

【課程内】

博士(人間科学)学位論文 概要書

## 動的な関節トルク発揮時の腱の動態

Behavior of tendon structures during dynamic joint actions

2008年1月

早稲田大学大学院 人間科学研究科

杉崎 範英

Sugisaki, Norihide

研究指導教員： 福永 哲夫 教授

## 研究背景と目的

従来、身体運動中の腱の動態や機能的役割は、当該身体運動中の腱張力と、腱の力学的特性とを組み合わせることで考察されてきた(Bobbertら, 1986 など)。ヒト生体における腱の力学的特性については、これまでのところ、等尺性関節トルク発揮時の腱の動態を通して検討されている(Itoら, 1998 など)。しかしながら、動物実験では、腱張力と腱長との関係が、筋活動の有無や筋活動様式の影響を受けることが報告されている(HuijingとEttema, 1988/89 など)。このことは、身体運動における腱の動態や機能的役割を明らかにするためには、等尺性のみならず動的な関節トルク発揮における腱の動態を知る必要があることを示唆している。

そこで本研究は、ヒトの腓腹筋内側頭の腱(外部腱および腱膜)を対象として、動的な関節トルク発揮時の腱張力と腱長との関係を明らかにし、身体運動における腱の動態および機能的役割を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、足関節による跳躍動作における腓腹筋内側頭の腱の動態(第2章)、随意動的足関節底屈トルク発揮時の腓腹筋内側頭外部腱と腱膜の動態(第3章)、および単一筋電気刺激を用いた動的足関節底屈トルク発揮時の腓腹筋内側頭外部腱の動態(第4章)について検討した。

第2章では、被検者にスレッジ装置上での足関節を使用した3種類の跳躍動作(反動なし、反動あり、およびリバウンドジャンプ)を行わせ、超音波法を用いて各動作中の腓腹筋内側頭の腱の動態を観察した。その結果、動作中の筋腱複合体長変化の大部分(33~80%)は腱長変化によるものであった。また、腱張力と腱長変化から腱の機械的仕事を推定したところ、底屈局面における腱の機械的仕事は、同局面における筋腱複合体の仕事の85%にまで及ぶことが示唆された。しかし、跳躍動作中の腱張力と腱長との関係を示す曲線は、弾性体には観察され得ない、ヒステリシスとは反対回りのループ(counter-clockwise loop: CC ループ)を描いた。動作中の筋の活動状態(筋活動の有無や筋活動様式)と腱の動態との対応から、この現象は、腱張力-腱長関係が筋の活動状態によって変化するために生じると推察された。

第3章では、等速性筋力計を用いて、随意での短縮性(CON)、伸張性(ECC)および伸張-短縮サイクル(SSC)による足関節底屈トルク発揮を行い、その際の腓腹筋内側頭の外部腱と腱膜の動態を超音波法により観察した。関節動作中の腱張力と外部腱長もしくは腱膜長との関係を検討したところ、ECCおよびSSC試行では、腱張力の変化に拘わらず、腱膜長に有意な変化は認められなかった。また、SSC試行中の腱張力と外部腱長との関係はCCループを描いた。これらの結果から、腱における弾性エネルギー蓄積の役割は主に外部腱が担っていること、および跳躍動作において観察されたCCループは外部腱において生じていたことが示唆された。

随意による動的関節トルク発揮では、動作中の筋活動レベルの変化や、協働筋あるいは拮抗筋

の活動の変化が、腱張力-腱長関係の推定に影響を及ぼす可能性がある。そこで第4章では、それらの影響を排除するため、電気刺激を用いて腓腹筋内側頭のみを活動させた状態で、短縮性、伸張性、および伸張-短縮サイクル(SSC)による足関節底屈トルク発揮を行い、その際の外部腱の動態を観察した。また、これらの試行(動的関節トルク発揮)における外部腱の動態を、受動背屈におけるそれと比較した。その結果、腱張力と外部腱長の関係に筋活動様式間で差はなく、SSC 試行においても CC ループは観察されなかった。一方、一定腱張力に対する外部腱長は、受動背屈時よりも動的関節トルク発揮時において短いことが明らかとなった。これらの結果から、腱張力-外部腱長関係は、筋活動の有無あるいは筋の活動レベルの影響を受けることが示された。また、身体運動中の腱で観察される CC ループは、動作中に筋の活動レベルが変化することで、腱張力と外部腱長の関係が変化することによると考えられた。

## 結論

本研究の結果、動的関節トルク発揮時の腱における弾性エネルギー蓄積の役割は、主として外部腱が担うことが示唆された。また、筋活動の有無あるいは筋の活動レベルによって腱張力と外部腱長の関係が変化するために、身体運動中の腱張力と腱長の関係が、ヒステリシスとは反対回りのループを描くことが明らかとなった。これらの結果は、等尺性関節トルク発揮において得られた腱の弾性特性から推定されるものとは異なるものであり、身体運動のパフォーマンスと腱の特性との関係を検討しようとする場合には、等尺性のみならず動的な関節トルク発揮における腱の動態を考慮することの必要性を示唆するものといえる。