

2006年12月13日

人間科学研究科長 殿

衣笠竜太氏博士学位申請論文審査報告書

衣笠竜太氏の学位申請論文を、下記の審査委員会は、人間科学研究科の委嘱をうけて審査をしてきましたが、2006年11月27日に審査を終了しましたので、ここにその結果をご報告いたします。

記

1. 申請者氏名 ; 衣笠竜太
2. 論文題名 ; *In vivo* activation properties of human skeletal muscle using mfMRI (mfMRIを用いたヒト生体における骨格筋の活動特性) (英文)

2. 本文

本論文はすべて英文で書かれており、その構成は6章よりなっている。ここにその概要を示す。

人間の身体運動は、脊髄の運動ニューロンからのインパルスを受け、筋が活動することによって生じる。筋は全体を一つのシステムとして考慮すれば、筋活動は様々な空間分解（筋群全体、各筋別、筋内部の三次元空間別）で評価する必要がある。これまで、運動時における筋活動量や筋活動の筋内分布など筋活動に関する基礎的なメカニズムすら明らかになっていない。しかし、現段階における筋活動の評価法では、これらの情報を取得するのは極めて困難である。筋活動は、身体運動において発現される力や動作の多様性を生み出す最重要因子の一つなので、筋の活動状態に関する知見は身体運動の仕組みを理解するために役立つ。

本研究は、骨格筋機能的磁気共鳴画像法（mfMRI）を用いた筋全体の筋活動量と筋内部の三次元空間における筋の活動分布を定量する方法論を確立し、単一の負荷強度での筋活動状態（活動の量、分布、レベル）や負荷強度の増加に伴う筋の活動状態の変化について明らかにすることを目的とした。

第2章では、mfMRIの横緩和時間（T2）と筋電図積分値（iEMG）との関連性を検討した。3種類の負荷強度でカーフレイズ運動を行った結果、T2は各下腿三頭筋ともに負荷強度に比例して増加し、その様相はiEMGと類似した。腓腹筋内側頭（MG）とヒラメ筋（So1）のT2はiEMGとの間に正の相関関係を認めたが、腓腹筋外側頭（LG）では両者の間に相関性が

認められなかった。T2 は筋活動を反映するが、この関係性は筋群間で異なることが示された。

第3章では、筋の「活動部位」と「非活動部位」をT2 閾値処理により区別し、三次元再構築による筋活動量の算出とその妥当性を検討した。三次元再構築による体積の推定値は実測値との間に正の相関関係を認め、測定誤差は5%以下であった。mfMRIにより推定された筋活動量はiEMGとの間に正の相関関係を認め、mfMRIによる筋活動量の評価は妥当であることが示された。

第4章では、単一の負荷強度による下腿三頭筋の活動量と活動分布を検討した。片脚のカーフレイズ運動時におけるMGの筋活動量はMG全体の46%であり、LGとSo1（それぞれ35%）よりも多かった。筋全体を8分割し、3軸毎に比較した結果、MG遠位の筋活動量は近位よりも多く、これはiEMGの結果と一致した。一方LGとSo1の筋活動量は近位と遠位で同程度であった。また、各下腿三頭筋の活動量は外側と内側、前方と後方でそれぞれ同程度であった。筋活動量は筋群間と部位間で異なり、主働筋の筋活動は不均一性であることが示された。

第5章では、負荷強度の増加に伴うMGとSo1の筋活動量と活動分布の変化について検討した。異なる負荷強度で足底屈運動（膝関節は伸展位）を行った結果、iEMGは負荷強度の増加に伴ってMGとSo1ともに増大した。MGの筋活動量は強度依存的に増加し、特に筋腹と遠位付近で顕著であった。一方、So1の筋活動量は変化しなかった。負荷強度を上げると、筋活動量はMGとSo1共に増えるが、活動する筋線維の種類（速筋線維・遅筋線維）とそれらの筋内分布は運動強度に応じて調節されていることが推察された。

第6章では、mfMRIによる筋の活動レベル推定の妥当性と各下腿三頭筋の活動レベルを検討した。筋の「活動部位」をT2 閾値に応じて5階層に分類した結果、最上位階層のT2は他の階層のT2よりも高いので、最上位階層のT2に含まれるピクセルは活動レベルが高く、最下位階層のピクセルでは活動レベルが低いと推察された。片脚のカーフレイズ運動時における筋の活動レベルは、各下腿三頭筋で主に低～中程度であった。高い活動レベルはMGで最も多く、So1で最も少なかった。一方、So1は他の筋よりも低い活動レベルを多く有していた。mfMRIは筋の活動レベルを推定できる可能性が示された。

本論文では、筋活動量、筋活動分布、及び筋活動レベルを定量するための非侵襲的な方法として、mfMRIの有用性が確認された。単一の負荷強度でも、筋活動量は協働筋間と部位間で異なり、筋活動量の最も多い主働筋では、筋活動を不均一に分布させていることが明らかとなった。筋活動の不均一性は、筋内で生み出された力を分散させるメカニズムと密

接に関連していることが示唆された。負荷強度を上げた場合、活動する筋線維の種類を協働筋間で選択的に変化させ、筋の解剖学的特性（単・多関節筋）に応じて筋活動を分布させていることが示唆された。これらの知見は、今まで不明であった筋力発揮時の筋活動のメカニズム解明に大きく寄与するものである。生体における筋活動の研究を行う場合には、局部（筋内の特定部位から単一の筋）のみならず、筋群全体で捉えることにより、新たな知見が得られる。

以上のように、衣笠竜太氏の論文（*In vivo* activation properties of human skeletal muscle using mfMRI）は、従来、ヒト生体で明らかにされていなかった非常に独創性の高い、優れたものであり、博士（人間科学）に相応しいと判断された。

3. 衣笠竜太氏博士学位申請論文審査委員会

| | | | | |
|--------|-------|----|------|-----------------|
| 主任審査委員 | 早稲田大学 | 教授 | 福永哲夫 | 教育学博士（東京大学） |
| 審査員 | 早稲田大学 | 教授 | 彼末一之 | 工学博士、医学博士（大阪大学） |
| 審査員 | 早稲田大学 | 教授 | 川上泰雄 | 博士（教育学）（東京大学） |

以上