

論文の内容の要旨

論文題目 セグメント別生体電気インピーダンス法による全身骨格筋
体積の推定

**(Predicting whole body skeletal muscle volume from
segmental bioelectrical impedance analysis)**

氏名 石黒憲子

【緒言】

近年、生体電気インピーダンス(bioelectrical impedance, BI)法による骨格筋量の推定が普及してきた。BI法は、インピーダンスの取得方法により、身体を一つの円柱と仮定する全身BI法と、いくつかの円柱の集合体と仮定するセグメント別BI法の2つに大別される。そのなかで、全身骨格筋量を測定対象とした場合、全身BI法では、全身骨格筋量の大きさに依存した系統的な推定誤差がもたらされる(Janssen et al. 2000)。一方、セグメント別BI法は、測定原理上、身体各セグメントにおける骨格筋の分布状態を取得するインピーダンスに反映しやすいことから、全身BI法よりも高い精度で全身骨格筋量を推定できると予想される。しかしながら、その真偽については確認されていない。また、作成した推定式を骨格筋の発達が著しい競技者に適用することの妥当性についても明らかではない。そこで本研究ではセグメント別BI法による全身骨格筋体積推定の妥当性を明らかにすることを目的として、まず1)除脂肪体重(lean body mass; LBM)推定における全身BI法との比較(研究), 2)セグメント別BI法の応用による体幹骨格筋体積推定の妥当性(研究)および3)全身骨格筋体積推定の妥当性(研究)に関する実験を行った。

【研究】LBM 推定における全身 BI 法とセグメント別 BI 法の比較

- インピーダンス取得法の違いが推定精度に及ぼす影響 -

本研究では、非競技者および競技者を含む集団を対象に、LBM の推定精度における全身 BI 法とセグメント別 BI 法との比較、ならびにセグメント別 BI 法として身体遠位部を測定範囲に含める場合と含めない場合との比較を行った。

<方法> 競技者 125 名を含む健常男性 200 名が本研究に参加した。BI法により作成するLBM推定式の妥当性および交差妥当性を検討するため、非競技者ならびに各種目の競技者がそれぞれ同数含まれるように配慮しつつ、被検者を妥当性群(グループI; 100 名)と交差妥当性群(グループII; 100 名)へと分類した。BI法によるLBM推定値(LBM_{BI})の妥当性は、空気置換法による測定値を基準値(LBM_{BP})として検討した。全身BI法(右手首～右足首間のインピーダンスを取得)、ならびにセグメント別BI法として遠位BI法(左・右上肢, 左・右下肢および体幹からインピーダンスを取得)および近位BI法(左・右上腕, 左・右大腿および体幹からインピーダンスを取得)を用いて、 LBM_{BP} 推定のための独立変数となる $BI\ index\{(\text{セグメント長})^2 / \text{インピーダンス}\}$ をそれぞれ算出した。さらに、グループ I を対象に、 LBM_{BP} を従属変数、各BI法によるBI indexを独立変数とした LBM_{BP} の推定式を作成し、その妥当性および交差妥当性を検討した。

<結果および考察> グループ I における推定値の標準誤差(standard error of estimate, SEE)は、全身 BI 法が 3.4 kg(5.4%)、遠位 BI 法が 3.4 kg(5.5%)、近位 BI 法が 3.3 kg(5.2%)であり、BI 法間で差は認められなかった。しかしながら、全身 BI 法および遠位 BI 法においては LBM の大きさに依存した系統誤差が認められた。一方、左・右上腕、左・右大腿、および体幹からインピーダンスを取得する近位 BI 法により作成した推定式は、妥当性および交差妥当性が確認されたが、推定式における体幹の BI index の貢献度が四肢のそれに比べ低く(7.1%)、体幹の BI index そのものが誤差要因になる可能性が示唆された。以上の結果から、全身骨格筋体積の推定を行うためには、全身 BI 法よりもセグメント別 BI 法、なかでも左・右上腕、左・右大腿および体幹からインピーダンスを取得する近位 BI 法が適しているものの、体幹のインピーダンス取得法については改善が必要であることが明らかとなった。

【研究】セグメント別 BI 法の応用による体幹骨格筋体積の推定

本研究では、体幹骨格筋体積の推定を目的として、従来のセグメント別 BI 法を応用した電極配置による体幹のインピーダンス取得法を考案し、その妥当性を検討した。なお、研究 では、推定式の妥当性および交差妥当性の検討(実験 1)ならびに推定式を骨格筋の発達が著しい競技者に適用することの妥当性の検討(実験 2)に関する 2 つの実験を行った。

<方法> 実験 1 における被検者は、競技者 13 名を含む健常男性 28 名であった。BI法により作成した体幹骨格筋体積の推定式の妥当性および交差妥当性を検討するため、各群における競技者の割合がほぼ同等となるように配慮しつつ、被検者を妥当性群(グループ I; 20 名)および交差妥当性群(グループ II; 8 名)へと分類した。実験 2 における被検者は、陸上競技投擲選手 19 名であった。実験 1 および実験 2 において、BI法による体幹骨格筋体積の推定値($MV_{\text{trunk-BI}}$)の妥当性は、magnetic resonance imaging (MRI)法により測定した値を基準値($MV_{\text{trunk-MRI}}$)として検討した。体幹のインピーダンスを取得するために最適な電極配置を決定するために、まず、実験 1 の被検者 28 名の MRI データに基づき体幹における骨格筋の分布を検討した。その結果、骨格筋の体積が他の組織の体積よりも有意に高値を示す位置(上部:体幹長 0~20%, 下部:体幹長 81~100%)と、高値を示さない位置(中部:体幹長 21~80%)とに分類されることが明らかとなった。次に、体幹における電位分布の検討から、左右の肩峰および大転子(Baumgartner et al. 1998; Cornish et al. 1999)に電圧計測電極を配置することによって、体幹の左・右上部、中部、および左・右下部より合計 5 つのインピーダンスをそれぞれ個別に取得でき、骨格筋およびその他の組織の体積分布を各インピーダンスに反映可能となることが示された。そこで、実験 1 グループ の被検者を対象に、体幹の左・右上部、中部、および左・右下部より取得した 5 つのインピーダンスを用いて体幹の BI index を算出し、 $MV_{\text{trunk-MRI}}$ 推定のための独立変数として利用した。さらに、得られた推定式を実験 2 の被検者に適用することで、骨格筋の発達が顕著である競技者の体幹骨格筋体積の推定における式の妥当性を確認した。

<結果および考察> 実験 1 において、本研究で考案したセグメント別 BI 法によりグループ の

$MV_{\text{trunk-MRI}}$ を推定した場合のSEEは 8.5%であり、四肢骨格筋量の推定を行った先行研究 (Miyatani et al. 2000, 2001; Bartok and Schoeller 2004) で報告されている値 (6.1 ~ 10.4%) と同等であることが示された。さらに、 $MV_{\text{trunk-MRI}}$ と $MV_{\text{trunk-BI}}$ の間には有意な差がなく、推定式の交差妥当性も確認された。また、実験 2 において、本研究の実験 1 で作成した $MV_{\text{trunk-MRI}}$ の推定式を陸上競技投擲選手に適用したところ、SEEは 8.0%であり、 $MV_{\text{trunk-MRI}}$ と $MV_{\text{trunk-BI}}$ の間には有意差がなく、系統誤差も認められなかった。一方、本研究におけるグループIの被検者データに基づき、研究Iで採用した近位BI法による体幹BI indexを用いて $MV_{\text{trunk-MRI}}$ の推定式を作成したところ、陸上競技投擲選手の $MV_{\text{trunk-MRI}}$ を過小評価する傾向 ($p = 0.05$) が認められた。これらの結果により、本研究で採用したセグメント別BI法を用いることで、非競技者および競技者の $MV_{\text{trunk-MRI}}$ を四肢と同等の精度で系統誤差なく推定できることが明らかとなった。しかしながら、体幹長 41-50%位置における内臓組織 / 骨格筋体積比と $MV_{\text{trunk-MRI}}$ の推定残差 (%) との間には有意な相関関係 ($r = -0.447, p < 0.05$) が認められた。その要因として、体幹長 41-50%位置における内臓組織は、水分を多く含む胃・腸などの消化器によって主に構成されていることから、この位置では内臓組織と骨格筋の電気的な分離が困難であったためと考えられた。

【研究 Ⅰ】セグメント別 BI 法の応用による全身骨格筋体積の推定

本研究では、非競技者ならびに競技者を対象に、研究 I および研究 II において妥当性と交差妥当性が確認されたセグメント別 BI 法を用いて全身骨格筋体積の推定を行った。

<方法> 被検者は、研究 Ⅰ 実験 1 と同一の 28 名であった。BI法により作成する全身骨格筋体積の推定式の妥当性および交差妥当性を検討するため、被検者を研究 Ⅰ (第 3 章) 実験 1 と同じく 2 群 (グループ A ; 20 名, グループ B ; 8 名) に分類した。作成した推定式の妥当性は、MRI法により測定した全身骨格筋体積を基準値 ($MV_{\text{whole body-MRI}}$) として検討した。研究 Ⅰ および Ⅱ の結果に基づき、左・右上腕, 左・右大腿および体幹の左・右上部, 中部, 左・右下部より取得したインピーダンスから上腕, 大腿および体幹のBI indexを算出し、 $MV_{\text{whole body-MRI}}$ の推定式を作成した。

<結果および考察> 大腿および体幹のBI indexを独立変数とする推定式により、 MV_{whole}

body-MRI)をSEE 6.6%の精度で系統誤差なく推定できることが示された。本研究で採用したセグメント別BI法の場合に、 $MV_{\text{whole body-MRI}}$ と全身骨格筋体積の推定値($MV_{\text{whole body-BI}}$)との間に有意差が認められず、推定式の交差妥当性も確認された。また、 $MV_{\text{whole body-MRI}}$ の大きさに依存した系統誤差も認められなかった。一方、全身BI法により取得したインピーダンスを用いて推定式を作成した場合に、グループ において、基準値と推定値との間に有意な差が認められた。これらの結果から、本研究において採用したセグメント別BI法は $MV_{\text{whole body-MRI}}$ を系統誤差なく推定でき、その推定精度は全身BI法よりも優れていることが明らかとなった。

【要約】

本研究では、セグメント別 BI 法により全身骨格筋体積を推定することの妥当性を明らかにするために、LBM の推定精度における全身 BI 法とセグメント別 BI 法との差異(研究)、セグメント別 BI 法の応用による体幹骨格筋体積推定の妥当性(研究)を検証したうえで、セグメント別 BI 法による全身骨格筋体積の推定を試みた。その結果、左・右大腿ならびに体幹の左・右上部、中部、左・右下部よりそれぞれインピーダンスを取得するセグメント別 BI 法を用いることで、非競技者から骨格筋の発達が著しい競技者を含む被検者集団の全身骨格筋体積を系統誤差なく推定できることが明らかとなった。