

【課程内】

博士（スポーツ科学）学位論文 概要書

協働筋の筋腱動態および神経-筋活動  
の筋疲労による変化

Muscle fatigue changes in fascicle-tendon behavior  
and neuromuscular activity of synergistic muscles

2010年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科

光川 眞壽  
Mitsukawa, Naotoshi

研究指導教員： 川上 泰雄 教授

## 研究背景と目的

人間の関節運動は、筋線維組成 (Johnson ら, 1973 など) が異なる複数の筋 (協働筋) の筋張力によって発現する。筋疲労の程度は筋線維組成の影響を受けるため、筋疲労をともなう関節運動時の神経-筋活動の変化には、協働筋間差が生じると考えられている (Ochs ら, 1973 など)。しかし、その際の協働筋各筋の筋張力の変化については明らかにされていない。1990 年代より、Brightness (B) モード超音波法を用いた研究によって、等尺性トルク発揮時には、発揮トルクの増加に伴い筋線維が短縮し腱が伸長されることが報告されている (Ito ら, 1998 など)。この報告は、筋線維および腱の長さ変化 (筋腱動態) が筋張力の変化を反映することを示すものである。

そこで本論文は、腓腹筋内側頭 (MG) およびヒラメ筋 (SOL) を対象に、筋疲労をともなう異なる強度の足関節底屈トルク発揮課題における協働筋の筋腱動態を明らかにし、筋電図の観察もあわせて協働筋各筋の筋張力や神経-筋活動の筋疲労による変化について検討することを目的とした。

## 研究内容と主知見

本研究では、随意最大収縮 (MVC) による足関節底屈トルク反復課題 (第 2 章: MVC 課題)、5%MVC と 40%MVC の足関節底屈トルクの持続課題 (第 3 章)、電気刺激法を用いて MG のみを疲労させた状態で足関節底屈トルク発揮する課題 (第 4 章: MG 刺激課題) における MG・SOL の筋腱動態および筋電図を、B モード超音波法および表面筋電図法を用いてそれぞれ観察した。

第 2 章では、被検者は MVC 足関節底屈トルク発揮を 60 回反復した。トルク発揮を重ねるにつれて、ある一定の足関節底屈トルクに対する MG の筋束は長くなったが、SOL の筋束長は一定のままであった。筋電図は、ある一定の足関節底屈トルクに対する振幅が SOL において増加し、MG では一定であった。これらの結果は、MVC 課題の MG の筋張力の低下が大きく、一方、ある一定の関節トルクに対する SOL の筋束長が一定のままで神経-筋活動を増加させながら SOL の筋張力を増大させていたことを示唆している。

第 3 章第 1 節では、被検者は 5%MVC の足関節底屈トルクを 1 時間持続した。5%MVC トルクに対して、MG の筋電図の振幅が増加し SOL の振幅が減少する区間 (MG 活動区間) において MG の筋束が短縮し、SOL の筋束は一定であった。逆の筋電図パターンがみられる区間 (SOL 活動区間) では、SOL の筋束が短縮し、MG の筋束は長くなった。しかし、MG 活動区間における SOL の腱伸長は、課題前のランプ試行における 5%MVC 発揮時の SOL の腱伸長とほぼ同値であった。これらの結果は、両筋の筋腱動態が各筋の筋張力の変化と一致しない可能性を示唆している。

第 2 節においては、被検者は 40%MVC の足関節底屈トルクをできる限り維持した。40%MVC トルク発揮中、SOL の筋電図振幅が課題終盤に有意に増加し、MG の振幅に有

意な変化はみられなかった。一方、40%MVC 持続中の MG および SOL の腱伸長に有意な変化は観察されなかった。また、課題開始時の相対的な振幅が最も低い筋ほど、課題中に神経-筋活動を増加させることが確認された。これらの結果から、40%MVC 課題開始時に相対的な神経-筋活動が最も低い筋がその活動を増加させながら、各筋で一定の筋張力を維持することが示された。

随意的な関節トルク発揮課題では、程度の差はあるものの協働筋すべてが疲労すると考えられるため、ある 1 つの筋が疲労した際の協働筋の筋腱動態は明らかにすることができなかった。そこで、第 4 章では、被検者は、経皮的な電気刺激によって MG のみが疲労した状態で足関節底屈トルクを発揮した。その結果、ある一定トルクに対する SOL の筋電図の振幅は有意に増加し、MG の振幅は有意に減少した。一方、MG および SOL の腱伸長は有意に減少した。これらの結果から、協働筋の 1 つが疲労した際には、疲労前の腱の長さや筋張力の関係が変化することが示唆された。

## 結論

本研究では、筋疲労をともなう異なる強度の関節トルク発揮課題における協働筋の筋腱動態および神経-筋活動の観察を行った。その結果、いずれのトルク発揮課題においても、協働筋各筋の筋腱動態の筋疲労による変化は神経-筋活動のそれとは異なる動態を示した。このことは、筋疲労時の筋腱動態は、神経-筋活動とは異なる指標となることを示唆している。しかしながら、筋疲労による筋張力変化と筋腱動態の関係を検討した結果、筋張力の変化と筋腱動態が一致しない条件があることが確認された。これらの結果は、発揮トルクと筋腱動態の関係は筋疲労前後で変化し、協働筋各筋の筋腱動態から、筋疲労による各筋の筋張力変化を検討しようとする場合には、協働筋の 1 つの筋張力変化だけでなく、筋疲労にともなう他の協働筋の張力や形状の変化による筋腱動態の影響を考慮する必要性を示唆したものといえる。