

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年6月12日現在

機関番号：32520

研究種目：若手研究（B）

研究期間：平成23年度～平成24年度

課題番号：23700736

研究課題名（和文）

筋腱動態からみた筋疲労に対する協働筋の機能的役割：様々な負荷強度での検討

研究課題名（英文）

Fascicle-tendon behavior of synergistic muscles during muscle fatigue

研究代表者

光川 眞壽（東洋学園大学・人文学部・専任講師）

研究者番号：60583408

研究成果の概要（和文）：

本研究は、筋疲労を伴う持続的な関節トルク発揮において協働筋が発揮トルクを維持する方略を、発揮トルクレベルごとに明らかにすることを目的とした。低強度課題においては、協働筋各筋が交互に断続的な活動を行う（活動交替）ことで発揮トルクを維持する方略が観察された。一方、中強度課題では、一部の筋が比較的高い活動水準を維持しつつ、開始初期に低い筋活動水準を示した他の筋が活動水準を高めることによって発揮トルクを維持することが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

The present study aimed to investigate the strategies for sustaining joint torque exertion during fatiguing isometric contractions from a view point of synergistic muscle activities. In Low task, the synergist muscles contracted alternately through the task to sustain the given torque level. In Middle task, on the other hand, all three synergist muscles kept contracting from the beginning of task, with the activation level of one or two muscles increasing with time. These results indicate that the strategy for keeping joint torque during fatiguing-task differs between the joint torque exertion levels.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：トレーニング科学

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：協働筋、筋疲労、筋腱動態

1. 研究開始当初の背景

従来、協働筋の筋疲労に関する研究は、各筋の筋電図活動を観察することで検討されてきた（Ochsら、1977）。しかし、筋電図活動は神経-筋系に生じる電気的な信号を捉えたものであるため、力学的な指標、すなわち筋張力の変化を評価することは困難であった（Kouzakiら、1999）。一方、Bモード超音波法によって観察される筋線維および腱組織の長さ変化（筋腱動態）は、協働筋各筋の張力と関連した動態を示すことが確認されている（Kawakamiら、1998）。したがっ

て、筋疲労時の協働筋各筋の筋腱動態を観察することによって、協働筋各筋の張力変化を検討できると考えた。これまでに、最大下負荷強度での疲労課題を対象に、協働筋各筋の筋腱動態を明らかにした報告はなく、筋疲労に対して、協働筋各筋の神経活動と発揮張力がどのような関係にあるのか、また、どのような方略によって筋力を維持しているのかについては明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、異なる最大下負荷強度によって生じる筋疲労時の協働筋の筋腱動態の観察から、協働筋各筋の張力変化を定量し、筋疲労に対する協働筋の方略を明らかにすることにある。

3. 研究の方法

本研究では、最大下努力（最大努力の5%課題：実験Ⅰ、40%課題：実験Ⅱ）での持続的な力発揮課題を対象に、下腿三頭筋（腓腹筋内側頭：MG、腓腹筋外側頭：LG、ヒラメ筋：SOL）の筋腱動態および神経-筋活動を定量した。得られた結果から、疲労課題別に協働筋各筋の筋張力の筋疲労による変化を推定し、筋疲労に対する協働筋の機能的役割について検討した。

(1) 実験Ⅰ 低強度課題：最大努力の5%筋力発揮課題

①被験者は健康な成人男性8名であった。

②実験手順

MGおよびSOLに表面筋電図（日本光電社製）用の電極を貼付し、両筋の筋腱が撮像できる位置に超音波プローブ（SSD-6500, Aloka社製）を貼付した。

筋力計（VINE社製）を用いて、被験者の足関節底屈動作の等尺性随意最大筋力を測定した。測定姿勢は座位とし、膝関節完全伸展位、足関節は解剖学的正位とした。はじめに、5秒間かけてランプ状に安静時から最大努力まで力を発揮し（ランプ施行）、力と筋腱動態の関係を記録した。次に、最大筋力の5%強度の足関節底屈筋力を1時間維持する疲労課題を行った。疲労課題中の表面筋電図および筋腱動態を記録し、課題終了後、ランプ施行を実施した後、最大筋力を測定した。

③データ処理および検討項目

疲労課題中にMGが主に活動している区間（MG活動区間）、SOLが主に活動している区間（SOL活動区間）に区分けした。各区間の筋電図および筋腱動態を分析対象とし、表面筋電図は全波整流した後、振幅の平均値を筋ごとに算出する。筋腱動態は、抽出した画像を画像解析ソフト（Image J, NIH）を用いて、筋束長を計測した。MG活動区間およびSOL活動区間の各筋の筋電図および筋束長を比較検討した。

(2) 実験Ⅱ 中強度課題：最大努力の40%筋力発揮課題

①被験者は健康な成人男性12名であった。

②実験手順

MG、SOLおよびLGに表面筋電図用の電極を貼付し、各筋の筋腱が撮像できる位置に超音波プローブを貼付した。

筋力計（VINE社製）を用いて、被験者の足関節底屈動作の等尺性随意最大筋力を測定した。測定姿勢は実験Ⅰと同様とした。はじめに、5秒間かけてランプ状に安静時から最大努力まで力を発揮し（ランプ施行）、力と筋腱動態の関係を記録した。次に、最大筋力の40%をできる限り維持する疲労課題を行った。疲労課題中の表面筋電図および筋腱動態を記録した。課題終了後、ランプ施行を実施した後、最大筋力を測定した。

次に、5秒間かけてランプ状に安静時から最大努力まで力を発揮し（ランプ施行）、力と筋腱動態の関係を記録した。次に、最大筋力の40%をできる限り維持する疲労課題を行った。疲労課題中の表面筋電図および筋腱動態を記録した。課題終了後、ランプ施行を実施した後、最大筋力を測定した。

③データ処理および検討項目

疲労課題を実施できた時間を100%として、20%ごとに区分けした。各区間の筋電図および筋腱動態を分析対象とし、表面筋電図は全波整流した後、振幅の平均値を筋ごとに算出した。筋腱動態は、抽出した画像を画像解析ソフト（Image J, NIH）を用いて、筋腱移行部の長軸方向の移動距離を算出した。この長軸方向の移動距離を各筋が張力発揮した際に生じる腱組織の伸張（腱伸長）として、初期に生じた腱伸長を0として近位方向への長さ変化を正の変化として定量した。各筋の筋電図および筋腱動態の経時変化をプロットし、0%時間からの変化を比較検討した。

4. 研究成果

(1) 実験Ⅰ

実験Ⅰで得られた主な結果は、1) 疲労課題後半で、MGが主に活動しSOLはほぼ活動していない区間（MG活動区間）、SOLが主に活動し、MGがほぼ活動していない区間（SOL活動区間）が観察されたこと、2) 筋電図振幅の増減に応じて筋束が短縮したことであった（図1）。

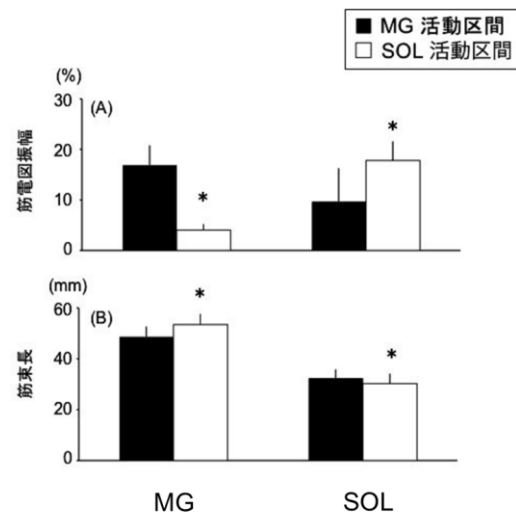


図1. MG活動区間およびSOL活動区間の筋電図振幅値と筋束長：*統計的に有意差あり、 $p < 0.05$

これらの結果は、ごく低強度の筋力発揮によって生じた筋疲労に対して、協働筋すべてを活動させるのではなく、どれか一つを活動させ、もう一つは活動を休止し、ある程度の時間経過に伴い活動と休止する筋を交替させるという、協働筋間で相補的な働きをする

機能を有していることを示していると考えられる。

(2) 実験Ⅱ

実験Ⅱで得られた主な結果は、40%MVCの足関節底屈トルクに対する各筋の腱伸長は一定に保たれていた(図2)。一方、LGおよびSOLの筋電図振幅が時間経過にともない有意に増加した(図2)。また、40%MVC課題開始時の相対的な振幅が最も低い筋がLGおよびSOLである被検者が12名中11名おり、相対的な振幅が低い筋の筋電図振幅値が、時間経過に伴う振幅の増加率が高かった。

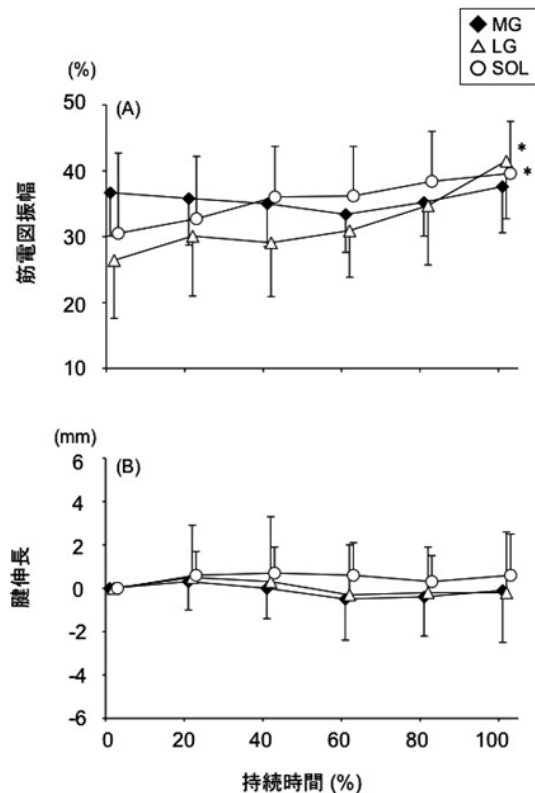


図2. 40%MVC筋力発揮持続中のMG、LG、SOLの筋電図振幅値および腱伸長：* 統計的な有意差あり、 $p < 0.05$ 、初期値との比較

筋電図の結果から、中強度の筋力発揮に伴う筋疲労が生じた場合、初期に筋活動が低かった筋の筋活動を増加させることによって、一定の筋張力を保とうとすることが明らかとなった。一方、筋腱動態の結果から、常にすべての筋の発揮する張力が一定であったと考えられる。しかし、一つの筋の発揮張力変化によって隣り合う筋の腱伸長が影響されるとした場合、疲労した筋の張力低下を疲労していない筋が補うような張力発揮をしていた可能性もある。この点については、更なる検討が必要であるといえる。

以上の2つの実験から、発揮筋力レベルが異なる運動によって生じた疲労に対して、協

働筋の神経活動および張力の制御が変化することが明らかとなった。つまり、低強度の場合は、張力発揮を協働筋間で交替しながら行い、中強度の場合、活動の低い筋を優先的に活動させて張力を一定に保つことが明らかとなった。

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4件)

Abe T, Mitsukawa N, Thiebaud RS, Loenneke JP, Loftin M, Ogawa M. Lower body site-specific sarcopenia and accelerometer-determined moderate and vigorous physical activity: the HIREGASAKI study. Aging clinical and experimental research 24: 657-662, 2012. 査読有

Abe T, Ogawa M, Loenneke JP, Thiebaud RS, Loftin M, Mitsukawa N. Relationship between site-specific loss of thigh muscle and gait performance in women: The HIREGASAKI study. Archives of gerontology and geriatrics 55: e21-25, 2012. 査読有

Ogawa M, Mitsukawa N, Bemben MG, Abe T. Ultrasound Assessment of Adductor Muscle Size Using Muscle Thickness of the Thigh. Journal of sport rehabilitation 21: 244-248, 2012. 査読有

Ogawa M, Mitsukawa N, Loftin M, Abe T. Association of vigorous physical activity with age-related, site-specific loss of thigh muscle in women: the HIREGASAKI study. Journal of Trainology 1: 6-9, 2012. 査読有

[学会発表] (計4件)

Mitsukawa N, Ogawa M, Loftin M, Abe T. Accelerometer-determined physical activity and lower body muscle distribution in Japanese women. 59th Annual meeting of American College of Sports Medicine. May 29- June 2, 2012. San Francisco, California, USA.

Ogawa M, Mitsukawa N, Loftin M, Abe T. Effect of age-related site-specific sarcopenia on gait velocity and functional ability. 59th Annual meeting of American College of Sports Medicine. May 29- June 2, 2012. San Francisco, California, USA.

Abe T, Ogawa M, Mitsukawa N, Loftin M.
Age-related site-specific thigh muscle
loss is associated with amount of vigorous
physical activity. 3th World congress of
Exercise is Medicine. May 29- June 2, 2012.
San Francisco, California, USA.

[その他]

ホームページ等

Journal of Trainology (URL :
<http://trainology.org/>)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

光川 眞壽 (MITSUKAWA NAOTOSHI) 東洋学園
大学・人文学部・専任講師

研究者番号 : 60583408

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号 :

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号 :