実際より大きく入力することで見かけの体重を減らし、同一体重 (55.0kg) とした。

性別を男女二通り、身長を 5 cm ごと (140 ~ 180cm)、年齢を 10 歳ごと (20 ~ 80 歳) に変化させて入力後、計測した。

表2 連続10回測定による再現性の確認(対象B)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目	8回目	9回目	10回目
体重 (kg)	60.5	60.5	60.5	60.5	60.5	60.5	60.4	60.4	60.5	60.5
体脂肪率 (%)	10.0	9.9	10.7	9.9	10.6	10.3	10.1	10.3	10.4	9.8
脂肪量 (kg)	6.0	6.0	6.5	6.0	6.4	6.2	6.1	6.2	6.3	5.9
除脂肪量 (kg)	54.5	54.5	54.0	54.5	54.1	54.3	54.3	54.2	54.2	54.6
筋肉量 (kg)	51.7	51.7	51.2	51.7	51.3	51.5	51.5	51.4	51.4	51.8
体水分量 (kg)	38.9	39.1	38.2	38.9	38.4	38.6	38.6	38.5	38.6	39.1
推定骨塩量 (kg)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
内蔵脂肪レベル	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
H-L (Ω)	623.7	629.0	641.8	625.0	631.6	634.0	633.1	632.7	627.6	621.2
L-L (Ω)	501.3	501.2	507.0	497.3	498.9	501.4	489.8	492.9	495.5	497.3

3. 結果

最初に計測値の再現性を確認するために対象Bを連続10回計測したところ、再現性の高い計測値が得られた(表2)。H-L、L-Lは、それぞれ体幹部、両脚部に相当するインピーダンス値である。

2名の対象者の見かけの体重を55kgに調整し、性別を男性、年齢を45歳と入力し、生体インピーダンス以外の条件をすべて一致させた状態で、体脂肪率と身長との関係を検討した(図2)。対象者Aのインピーダンス値(H-Lの実数部、5kHzでの測定値)は約760Ω、対象者Bは約630Ωだった。高い身長に対して体脂肪率は低く出力され、身長と体脂肪率にほぼ直線的な関係が得られた。インピーダンス値のより大きい対象Aは、対象Bより体脂肪率が高く表示された。

体脂肪率と年齢の関係を知るために、対象Aと対象Bの両者で、20~80歳の範囲で年齢を変化させて計測したところ、対象A、B共に体脂肪率に変化を認めなかった(図3)。

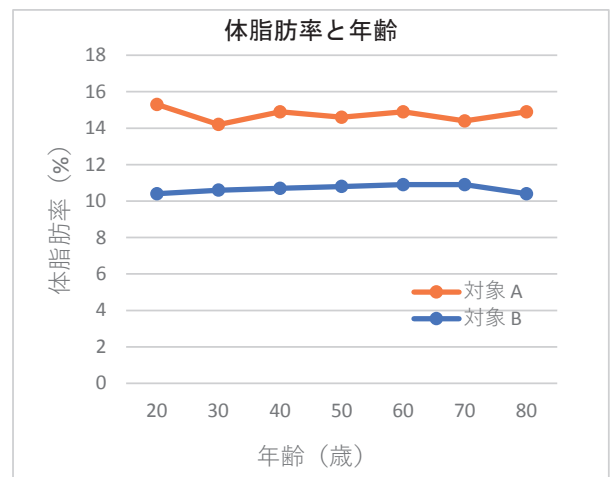


図3 年齢に対する体脂肪率の変化

内臓脂肪レベルと年齢の関係を検討した。対象Aに対して、男性、女性の二通りの入力を行い、年齢に対する内臓脂肪レベルの変化をみたところ、男性と入力した場合、女性と入力した場合に比べ、40歳以上で内臓脂肪レベルは明らかに高い値を示した(図4)。

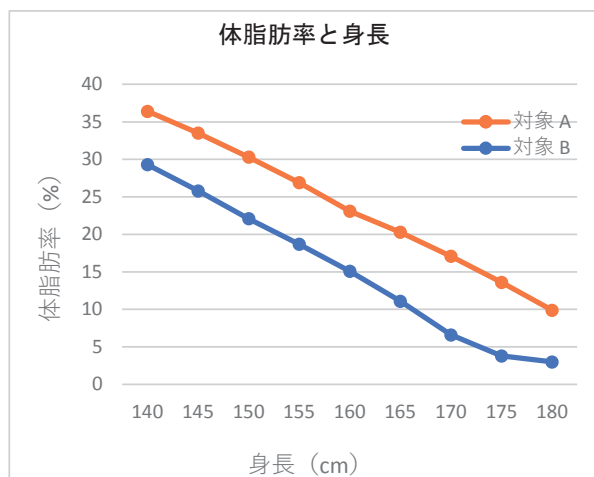


図2 身長に対する体脂肪率の変化

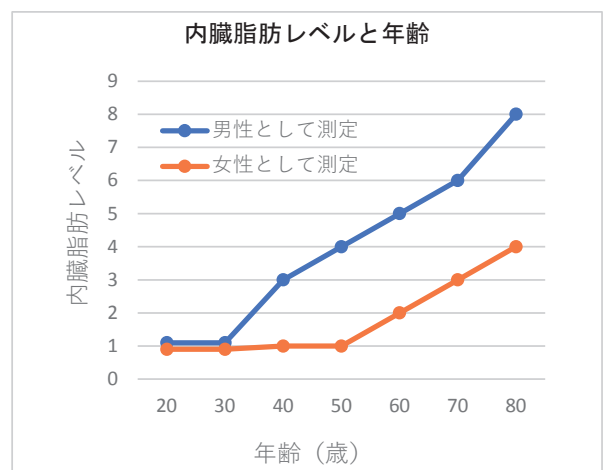


図4 性・年齢に対する内臓脂肪レベルの変化(対象Aに男女2通りを入力して測定)

同一対象の測定で、性別・年齢の入力値に応じて内臓脂肪レベルが大きく変化した。

4. 考 察

肥満は、脂肪組織の過剰な増加であり、内臓脂肪型を「脂肪細胞の質的異常による肥満症」と捉え、早期の生活習慣の改善により体重と内臓脂肪を減少させることで、動脈硬化のリスクを下げ、心血管イベントを予防することが期待されている¹⁾。

内臓脂肪型肥満の判定について、CT で内臓脂肪量測定を行うことが望ましいとされたが、検査に伴う電離放射線被曝の正当化という観点から適応は限定的で、医療の現場では、腹部 CT による内臓脂肪面積 $\geq 100\text{cm}^2$ に相当するウエスト周囲長が男性 $\geq 85\text{cm}$ 、女性 $\geq 90\text{cm}$ の基準によるスクリーニングが行われている。

BIA 法を用いた体組成計の最近の進歩は著しく、マルチ周波数測定、リアクタンステクノロジーの活用で、従来測定できなかった細胞レベルの変化を捉えられることができるようになった⁷⁾。

ところが、そのデータ処理は「独自のアルゴリズムによる」企業機密であり、測定原理は紹介されていても具体的な内容が公表されていない。

体組成計測定に必要な入力値のうち、性別、年齢、身長は、個人識別のための項目ではなく、体脂肪率などの出力データを左右する重要な基礎値である。腎機能の評価に用いられる推算糸球体濾過量では、性別と年齢を含む血清クレアチニン値からの変換式が利用され、表形式の簡易換算表も日常診療に用いられている。ところが、体組成計では、直接の測定値である体重とインピーダンス値に加えて、測定時に必要とされる性別、年齢、身長の入力値の計 5 項目を元に、体脂肪量・率などの出力データを推定している。具体的なデータ処理に関する情報を、マニュアルやネット上から得ることができなかつたため、手探りで体脂肪率がどのように決定されているのかを検討することとした。

まず、測定の再現性について検討した。それまで体組成計に対して、不安定な器具という印象があり、接触抵抗に左右されるインピーダンス測定にも不信感があった。測定を繰り返すには、一旦体組成計から降りて、着衣量以外の項目を入力し直す必要があったが、これは誤登録によるミス防止することへの配慮と思われた。対象 B に連続 10 回の測定を行った結果が表 2 である。予想外に安定した結果が得られ、インピーダン

ス値も予想以上に再現性のある値が得られた。

この結果から、条件を整えて測定を繰り返すことで、経験的にはあるが、それぞれの項目と出力データの規則性を知ることができると考えた。

まず予備的な測定を行った後、変数をなるべく減らす工夫をした。入力値は自由に選べるので、測定値である体重を一定にすることから始めた。対象 A と対象 B の体重差が約 14kg だったので、水を入れたペットボトルを背負って対象 A の体重を約 10kg 増やし、着衣量を実際より大きく入力することで対象 B の見かけの体重を約 4 kg 減らし、両者とも体重が 55.0kg となるように調整した。測定の度に計測される体重は $\pm 0.1\text{kg}$ の範囲に収まった。

体重を一致させたまま、140cm ~ 180cm の範囲で 5 cm 毎の身長を入力して測定を繰り返し、得られた結果が図 2 である。一定量の銅からできた電線は、細くて長いもので、太くて短いものより抵抗値が大きいことから、図 2 に示された身長に対する体脂肪率の変化が、容易に理解できる。

インピーダンス値以外のすべての要素（性別、年齢、身長、体重）を同一にしているので、対象 A と対象 B の体脂肪率は、それぞれのインピーダンス値を反映している。仮に、被検者のインピーダンス値を任意に調整できるなら、インピーダンス値に対する体脂肪率の変化を知ることができると考えられる。

体脂肪率の年齢による変化を調べたところ、対象 A と対象 B の両者とも殆ど変化を認めなかった (図 3)。これに対して、対象 A に男女 2 通りの入力を行って計測したところ、内臓脂肪については、男性と入力した方が女性と入力した場合より 40 歳以上で明らかに内臓脂肪レベルが高かった。

この機種では、他のタニタの多くの体組成計と同様、内臓脂肪レベルは相対値で表示される。同一の対象で、男女 2 通りの入力をして測定した場合、体重とインピーダンス値が一定なので、得られた内臓脂肪レベルが入力された性別と年齢に規定された推定値であることを確認できた。このことは、BIA 法を用いた体組成計での内臓脂肪のデータを解釈する上で十分に考慮される必要がある。つまり、腹部 CT での内臓脂肪面積の計測は対象者の実際の内臓脂肪の分布を反映しているけれど、BIA 法による内臓脂肪レベルは、個々の内臓脂肪の実態を反映しない統計的な推定値に過ぎないということである。

本来、インピーダンスは測定周波数に依存する複素量で、直流でのオーム（直流）抵抗に相当する。高周

波でのインピーダンス値が細胞内の情報をより反映するとされているが、ここでは、最も低周波（5KHz）で測定されたインピーダンスの実数成分（R）を、簡略化したインピーダンス値として表示した。

仮に、被検者のインピーダンス値を任意に調整できるなら、インピーダンス値に対する体脂肪率の変化を知ることができる。今回の検討では自由にインピーダンス値を調整できなかったため、十分な検討をできなかったが、図4に示したように、同一対象者に異なる性別・年齢を入力した時に得られる内臓脂肪レベルの変化から、BIA法による内臓脂肪レベルはインピーダンス値を直接反映せず、性別（男性が女性より内臓脂肪レベルが高い）や年齢（男性では40歳以上、女性では60歳以上で内臓脂肪レベルが高い）に依存する推定値としての要素が大きいことを確認できた。

生体インピーダンス測定において、体内に微弱電流を流す必要がある。心臓直撃マイクロショックを避けるため、体表のみに適応する機器には100 μ Aという許容値が定められている⁸⁾。ここで用いた体組成計においても、測定電流は90 μ A以下に制限されていた。

おわりに

生体インピーダンス測定による体脂肪率を決定するためのデータ処理の詳細は公表されていない。この検討から、性別や年齢、身長などの入力値が、どのように体脂肪率や内臓脂肪レベルなどの出力データに反映されているのかを定性的に理解することができた。

謝 辞

本学看護学科特任教授（元健康栄養学科教授）堅中泰樹先生には、終始温かい助言と厳しい批判をいただいた。ここに深謝します。

また、この発表に直接反映できなかったが体重・インピーダンス測定に参加・協力して下さった多くの方々にお礼申し上げます。

文 献

- 1) 益崎 裕章, 島袋 充生. 肥満症とメタボリックシンドローム: 最近の知見と展望. 日本内科学会雑誌. 2017, 106, 3, 477-483.
- 2) Shiga T, Hamaguchi T, Oshima Y, Kanai H, Hirata M, Hosoda K, Nakao K. A new simple measurement system

of visceral fat accumulation by bioelectrical impedance analysis. IFMBE Proceedings 1009, 25/VII, 338-341.

- 3) 福井敏樹, 丸山美江, 山内一裕, 宮本 侑, 深見孝治. DUAL インピーダンス法による内臓脂肪測定の有効性と測定結果解釈の注意点—メタボリックシンドロームと早期動脈硬化診断の観点から—. 人間ドック 2012, 27, 719-728.
- 4) Unno M, Norihiro Furusyo N, Mukae H, Koga T, Eiraku K, Hayashi J. The utility of visceral fat level by bioelectrical impedance analysis in the screening of metabolic syndrome—the results of the Kyushu and Okinawa population study (KOPS). J. Atheroscler. Thromb. 2012, 19, 462-470.
- 5) 製品仕様. タニタ製マルチ周波数体組成計 MC-780A 取扱説明書 29 頁より引用 TANITA Corporation, 2015.
- 6) 印刷（プリントアウト）の説明. タニタ製マルチ周波数体組成計 MC-780A 取扱説明書 22 頁より引用 TANITA Corporation, 2015.
- 7) インピーダンス法の原理. URL: <https://taisya.net/taiseibun/body-composition/> 閲覧日（2019/12/11）
- 8) 小野哲章, 臨床モニター機器の安全管理. 日臨麻会誌 2014, 34, 145-150.

