

## 論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名：栗原 俊之

本論文「等尺性収縮時のヒト骨格筋形状：三次元超音波法による計測」は、等尺性収縮時のヒト骨格筋の形状変化について、発揮した力の大きさと対応から明らかにすることを目的として行われた研究の成果をまとめたものである。骨格筋の形状は、骨格筋の機能に影響を与える主要な因子の一つである。ヒト骨格筋では超音波法を用いた筋形状計測により、筋形状と機能との関係が明らかになりつつあるが、従来の研究においては、限られた範囲内における筋束長、羽状角および筋厚が計測され、筋形状は筋内で一様であり、限られた範囲内での筋線維の動きが、全ての筋の動きを表すと仮定されてきた。しかし、筋線維は筋内で三次元的に配列しており、筋形状は一様ではなく筋内で部位による差が存在する。これまでのところ、ヒト生体において、収縮時の骨格筋の形状を三次元的に捉えた報告例はなく、収縮に伴う筋形状の変化の実態は不明である。本論文は、三次元超音波法をヒト骨格筋計測に適用し、収縮時の骨格筋の形状変化における部位差、筋間差について明らかにしたものであり、その内容は身体運動科学における研究の新しい方向を示すものとして注目される。

本論文の内容は3つに分けられ、その主な知見は以下のようにまとめられる。

### 1) 三次元超音波法の妥当性

ファントム（医療用模型）による誤差の確認（実験1）、および筋横断面積、筋体積の計測におけるMRI法との比較（実験2）を行い、三次元超音波法の妥当性を確認した。まず、実験1の結果において、画像取得時のプローブの進行方向ならびに進行速度は計測値に影響を与えなかった。また、距離計測および角度計測ともに計測誤差は小さく、計測値の再現性も高いものであった。また、実験2の結果において、最大筋横断面積および筋体積の各平均値には、MRI法と三次元超音波法との間に有意な差は無く、三次元超音波法の測定値の再現性も高いものであった。

### 2) 収縮時の筋形状計測における三次元超音波法の適用の可能性

従来の超音波法（二次元超音波法）との比較により、収縮時の筋形状計測における三次元超音波法の適用の可能性を検討した。前脛骨筋および腓腹筋内側頭について計測を実施した結果、前脛骨筋の羽状角、筋厚、および腓腹筋内側頭の羽状角の各計測値に方法間で有意な差が認められ、腓腹筋内側頭の筋束長の計測値は、二次元超音波法より三次元超音波法において大きくなる傾向がみられた。それらの差が生じた要因として、二次元超音波法による計測時のプローブの操作（方向や傾きの調整）の技術、ならびに三次元超音波法による計測時の切り出す平面のずれの影響が考えられた。特に、収縮に伴う筋束の移動あるいは腱膜面の形状の変形が考慮されない場合には計測誤差が大きくなり、筋束長は過小評価され、羽状角は過大評価されることが明らかとなった。これらの結果から、三次元超音波法を用いた骨格筋の形状計測においては、誤差要因を取り除くために切り出す平面を正しく決定することが必要であり、この点に注意することで収縮時の形状計測への適用が可能であることが確認された。

### 3) 三次元超音波法を用いた様々な収縮強度における等尺性収縮時のヒト骨格筋形状の計測

前脛骨筋および腓腹筋内側頭について、収縮に伴う形状変化の定量を行った。まず、様々な収縮強度での等尺性収縮時における前脛骨筋の形状を計測したところ、収縮強度の増加に伴い、深部筋腹長および浅部筋腹長は短縮した。また、最大筋横断面積は収縮時に増加する傾向にあったが、その変化は有意なものではなく、筋体積は収縮強度によらず一定であった。骨格筋の半羽状筋モデルでは、平行腱膜間の距離（=筋厚）を変えずに、腱膜の水平移動によって体積一定のまま筋全体が短縮すると考えられている。このモデルに従うと、筋収縮に伴い、筋厚が変化しないため、筋は横方向へ広がることが予想される。事実、筋横断面積には腱膜面に対し横方向へ増加する傾向が認められた。また、収縮に伴う筋全体の形状変化として、近位側の筋横断面積の増加、遠位側の筋横断面積の減少、および筋横断面積が最大となる位置の近位側への移動が確認された。次に、様々な収縮強度での等尺性収縮時における前脛骨筋および腓腹筋内側頭を筋全体にわたり計測し、収縮に伴う筋形状の変化および筋内における筋形状の部位差の有無を確認した。前脛骨筋では、安静時および等尺性収縮時において筋束長、羽状角および筋厚に部位差が存在した。また、腓腹筋内側頭の羽状角および筋厚にも、安静時および等尺性収縮時において部位差が存在したが、筋束長には安静時、等尺性収縮時ともに部位差がみられなかった。これらの計測値から腱膜方向の移動量を計算したところ、腱膜の伸長に部位差が認められ、筋束の発揮する力が筋内で一様でない可能性が示唆された。また、収縮時の部位差の有無の要因として安静時の筋形状や腱膜形状の影響が示唆された。

以上のように、栗原俊之氏の論文は、三次元超音波法によるヒト骨格筋の形状計測の可能性、および収縮時における筋形状変化の部位差、筋間差を明らかにしたものである。その知見は、ヒト骨格筋の形状と力との関係を明確にするうえで有用なものであり、身体運動科学の分野における意義は大きい。したがって、本審査委員会は博士（学術）の学位を授与するにふさわしいものと認定する。