連続ホッピング中の筋-腱動態の変化
Changes in muscle-tendon behavior during repetitive hopping with maximal effort.

1K07A007-3　荒井 良偉
指導教員 主査 川上泰雄 先生　副査 矢内利政 先生

【緒言】 筋-腱相互作用は人間の身体活動においてパワーや仕事の増加、もしくは効率増加に関与する重要なメカニズムである。一方で、それが疲労によっていかなる変化を示すか報告した研究は見当たらない。筋腱複合体(MTU)の機能特性の疲労による変化に伴って、筋-腱相互作用に変化が生じ、このことがパフォーマンスの変化と関連されることが予想される。本研究は、繰り返しの伸張-短縮サイクル(SSC)により筋-腱相互作用がどのように変化していくのかをみていき、スポーツの後半での運動パフォーマンス低下のメカニズムに示唆を与えることを目的とした。

【方法】被験者は陸上長距離選手(LD 群、5 名、年齢 20.3±1.8 歳、身長 173.9±6.0cm、体重 60.6±3.4kg)と運動習慣の無い成人男性(CON 群 5 名、年齢 25.4±3.9 歳、身長 174.2±6.4cm、体重 66.6±7.3kg)であった。レール部分が地面と 30°になるように設定したスレッジ装置のシート部に膝関節より上位の部分を乗るように仰臥位をとらせ、右足関節のみを用いたホッピングで構成した運動課題をおこなわせた。運動課題は最初にホッピング 5 回を 2 セットと疲労課題として 1 分間の連続ホッピングを 5 セット行わせて、その間の足関節角度、腓腹筋内側頭超音波画像、地面反力を計測し、それぞれの値から筋と腱の動きを分析した。各試行で分析を 2 回ずつ行い、2 回の平均値を結果として採用した。また足関節の最大底屈トルク(MVC)とホッピングの底屈時の機械的仕事を求め疲労課題前後での減少の指標とした。

【結果および考察】足関節の機械的仕事は CON 群では、Pre79.5±15.21J、Post46.2±13.6J と 41.9%低下し、LD 群では Pre52.67±7.7J、Post50.2±15.5J と 4.7%低下した。MVC は Con 群で Pre178.5±39.1Nm、Post126.1±43.2Nm と 29.4%低下し、LD 群では Pre136.0±19.5Nm、Post で 124.4±22.7Nm と 8.5%低下した、Con 群で低下率が MVC より機械的仕事が大きかった。MTU 長では Con 群で接地時 Pre362. 18±24.38mm、Post376.62±22.05mm と増加し、伸長 Pre24.44±1.26mm、Post16.76±1.41、短縮 Pre35.20±1.12mm、Post21.18±5.59mm と伸長、短縮共に減少した。Con 群では筋束長が接地時 Pre43.76±2.80mm、Post59.03±11.03mm、切り返し時 Pre40.04±2.00、Post50.27±10.89mm、離地時 Pre35.20±2.02mm、Post59.19±13.77mm と、どの時点でも増加し、伸長が Pre-3.72±2.68mm、Post1.24±2.59mm と増加した。腱長は切り返し時 Pre352.21±25.31mm、Post342.54±25.22mm と減少し、伸長 Pre30.78±3.36mm、Post14.88±3.52mm、短縮 33.94±7.32mm、Post21.18±5.59mm と伸長、短縮共に減少した。一方 LD 群では筋束長の Pre-Post において変化はなかったが、腱長の短縮が減少傾向にあり、MTU 長は短縮が減少した。MTU の発揮張力のみならず MTU の短縮の減少が足関節の機械的仕事の減少の要因のひとつであったと考えられる。CON 群では、筋束の短縮に有意な減少は見られないものの、腱の短縮および先行する伸長に減少が見られたことから、腱の伸長－短縮の減少が MTU の短縮を減少させ機械的仕事の減少につながったと考えることができる。つまり、筋の発揮張力の減少は、MTU の張力だけでなく MTU 短縮も減少させるため、機械的仕事の減少に対し大きな影響を与える可能性がある。

なお、本研究では連続したホッピングを用いた。そのため、各跳躍はその一つ前の跳躍高の影響を受ける。CON 群では、跳躍高の低下に伴い、接地時の MTU 長が長く(足関節が背屈位)なった。これによって、接地時の筋束長が長くなり、サルコメア長が力－長さ関係の下降脚に至り力発揮に不利な状態になったことも(川上,2003)、パフォーマンスの低下につながった可能性がある。一方で、LD 群においては跳躍パフォーマンスや筋腱動態に有意な変化が見られなかった。こういった違いは、LD 群において MVC が低下していなかったためだと考えられる。両群いずれにおいても、ホッピング中の下腿三頭筋各筋の筋電図平均振幅は低下しているもののその低下率は Con 群-22±16%、LD 群-25±15%と両群に大きな差はなかった(志水, 2008)。このことから、中枢性の疲労よりもく、筋線維における末梢性疲労の程度の違いが両群の筋腱動態や跳躍パフォーマンスの違いを生んでいたと解釈することができる。さらにこの背景には、日常のトレーニング状況の違いが反映されていると考えられる。

【結論】非運動習慣者では、筋が疲労することにより跳躍中の筋の発揮張力が低下する。それに伴い、筋束長が増加し、腱の伸長―短縮が減少する。それによりうまく筋-腱相互作用が機能せずに発揮される機械的仕事が減少する。しかし、筋持久力が高い長距離運動者はこの程度の運動では筋疲労が軽度であるため、筋腱相互作用や跳躍パフォーマンスに変化が生じない。

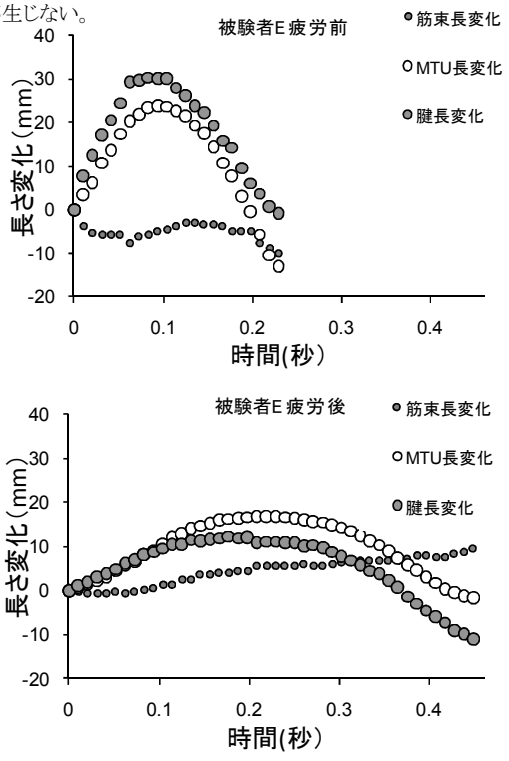

図1筋-腱動態の疲労による変化の典型例