

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 17 日現在

機関番号：35311

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700680

研究課題名(和文) 腓腹筋内側頭は遠位部をモジュレーターとして発揮パワーに応じた弾性特性変化をするか

研究課題名(英文) Region-specific functional role of the neuromuscular compartments of the human medial gastrocnemius muscle

研究代表者

枝松 千尋(EDAMATSU, Chihiro)

倉敷芸術科学大学・生命科学部・准教授

研究者番号：80351948

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では腓腹筋内側頭の近位コンパートメントと遠位コンパートメントの機能的役割を明らかにすることを目的とする。被験者にカーフレイズとホッピングをさせた時の近位と遠位の筋電図を計測した。ホッピングの際の近位の筋活動はカーフレイズの際の筋活動より大きい。逆に、ホッピングの際の遠位の筋活動は、負荷がカーフレイズに対して高いにも拘らずカーフレイズの際の筋活動より小さい。これらのことは、遠位は相動的な筋収縮によって足関節のダイナミックな可動に働く部位、近位は緊張的な筋収縮によって膝関節のパワーを遠位やアキレス腱に伝達する部位と機能を分割していることを示唆している。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify the functional roles of the proximal and the distal neuromuscular compartments of the human MG.

Each subject performed calf-raise and hopping exercises while their EMG activity was measured. EMG activities were recorded from the proximal and distal portions of the MG.

The muscle activity of the proximal compartment during hopping was greater than that during calf raises. However, the load during hopping was greater than that during calf raises, but the muscle activity of the distal compartment during hopping was less than that during calf raises. These results suggested that the distal compartment functions in dynamically moving only in ankle plantar flexion by phasic contraction, and the proximal compartment functions by transmitting the power to the distal compartment and the Achilles tendon from the knee joint by tonic contraction.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：コンパートメント 腓腹筋内側頭 発揮パワー 弾性特性

1. 研究開始当初の背景

一般的に、爆発的なパワー発揮をする躍動感のあるアスリートに対してバネがあるという。ヒトの爆発的なパワー発揮のメカニズムを明らかにすることはスポーツ科学分野の重要なテーマの一つである。近年の超音波エコーを用いた実験によってバネの正体が明らかとなってきた (kurokawa et al, 2003, kawakami et al, 2006, ishikawa et al, 2008, 枝松ら2010)。筋線維が発揮した仕事を腱組織に弾性エネルギーとして貯蔵し、一気に放出することで爆発的なパワー発揮を実現している。一方、二関節筋の役割も爆発的なパワー発揮には欠かせないことが、ロボット工学分野のシミュレーションやモデル実験を用いた研究から明らかとなりつつある (pandy et al, 1991, 大島ら2005)。短距離疾走中の下肢3関節の発揮トルクは、膝関節よりも足関節が大きい (阿江2002, 2011, 枝松2011)。このことは二関節筋の存在から考えると、大きなPCSAを持つ大腿四頭筋の伸展力を、腓腹筋を経由して足関節の伸展力へ伝達しているためであると考えられる。

腓腹筋内側頭 (以下, MG) は神経枝が筋に入り込む際に二つに分かれ, MGの近位部・遠位部をそれぞれ支配している。また, MGの近位部は羽状角が大きく, 遠位部は羽状角が小さい (kawakami et al, 2000)。一方, MGの遠位部と近位部では生化学的特徴が異なる (DeRuijter et al, 1995, 1996, 鈴木ら2003, 2007)。

以上, MGの神経支配や形態的特徴および生化学的特徴の違いから, 同一筋でも部位によって役割は異なると思われる。つまり, MG近位部は羽状角が大きいため, PCSAが大きく, 強い力を出すことに適しているとともに, そこからアキレス腱の踵骨附着部までの腱組織長を長くすることができる。そのためホッピングにおいてMG遠位部の筋活動を低下させ, MG遠位部を腱組織として利用している可能性が考えられる。さらに, 二関節筋機能の点からも, MG近位部が大きな筋力発揮によって緊張的に筋線維の長さを変えないことで膝関節の伸展力・伸展量を伝達し, その伝達された仕事量をMG遠位部の腱組織に弾性エネルギーとして貯蔵し効率的に利用している可能性が考えられる。

以上のことから, MG遠位部は筋活動によって弾性特性を変化させて運動課題に最適なMG弾性特性になるように調節しているのではないかという着想に至った。

2. 研究の目的

ヒトの爆発的なパワー発揮のメカニズムを探ることを大目標とし, 本研究では表面筋電図法と超音波エコー装置を用いて, 発揮パワーを変化させた時のMG近位部と遠位部の筋活動および筋腱複合体動態を計測し,

MG遠位部がMG弾性特性のモジュレーターとしての機能を有しているかに焦点を絞って検討することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 被験者

被験者は, 健康な成人男性 11 名 (年齢 21.5 ± 1.2 歳, 身長 175.3 ± 4.7 cm, 体重 66.7 ± 4.7 kg) であった。全ての被験者に対して, 事前に実験の目的と方法を説明した上で実験参加の同意を得た。本研究は, 倉敷芸術科学大学倫理委員会の承認を受け実施した (承認番号 12-09)。

(2) 計測方法

マルチテレメーターシステム (WEB5000, 日本光電) を用い, 身体右側の関節角度と筋活動を計測した。ゴニオメーター (TM-511G, 日本光電) を用いて膝関節角度と足関節角度を計測した。筋活動はアクティブ電極 (NM-512G, 日本光電) を用いて, 表面電極導出法によりMG近位部 (MGprox), MG遠位部 (MGdist), ヒラメ筋 (Sol), 前脛骨筋 (TA) の4か所の筋活動を導出した。MGproxの電極貼付部位はMGの近位30%付近とした。MGは近位から遠位に向かうと羽状角が小さくなるとともに, ある地点から筋厚が急激に減少し, 筋腱移行部に至る (kawakami)。MGdistの電極貼付部位は, 筋厚が減少する地点より近位で浅層筋膜が深層筋膜との並行性を維持している部位とした。Solの電極貼付部位は, MGとLGの境界最遠位部 (筋腱移行部) から遠位に5cmの部位とした。TAの電極貼付部位は筋腹中央とした。同時にフォースプレート (Type 9286A, Kistler) を用いて, 床反力 (GRF: Ground Reaction Force) を計測した。筋電計, ゴニオメーターおよびGRFの信号はAD変換器 (Power-Lab 16SP, ADInstruments) を介して1kHzにてPCに取り込んだ。

(3) 解析方法

筋放電量は, 全波整流した後に安定した15周期分の動作を対象として, 1周期ごとの筋活動時のRMS値を求め, その平均値をデータとして用いた。MVC時の筋放電量に対する各条件の筋放電量の割合を算出し, %MVCで示した。

(4) 実験条件

実験1

被験者に, カーフレイズ (CR条件) とホッピング (Hop条件) を行わせた。両条件ともにメトロノームを用いて100bpmのリズムで25周期を行わせた。CR条件については足関節の可動範囲全体を使うよう指示した。Hop条件については接地時間ではなく滞空時間 (跳躍高) によってタイミングを調節するように指示した。CR条件とHop条件の順序は, 被験者によってランダムに行わせた。実験に先立ち十分な練習を行わせ, 条件間には十分な休息を取らせた。

実験2

被験者に、メトロノームを用いて 220bpm・180bpm・140bpm・100bpm のホッピングを行わせた。接地時間ではなく滞空時間（跳躍高）によってタイミングを調節するように指示した。条件の順序は、被験者によってランダムに行わせた。実験に先立ち十分な練習を行わせ、条件間には十分な休息を取らせた。

実験 3

被験者に、傾斜角度可変型スレッジを用いて傾斜角度 20 度と 40 度にてホッピングを行わせた。その際のホッピング周期はメトロノームを用いて 100bpm に設定した。被験者には接地時間ではなく滞空時間（跳躍高）によってタイミングを調節するように指示した。条件の順序は、傾斜角度 40 度から 20 度の順で行った。実験に先立ち十分な練習を行わせ、条件間には十分な休息を取らせた。

4. 研究成果

(1) 実験 1

Hop 条件では床反力や関節角速度が大きく、大きなパワー発揮が必要であるため MGprox や Sol の筋活動が有意に高値を示したと考えられた。しかし、CR 条件よりも大きなパワー発揮が求められる Hop 条件において MGdist の筋活動は有意に低値を示した。ラット MG を用いた組織化学的研究において、近位部は type 線維だけでなく type 線維を含み SDH 活性も高いこと、遠位部はほぼ type 線維で構成されていることが先行研究によって報告され、このことから近位部は緊張的・持続的な収縮を、遠位部は相同的な収縮を担っていると考えられる。さらに、形態的特徴から考えるとヒト MGdist の羽状角は小さい。筋線維の収縮による長軸方向への力および長さ変化については、羽状角が小さい方が余弦成分を大きくすることができ有利である。つまり、カーフレイズのような足関節のみを大きく動かす運動様式に対して MGdist を特異的に活動させることが合目的であると考えられる。本研究の知見は、ヒト MG において部位により機能的役割が異なることを示唆し、カーフレイズの際に MGdist の筋活動が特異的に高まることを mfMRI によって明らかにした Kinugasa らの報告を支持するものである。

しかしながら、カーフレイズにおいて MGdist が重要な働きをするとしても、カーフレイズに対して圧倒的に大きなパワー発揮が要求されるホッピングにおいて MGdist の筋活動が低下する意味はなんだろうか。先行研究から MG は二関節筋として大腿四頭筋の大きなパワーを足関節に伝達していると考えられる。さらに、近年の超音波エコーを用いた実験によって筋線維が発揮した仕事を腱組織に弾性エネルギーとして貯蔵し、一気に放出することで爆発的なパワー発揮を実現していることが明らかとなりつつある。これらのことから、大きなパワー発揮が要求されるホッピングにおいて、膝の伸展動作に

伴う大腿四頭筋の大きなパワーを MGprox の緊張的な収縮によって遠位に伝え、腱組織と共に MGdist を弾性要素として利用している可能性が示唆された。

(2) 実験 2

実験 1 において、カーフレイズに対して、ホッピングでは MGdist の筋活動が低下することが明らかになった。そこで、実験 2 では MGdist は筋活動を低下させることで MG の弾性特性を最適値へと調整している可能性を検証した。具体的には、ホッピングにおける発揮パワーの違いが MGdist の筋活動に及ぼす影響を明らかにすることとした。発揮パワーをホッピングにおける跳躍周期（跳躍高）で規定し、跳躍周期を 220bpm, 180bpm, 140bpm, 100bpm に設定して実験を行なった。

その結果、発揮パワーの違いによる MGdist の筋活動量に有意な変化はみられなかった。個人ごとでみると結果にばらつきがあり、11 人中 3 人が hop220 に対して単調に %MVC が増大し、11 人中 6 人が hop220 に対して %MVC が下がる傾向であった。つまり仮説通りの被験者と正反対の被験者が存在した。このことから MGprox, Sol に比べて MGdist の使用方法には個人差が大きいことが明らかとなった。今回の実験では、同一筋内の特定の部位がその筋の弾性特性を制御している可能性を示唆するには至らなかった。

(3) 実験 3

実験 2 では跳躍周期を変化させることで負荷設定を行い、発揮パワーの違いが MGdist の筋活動に及ぼす影響について調べた。しかし、被験者の筋活動の変化にはばらつきがあり、仮説通りの被験者と正反対の被験者が存在した。その原因として、跳躍高によって発揮パワーを設定する方法では、跳躍周期が異なり、その結果としてデータがばらつく可能性が考えられた。そこで実験 3 では、ホッピングの発揮パワーを傾斜角度変化で規定し、角度を 20°（低パワー）、40°（高パワー）に設定して実験を行った。我々は先行研究において RDJ の接地直後から 50msec 以内の腱の伸張量が多いと RDJ index が高値を示すことを報告した。このことから跳躍の接地前半の筋活動が重要であると言える。実験 3 の結果としては、接地後 50msec 期間の MGdist 筋活動量は個人によってばらつきがあり、一定の見解を得るにはいたらなかった。個人で見ると傾斜角度 20° に対して傾斜角度 40° において筋活動が減少する仮説通りの被験者は存在したが、仮説とは反対の被験者も存在した。このことから先行研究と同等に MGprox, Sol に比べ MGdist の使用方法には個人差が大きいことが明らかとなった。実験 3 においても、同一筋内の特定の部位がその筋の弾性特性を制御している可能性を示唆するには至らなかった。

今後は、電極と神経筋接合部との位置関係、筋線維走行方向と電極との位置関係といった非生理的要因の影響をできるだけ排除

した評価を行う必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 件)

〔学会発表〕(計 6 件)

枝松千尋, 楠本一樹, 藤本成実, 本田沙織, 神田明典, 山野力, 川上雅之. 腱組織の存在が運動制御に及ぼす影響 第 2 報 ~ 解析法の問題点を改善して ~. 第 69 回日本体力医学会大会. 2014/9/19, 長崎大学 (長崎)

C. Edamatsu, K. Kusumoto, N. Fujimoto, A. Kanda, H. Yamaguchi, T. Iida, C. Yamano, T. Takahara, M. Kawakami. Region-specific functional role of the neuromuscular compartments of the human medial gastrocnemius muscle. 61st Annual Meeting of American College of Sports Medicine. 2014/5/29, Orlando (USA)

枝松千尋, 楠本一樹, 藤本成実, 本田沙織, 神田明典, 山野力, 川上雅之. 腱組織の存在が運動制御に及ぼす影響. 第 68 回日本体力医学会大会. 2013/9/21, 日本教育会館 (東京)

C. Edamatsu, K. Kusumoto, H. Yamaguchi, T. Iida, C. Yamano, M. Kawakami. Importance of tendinous tissue lengthening during the initial phase of explosive power exertion. 18th Annual congress of European College of Sports Science. 2013/6/28, Barcelona (Spain)

枝松千尋, 山野力, 楠本一樹, 小松原達也, 飯田智行, 山口英峰, 川上雅之. 発揮パワーの違いが腓腹筋内側頭遠位コンパートメントの筋活動に及ぼす影響. 第 67 回日本体力医学会大会. 2012/9/15, 岐阜都ホテル (岐阜)

枝松千尋, 楠本一樹, 飯田智行, 宮川健. 腓腹筋内側頭コンパートメントの役割 ~ 二関節筋としてのパワー伝達を効率化する仕組み ~. 第 22 回日本バイオメカニクス学会大会. 2012/9/11, 北翔大学 (北海道)

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :

種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況 (計 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

枝松 千尋 (EDAMATSU, Chihiro)
倉敷芸術科学大学・生命科学部・准教授
研究者番号 : 80351948

(2) 研究分担者

()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

()

研究者番号 :