

審査結果の要旨

論文提出者氏名 宮谷昌枝

ヒトにおいて、四肢の骨格筋体積は、随意的に発揮可能な関節トルクと比例関係にあり、その測定は身体活動能力を評価するうえで重要な意味を持つ。四肢筋体積を測定する方法としては、これまでもいくつか考案されており、なかでも核磁気共鳴画像(magnetic resonance imaging, MRI)法は、現在、最も精度の高いものとして様々な研究領域において活用されている。しかし、MRI法は、測定装置の都合上、実験室外での調査・研究に活用することができず、また、測定・分析に多くの時間を要するため、多人数を対象とした測定に用いることは困難である。一方、簡便に筋体積を推定する方法として形態計測法が考案されているが、その精度は低い。そこで、本論文提出者は、測定の場所、所用時間やコストなど利用に際しての制約が少なく、多人数の被験者集団を対象にした調査・研究においても活用できる可能性を持つ超音波法と生体電気インピーダンス(bio-electrical impedance, BI)法に着目し、両方法による筋体積推定法の確立を目的として研究を行った。

超音波法は、密度の異なる生体組織に当たると反射するという超音波の性質を応用したものであり、皮下脂肪、筋、骨、腱などの四肢を構成する各組織の境目を画像化でき、それに基づき筋の厚み(筋厚)や筋横断面積を測定することができる。しかし、これまでのところ超音波法による測定値に基づき筋体積の推定を試みた研究はみられない。一方、BI法は、微弱な電流を生体に流した時に計測される電気抵抗(BI)値を利用し、身体の除脂肪組織量あるいは体脂肪量を推定することができる。BI値計測の簡便性およびそれに要するコストの低さから、BI法は、現在、主に全身の身体組成の評価方法として広く普及している。しかし、BI法が四肢筋体積の推定法として、どの程度の妥当性を持つのかは明らかにされていない。本論文では、MRI法による測定値を基準値とした超音波法およびBI法による各筋体積推定式が提示され、その精度および誤差要因に関する検討がなされた。その内容の概略は以下に示す通りである。

本論文では、まず、成人若年男性を対象に、超音波法による筋厚測定値から、肘関節伸展・屈曲、膝関節伸展および足底屈の各筋群の体積を推定する方法が検討された(第2章)。その結果、各筋群における一横断面の超音波画像から計測した筋厚と四肢長を説明変数とすることで、推定値の標準誤差(standard error of estimate, SEE)が肘関節屈曲筋群 8.9%、肘関節伸展筋群 6.9%、足底屈筋群 8.4%、膝伸展筋群 11.2%となる筋体積推定式が得られた。また、研究の対象とした筋群のなかで、SEEが最も高い膝関節伸展筋群については、筋形態における構成筋間の差が誤差要因になっていることが明らかにされ、構成筋のなかで最も大きな体積を有する筋(外側広筋)を筋厚の測定対象として含み、その筋横断面積が最大となる位置(大腿長遠位 30%位置)

を筋厚測定位置とした結果、他筋群と同程度の精度 (SEE=6.0%) を持つ推定式が得られた。また、膝伸展筋群の場合に、筋厚測定位置を複数(大腿長遠位 30%および 50%位置)とし、それらにおいて得られる筋厚値を説明変数とする推定式を作成することで、筋体積推定の精度をさらに向上 (SEE=2.9%) できることが示された。

BI 法に関しては、成人若年男性を対象に、上腕部、前腕部、大腿部および下腿部の各 BI 値の計測結果に基づく筋体積推定法が検討され (第 3 章)、筋体積指標 (BI index: 四肢長²/BI) を説明変数とすることで、SEE が上腕部 6.6%、前腕部 7.4%、大腿部 8.9%、下腿部 8.3% という筋体積推定式が得られた。さらに、本論文は、電気的並列等価回路モデルを肘関節の伸展筋群および屈曲筋群に当てはめ、肘関節角度を変化させた際の BI 値の計測結果に基づき、屈曲筋群が SEE=12.2%、伸展筋群が SEE=10.9% の精度で、それぞれの体積を推定可能であることを明らかにした。

また、本論文では、BI 法による筋体積の推定精度をより高めるために、BI 値の計測に関連した誤差要因について、1) 皮下脂肪および骨の体積比率の影響、2) 骨密度の影響、および 3) 筋形態の影響の 3 点から検討され、次のような知見が得られた。まず、皮下脂肪および骨の体積比率の影響に関しては、大腿部および下腿部を対象に検証され、筋の体積比率が低い部位 (遠位部あるいは近位部) における皮下脂肪および骨の量が、筋体積推定の誤差要因になることが確認された。また、骨密度の影響に関しては、踵部の BI 値と音響的骨評価値との関係が検証され、音響的骨評価値の個人差が BI 値に反映されていたことから、骨密度も筋体積推定の誤差要因になりうる可能性が示唆された。さらに、筋形態の影響に関しては、上腕部および前腕部を対象に、各部位を 1 つの円柱とみなす単一円柱モデルと、筋形態における位置差を考慮に入れ近位部、中間部および遠位部に細分化した複数円柱モデルに基づく筋体積の推定が試みられ、その精度がモデル間で比較検討された。その結果、上腕部および前腕部ともに、単一円柱モデルよりも複数円柱モデルの方が、精度よく筋体積を推定できることが明らかにされた。これらの結果に基づき、BI 法では、筋の量的比率が低くなる位置を避けて電圧計測電極を配置し BI 値を計測すること、また、筋形態における位置差を考慮に入れ、測定部位を細分化した形で BI 値を取得することで、より精度の高い筋体積推定が可能であることが示された。

本論文において提示された筋体積推定法の SEE は、超音波法が 2.9% (膝関節伸展筋群) ~ 8.9% (肘関節伸展筋群)、BI 法が 4.9 (上腕部) ~ 8.9% (大腿部) であった。その精度は、これまでに簡便な筋体積推定法として利用されてきた形態計測法について報告されているもの (SEE=15~30%) より高い。さらに、超音波法および BI 法とも推定に必要な測定手順も簡便なことから、両方法において得られた筋体積推定式は、成人若年男性からなる多人数の被験者集団を対象とした調査・研究にも応用可能なものである。今後、性・年齢あるいは運動習慣の有無が推定精度に及ぼす影響について検証を重ねることによって、汎用性の高い筋体積推定法を確立できるものと期待できる。また、本論文において、最も独創性の高い点は、BI 法により

伸展筋群と屈曲筋群の各体積の推定を試みたことである。これまでの BI 値の計測方法では、四肢の屈曲筋群および伸展筋群の体積をそれぞれ個別に求めることは不可能とされており、本論文は BI 法による筋体積推定の新たな可能性を示したものといえる。

以上の本論文の内容について、審査委員会で評価し、投票した結果、審査委員全員一致で申請者論文は博士(学術)の学位を授与するにふさわしいものと結論した。