

早稲田大学審査学位論文  
博士（スポーツ科学）  
概要書

反動動作による筋腱複合体のパフォーマンス増強効果  
の個人差と練習効果

Performance enhancement of muscle-tendon unit  
by counter-movement: variability and trainability

2011年1月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科  
平山 邦明  
Kuniaki, Hirayama

研究指導教員： 川上 泰雄 教授

## 研究の背景および目的

主動作に先行する反対方向への動きを反動動作という。スポーツや日常の身体運動においては、反動動作が頻用される。反動動作を伴う運動では、反動動作を伴わない運動に比べ、より高い運動パフォーマンスが発揮されることが広く知られている。反動動作を伴う運動においては、筋腱複合体 (muscle-tendon unit: MTU) は一度伸長した後に素早く短縮し (stretch-shortening cycle: SSC)、この間、筋線維は大きな長さ変化を示さず、腱が伸長一短縮する (筋腱相互作用)。SSC において MTU は、事前の伸長を伴わずに短縮のみを行う場合よりも大きな機械的仕事や力積を生み出すが可能となる (反動効果)。身体運動は、筋腱複合体が引き起こす関節運動によって生み出されることから、MTU における反動効果が、反動動作による運動パフォーマンス向上効果のメカニズムの一端を担っていると考えられている。

反動効果の大きさには個人差があり、また、練習やトレーニングによって個人内においても変化し得るものである。これまでの研究では、反動効果の個人差や個人内での変化の要因について、筋腱複合体の機能特性における個人差やトレーニングによる変化に着目した議論がなされてきた。しかし、反動効果の個人差や個人内での変化に直接関わるのは SSC 中の筋腱動態であり、筋腱動態は MTU の機能特性のみならず、神経筋活動にも影響される。そこで本論文では、筋腱複合体の機能特性と神経筋活動、ならびに SSC 中の筋腱動態に着目して、反動効果の個人差の要因および練習による個人内の変化の機序について検討することを目的とした。

## 研究内容および主な知見

第2章第1節では、足関節を用いた反動を伴うジャンプ (CMJ) と反動を伴わないジャンプ (noCMJ) を行い、反動動作を伴うことによって生じる MTU の機械的仕事量の増加を反動効果として、その個人差の要因を検討することを目的とした。先行研究の結果から予想される個人差の要因として、腱スティフネス、静的最大底屈トルク、跳躍動作中の下腿三頭筋の筋活動を測定した。その結果、腱スティフネスや静的最大底屈トルクといった MTU の特性は反動効果の大きさに関連が認められなかった。一方、CMJ の3つの局面のうち、抜重局面に続くブレーキ局面および底屈局面の筋活動と反動効果の大きさとの間に関連が認められた。

第2章第2節では、第2章第1節の結果から導かれた「筋腱動態が反動効果の個人差に関与している」という仮説を検証することを目的とした。そこで、第1節の測定項目に加えて、超音波法を用いて CMJ および noCMJ 中の腓腹筋内側頭の筋腱動態を定量し、反動効果の個人差との関係を検討した。その結果、反動動作を伴うことによる腱の機械的仕事の増加量と反動効果の間に正の相関関係が認められた。さらに、底屈局面前半の筋束の短縮が少ないほど (筋線維の収縮が等尺性収縮に近いことを意味する) 腱の機械的仕事の増加量が多いことが示された。一方、腱スティフネスはいずれの項目とも有意な相関関係を示さなかつ

た。また、反動効果の個人差はCMJにおけるパフォーマンスの個人差を反映することが確認された。

第3章においては、第2章の結果から導かれた「人間は神経筋活動を通じて筋腱動態を随意的に操作しており、1回の練習セッションであってもCMJの筋腱動態ならびにパフォーマンスが変化する」という仮説を検証することを目的とした。CMJの練習を1セッション（3回×6セット）実施し、その前後のCMJとnoCMJ中の床反力の力積を測定した。また、超音波法を用いてCMJ中の腓腹筋内側頭の筋腱動態を観察した。その結果、noCMJ中の力積には変化がなかったが、CMJ中の力積は練習によって増加していた。また、CMJ中の筋束の伸長および短縮が減少し、腱の長さ変化が増加していた。さらに、ブレーキ局面における下腿三頭筋の筋活動の発現が早まっていた。

## 結論

筋束の長さ変化が小さく、腱がMTUの短縮を担うSSC中の筋腱相互作用が、強調されることによって、より大きな反動効果が得られることが明らかとなった。このとき、筋腱複合体の機能特性（筋の収縮特性や腱の粘弾性）、特に静的トルク発揮を通じて測定される腱の粘弾性の個人差は、反動効果の個人差に影響を与えないことが示された。一方、練習を行うことで反動動作を伴う跳躍のパフォーマンスが改善されることが確認され、その背景には神経筋活動の調節に伴う筋腱動態（筋腱相互作用）の合目的的な変化が関与していることが示唆された。すなわち、人間は、神経筋活動を通じてSSC中の筋腱動態を操作し、筋腱動態を合目的的に調整することによって筋腱複合体が本来有する機能特性を引出し、高い運動パフォーマンスを発揮する能力を有すること、また、練習を通じてこの能力に磨きをかける可能性を有することが示された。