

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名：小田 俊明

本論文「ヒト骨格筋において筋腱相互作用が発揮張力の経時変化に及ぼす影響」は、ヒト骨格筋内において腱組織の弾性の存在のために生じる筋腱相互作用が発揮される張力の経時変化に与える影響を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。その内容は、筋収縮が定常に至るまでの過程と強縮の定常状態のそれぞれにおける筋線維や腱組織の動態と発揮張力の経時変化との関連を検討し、計測されたデータから筋腱複合体内における筋線維発揮張力の決定要因の推定を試みたものであり、5つの研究により構成されている。収縮中に筋腱相互作用が生じると、筋線維の長さ変化が生じるため、筋線維の長さ - 張力関係 (Gordon et al. 1966) や速度 - 張力関係 (Hill 1928) に関連する発揮張力の経時変化も影響を受けると予想される。しかし、ヒト骨格筋において、筋腱相互作用と発揮される張力の経時変化との関連については、これまで系統的な研究は行われていない。本研究は、超音波法を用い筋線維や腱組織の長さ変化を定量し、ヒト骨格筋において筋腱相互作用が発揮張力の経時変化に及ぼす影響を明らかにしたものである。その研究成果は、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ものであり、主な研究内容は以下のようにまとめられる。

[研究1]筋腱相互作用が張力発揮までのプロセスに与える影響

本論文研究1では、神経刺激からトルク発揮に至るまでのプロセス(刺激, M波の発現, 筋線維の短縮開始, トルク発揮)間に要するそれぞれの所要時間を計測し、筋腱相互作用が張力発揮までのプロセスに与える影響が検討された。その結果、筋線維の短縮開始からトルク発揮までの時間が、刺激からトルク発揮までの時間の42 - 70%を占めた。刺激からM波の発現まで、M波の発現から筋線維の短縮開始までの時間に関節角度による変化はみられなかったが、筋線維の短縮開始からトルク発揮の開始までの時間は、背屈位で有意に長くなった。これらの結果から、関節角度が変化した際の刺激からトルク発揮までの時間の変化が、筋線維の短縮開始からトルク発揮までの時間の変化に起因すること、筋線維の短縮開始からトルク発揮までの時間の主要因は、筋線維の短縮が腱組織のslacknessを除くための時間であると考えられるため、筋腱相互作用が筋線維の短縮開始からトルク発揮までの時間や刺激から関節トルク発揮までの時間の重要な影響因子であることが示唆された。

[研究2]筋腱相互作用が単収縮における発揮張力の経時変化に与える影響

本論文研究2では、単収縮中の筋線維と腱組織の長さ変化、ならびに、筋腱複合体と筋線維の長さ - 速度 - 張力特性、腱組織の伸長 - 伸長速度 - 張力特性に関する分析結果に基づき、筋腱相互作用が単収縮における発揮張力の経時変化に与える影響が検討された。その結果、筋線維長・腱組織伸長の時間特性(収縮時間; half relaxation time, HRT)と筋線維張力・腱張力の時間特性との間にはほとんど差がなかった。しかし、背屈10°におけるHRTには、腱組織のslacknessと長さ - 張力特性を表す曲線の形に起因すると考えられる有意な差が観察された。また、筋腱複合体ならびに筋線維の関節角度依存の単収縮張力の経時変化の差、ならびに筋線維の長さ - 張力特性における傾きの差は、筋線維の長さ - 張力関係, excitation level - 時間関係, 腱組織の力学的特性の影響によって生じ、速度 - 張力関係からの影響は小さいことが示唆された。

[研究3]筋腱相互作用が強縮の力の立ち上がり局面における発揮張力の経時変化に与える影響

本論文研究3では、強縮の力の立ち上がり局面において、筋腱相互作用が強縮の力の立ち上がり局面における発揮張力の経時変化に与える影響が研究2と同様の方法を用いて検討された。その結果、収縮張力が大きな強縮の力の立ち上がり局面においても、筋腱複合体ならびに筋線維の関節角度依存の張力の経時変化の差、ならびに筋線維の長さ - 張力特性における傾きの差が、単収縮の場合と同様に筋線維の長さ - 張力関係, excitation level - 時間関係, 腱組織の力学的特性の影響によって生じており、筋線維の速度 - 張力関係からの影響は小さいことが示唆された。

[研究4]筋腱相互作用が強縮の定常状態における発揮張力の経時変化に与える影響

強縮中には筋線維の収縮速度はゼロとなり、発揮される張力の経時変化は筋線維の長さによって決定される(長さ - 張力関係)。本論文研究4では、筋腱相互作用が筋線維や筋腱複合体の長さ - 張力関係を表す曲線の形状に与える影響が検討された。その結果、前脛骨筋の筋線維ならびに筋腱複合体は、長さ - 張力関係における上行脚ならびに至適域を用いて張力を発揮すること、腱組織の伸長に伴う筋腱相互作用が筋線維と筋腱複合体の長さ - 張力関係の使用域や曲線の形状、ならびにoperating rangeの重大な決定因子であることが示唆された。

[研究5]筋腱複合体内における筋線維の発揮張力の決定要因の推定

本論文研究5では、研究1から4における計測データを、Bobbert and Ingen Schennau(1990), van Zandwijk et al. (1996, 1998)と同様のモデルに適合することにより、単収縮ならびに強縮の力の立ち上がり局面における筋線維の長さ、速度, excitation levelに関連する力発揮ポテンシャル(FGC)の経時変化が推定され、筋線維張力の経時変化との関連が検討された。その結果、単収縮、強縮の力の立ち上がり局面ともに、収縮の局面によってこれら3要素のFGCの貢献度が変化しながら筋線維張力の経時変化が決定されることが示唆された。また、筋線維長、およびexcitation levelに関連するFGCは、関節角度による影響が大きかった。一方、筋線維収縮速度に

関連する FGC は関節角度による変化が小さかった。このことから、関節角度が変化した際の筋線維張力の変化には、筋線維収縮速度に関連する FGC の影響は小さく、その他の筋線維長ならびに excitation level に関連する FGC の影響が大きいことが示唆された。

以上のように、小田俊明氏の論文は、収縮の状態や発揮する張力の大小に関わらず、筋腱相互作用が筋線維や筋腱複合体の張力発揮に多大なる影響を与えていることを明確に示し、さらに張力の経時変化の決定要因を推定し、その貢献を明らかにしたものであり、身体運動科学の分野における意義は非常に大きい。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。