

博士（人間科学）学位論文 概要書

生体電気インピーダンス法を用いた
筋長変化測定法の開発

Development of the method for estimating
muscle-length change by means of
bio-electrical impedance method

2006 年 7 月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

太田 めぐみ

Ohta, Megumi

研究指導教員： 福永 哲夫 教授

【はじめに】

ヒト生体内で筋腱複合体を画像化する方法のひとつに超音波法がある。超音波法は筋束や腱の動きをリアルタイムで撮像可能であり、等尺性収縮中の筋束の短縮量は腱の伸長量に等しいことが明らかになった(Ito et al. 1998)。これにより腱伸長量が定量可能となり、ヒト生体内における腱組織の粘弾性が推定されている(Ito et al. 1998, Kubi et al. 1999, 2001, 太田ら 2004)。

本研究では、筋長(腱長)を測定する方法として生体電気インピーダンス(bio-electrical impedance:BI)法に着目した。BI法は測定区間に存在する組織をそれぞれ円柱に見立て、各組織を電氣的に並列に配置したモデルで理論化されている。異なる体積抵抗率()を持つ組織間では の高い組織には電流がほとんど通電せず、 が低い組織のインピーダンス(Z :高周波電流と電圧計測電極間に生じた電位差の比)が計測される。四肢を構成する組織では脂肪の が最も高く、以下、骨 > 腱 > 筋である(Baumgartner et al. 1990, Salinari et al. 2002)ことから、筋腱複合体を対象としたとき、測定される Z は筋の情報を反映することになる。

円柱モデルでは Z は円柱の長さに比例し断面積に反比例することから、関節角度変化や筋収縮に伴う Z の変化は、筋長(筋腹長)変化を反映するという仮説が導かれる。また、ヒト生体内では組織が複雑に配列されていることから、同一円周上に測定区間があっても Z はそれぞれ異なることが予想され、対象とする筋の情報を感度よく測定可能な区間が存在すると考えられる。

そこで、BI法による筋長変化測定の可能性を明らかにすることを目的として、肘関節屈曲筋群を対象に、以下の3つの研究を行った。

【研究の内容と得られた主な知見】

研究1では、上腕部におよそ40の計測区間を設定し、導出された Z ()の分布を明らかにするとともに、肘関節角度変化に対して測定感度の高い計測区間を検討した。その結果、 Z は計測区間が短くなると減少した。また同一円周上では、 が低い組織(血管および筋)が電極の直下にある場合に低値を示した。肘関節角度変化に伴う Z の変化率(Z :%)は、肩峰~70%上腕長・上腕二頭筋上の区間で最も大きかった。さらに、この区間の $Z^{1/2}$ と超音波診断装置を用いて計測した上腕二頭筋の遠位筋腱移行部の移動距離(mm)の間には2次の曲線関係が認められた($R^2 = 0.883$, $p < 0.001$)。以上のことから、肩峰~70%上腕長・上腕二頭筋上を計測区間とすることにより、 Z 変化から肘関節屈曲筋群の筋長変化を感度よく測定可能であることが示された。

研究2では、肘関節を完全伸展位(0deg)から100deg屈曲位まで受動的に変化させたときの Z と筋腱複合体長変化(L_{MTC} :mm)との関係を検討した。その結果、 Z は肘関節の屈曲に伴って直線的に減少することが示された($r = -0.996$, $p < 0.001$)。100degでの Z は $-18.0 \pm 2.9\%$ (平均値 \pm 標準偏差)であった。また、モーメントアーム値(Amis et al. 1979)から肘関節屈曲筋群の L_{MTC} を求め $Z^{1/2}$ との関係を検討したところ、いずれの筋においても非線形の関係が認められ、 Z 変化が筋腱複合体長変化を反映していることが示された。

研究3では、等尺性筋力発揮中の Z と超音波法により定量した上腕二頭筋の短縮量(L_{US} :mm)と

の関係を検討した。80% MVCにおけるトルク、 L_{US} および Z は、それぞれ 47.9 ± 4.8 Nm、 9 ± 3 mm、 $-9.1 \pm 1.7\%$ であった。発揮筋力の増加に伴って L_{US} 、 Z ともに非線形に変化することが示され、いずれの被検者においても $Z^{1/2}$ と L_{US} の間には2次の曲線関係が認められた($R^2 = 0.803 \sim 0.995$, $P = 0.008 \sim <0.001$)。BI法を腱組織の粘弾性の推定に適用することを考慮し、50%MVC以上における筋長変化について検討を加えた。被検者をvalidation群(V群)とcross-validation群(CV群)に分け、V群の $Z^{1/2}$ と L_{US} の関係に基づき L_{BI} の推定式($L_{BI}(f) = 4.441 \times \%Z(f)^{1/2} - 4.802$)を得た。V群の L_{US} と L_{BI} との間に有意差は認められなかった(いずれも 9 ± 1 mm, $p = 0.673$ 、平均値 \pm 標準誤差)。これをCV群に適用した結果、CV群においても L_{US} と L_{BI} の間に有意差は認められなかった($L_{US}: 8 \pm 1$ mm, $L_{BI}: 9 \pm 0$ mm, $p = 0.749$)。以上の結果から、等尺性筋力発揮中の Z 変化は筋長変化を反映しており、BI法を用いて筋長(腱長)変化が推定可能であることが示された。

【結論】

本研究の結果、肩峰~70%上腕長・上腕二頭筋上の区間から導出された Z の変化は、関節角度変化および等尺性筋力発揮に伴う肘関節屈曲筋群の長さ変化を反映していることが示された。等尺性筋力発揮中の筋長変化をBI法により推定可能であるという知見が得られたことは、BI法が腱組織の粘弾性の簡便な推定法となり得ること示唆するものであった。