

早稲田大学審査学位論文  
博士（スポーツ科学）  
概要書

動的足関節底屈運動における  
下腿三頭筋の筋腱動態の動作依存性

Movement dependency of the muscle-tendon  
behavior of the triceps surae muscles during  
dynamic ankle bending exercises

2011年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

佐久間 淳  
Sakuma, Jun

研究指導教員：川上泰雄 教授

## 研究背景および目的

先行研究において、筋腱複合体のパワー（すなわち関節パワー）の増減に対して、筋が力を、腱が速度を担うと指摘している。しかしながら、先行研究の多くは、関節可動域すなわち筋腱複合体長変化が統一されておらず、「力」と「速度」のどちらが筋腱動態の変化に対してより影響するかは検討されていないなどの問題点を有している。さらに、腱の力学的特性は、加えられた力の大きさや発揮様式によらず力が加えられた時間（持続時間）によって変化することから、SSC運動を繰り返す運動時間の長短によって筋腱動態の変化が異なることが予想されるが検討されていない。また、協働筋の筋腱動態を同時に観察した先行研究は限られ、関節パワーの増減に対する協働筋の筋および腱の機能的役割の差異についての知見は乏しい。そこで本研究は、動作を規定したSSC運動中の協働筋の筋腱動態を観察することで協働筋の筋および腱の動作依存性を明らかにし、筋と腱の機能的役割とその協働筋間差について検討することを目的とした。

## 研究内容および主知見

### 第2章：異なる動作速度における腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態

4つの異なる動作速度（1.33, 1.67, 1.84, 2.00Hz）でのカーフレイズ運動（CR）中の腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態を超音波法によって観察した。CR中の足関節可動域、両筋のEMG、足関節の機械的仕事は動作速度によらず一定であった。動作速度が高まるにつれて足関節パワーが増加し、同時に腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋束長変化、腱長変化、収縮速度、筋腱複合体長変化に対する筋長変化および腱長変化の割合が変化した。しかしながら、その変化パターンに筋間差はみられなかった。以上の結果から、協働筋は筋形状や筋線維組成が異なるものの下腿三頭筋単体として足関節パワーの増減に関与し、主に筋・腱の振る舞いが関節パワー増減を担っているものと思われた。

### 第3章：異なる負荷条件における腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態

異なる動作負荷（-30%自体重、自体重、+30%自体重）におけるCRを2つの動作速度（低速：0.5Hz、高速：1.5Hz）で行った際の腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態を観察した。低速および高速試行ともに、動作負荷の増加によって足関節パワー、足関節の機械的仕事、両筋の筋電図が増加した。各動作速度における足関節可動域、足関節角速度に有意差はみられず、同一であった。筋束長および腱長、収縮速度、筋腱複合体長変化に対する筋長変化および腱長変化の割合は動作負荷による違いがみられなかった。以上の結果から、いずれの動作速度においても動作負荷の増加に伴い筋腱動態は変化せず、筋活動の増減によって関節パワーあるいは機械的仕事を増加させることが明らかとなった。

### 第4章：異なる運動時間が腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態に及ぼす影響

200回のCRを2つの異なる動作速度（0.5Hz, 2.0Hz）で行い、異なる運動時間（0.5Hz：400秒、

2. 0Hz : 100秒) における腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態の変化を比較した。それぞれの試行におけるFirst-setとFinal-setにおける両筋の筋電図, 筋束長, 腱長, 収縮速度, 筋腱複合体長変化に対する筋長および腱長変化の割合を比較した。運動時間の長い試行は運動時間の短い試行よりも筋疲労の程度が大きかった (34%低下 vs 7%低下) が, いずれの試行においてもFirst-setとFinal-setの足関節トルク, 足関節角速度に有意差はみられなかった。長時間試行の筋電図は腓腹筋内側頭, ヒラメ筋ともに変わらなかったが, 両筋の筋束長は長くなり, 腱長が短くなった。収縮速度においても低下がみられ, 筋腱複合体長変化に対する筋長変化の割合が減少し, 腱長変化の割合が増加した。一方, 短時間試行においては足関節トルク, 足関節角速度はFirst-setとFinal-setで変らなかったが, 両筋の筋電図が低下した。また, 腓腹筋内側頭の筋束長が長くなり, ヒラメ筋の収縮速度が減少した。しかし, 筋腱複合体長変化に対する筋長および腱長変化割合は変化しなかった。これらの結果から, 筋疲労によって低下した発揮筋力補うように筋のカー長さ, カー速度関係を力発揮に有利な方にシフトさせることや筋腱相互作用の変化を通じて足関節パワーを維持したものと推察された。また, 筋疲労の程度によって筋腱動態の変化が筋によって異なるものと考えられた。

## 結論

筋腱複体のパワー (関節パワー) を増加させる際, 筋が「力」と担い, 腱が「速度」を担うということが明確に示された。さらに, 筋腱動態は腱に張力がかかる時間の長短の影響を受けることが明らかとなり, 筋疲労が生じた際には, 筋の力発揮能力を高めることに加え, 腱の貢献度を高めることで足関節パワーを維持するものと考えられた。動作条件間における腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態の変化パターンに顕著な違いがみられなかったことから, 下腿三頭筋の筋腱動態の動作依存性は一致し, 身体運動中, 腓腹筋内側頭およびヒラメ筋は下腿三頭筋単体として関節パワーあるいは機械的仕事を調整していることが示唆された。