

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 4月17日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300217

研究課題名（和文） 筋肉痛の発生機序と部位特異性：筋肉痛を抑えながら筋力増強効果を高めるトレーニング

研究課題名（英文） Pathogenesis and site specificity of delayed onset muscle soreness: toward training modality effective for strength gain while minimizing muscle soreness

研究代表者

川上 泰雄（KAWAKAMI YASUO）

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：60234027

研究成果の概要（和文）：

本研究は、2つの動作速度でカーフレイズ運動を行い、筋疲労の程度と遅発性筋肉痛（DOMS）および筋損傷マーカーの量の変化、筋の機能変化の関係について、運動前後および運動後7日間にわたって調査した。その結果、①筋疲労の程度は動作速度によって異なり、速い動作ほど疲労が少ないこと、②筋疲労の程度と遅発性筋肉痛・筋損傷マーカーの量が関係し、これには筋特異性が存在するが、筋疲労の程度によらず筋の機能は速やかに回復すること、③運動中の筋線維動態はこれらの変化と連動して変化することが示された。

研究成果の概要（英文）：

This study investigated the relationships between the degree of muscle fatigue and changes in the delayed onset muscle soreness (DOMS), biochemical markers of muscle damage and joint performance, induced by calf-raise exercises at two different frequencies. The results suggest that 1) muscle fatigue is less by the faster exercise, 2) the degree of DOMS and the amount of muscle damage markers are related with the degree of muscle fatigue and muscle-specific, but joint performance rapidly recovers after fatigue regardless of soreness or retained biochemical changes, and that 3) fascicle and tendon behavior during exercise is altered in relation to the observed changes.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
23年度	3,900,000	1,170,000	5,070,000
22年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
21年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
年度			
年度			
総計	13,600,000	4,080,000	17,680,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学、教育生理学

キーワード：骨格筋、筋痛、筋損傷、生体計測、収縮様式、筋腱動態

## 1. 研究開始当初の背景

不慣れな運動や強度の高い運動を行った際、通常1～2日後に筋肉痛（遅発性筋肉痛）

を生じることがある。遅発性筋肉痛は運動の遂行を困難にし、場合によっては一定期間の身体活動の休止が必要となる。この間、身体

活動の休止あるいは減弱を余儀なくされる。中高齢者の場合、筋肉痛や肉離れによって日常生活での運動水準が低下し、ひいては QOL 低下の一因となる可能性がある。また、発育期においては軟組織傷害が多くみられ、子供にとっても運動中の過度の筋損傷を防ぐための工夫が必要となる。よって、筋損傷を最小限に抑えながら、筋の力発揮特性や腱組織の粘弾性特性に最も効果的な運動の方法やトレーニング方法を開発することが急務である。

## 2. 研究の目的

本研究では、人間生体について、①筋損傷を伴う運動中の筋線維動態と筋内の応力-ひずみ分布の定量、②筋内ストレスおよび炎症反応と筋損傷の関連性の検討、③筋損傷に伴う筋の力発揮の特性の変化の追跡、④レジスタンストレーニングが筋損傷の軽減に及ぼす効果の 4 点を明らかにすることとした。

## 3. 研究の方法

健康成人男性の下腿三頭筋を被験筋とした。被験者は、足関節の可動域を規定したカーフレイズ運動を自体重の半分の負荷で 2 つの動作速度 (0.5Hz : 低速試行、1.5Hz : 高速試行) で 400 回行った。カーフレイズ運動中の腓腹筋とヒラメ筋の筋束動態を、B モード超音波装置を用いて撮像し、両筋の筋線維長と羽状角を計測し、筋線維と腱組織の動態を計測した。また、カーフレイズ運動前後および運動後 1, 2, 3, 4, 7 日に、最大等尺性足関節底屈トルク (最大筋力)、電気刺激による誘発トルク、等速性足関節底屈トルク、筋痛の程度の計測 (ビジュアルアナログスケール)、採血・採尿を行った。運動後 1~7 日の各項目はほぼ同一時間に計測を実施した。なお、低速試行と高速試行の間は最低 4 ヶ月間の期間を設け、前回の運動の影響が出ないように心掛けた。

## 4. 研究成果

### ・足関節底屈トルク

等尺性足関節底屈最大トルクは、運動直後のみ有意に低下したものの、運動後 1 日で元の水準に戻った。運動後の最大筋力は低速 (38%) および高速試行 (22%) と共に有意に低下しており、筋疲労が確認された。低速試行の筋力の低下が高速試行のそれより大きかったため、筋疲労の程度は、低速試行が高速試行より大きかった。両動作速度とも、中枢神経系の疲労はみられなかったことを確認した。等速性および電気刺激による誘発トルクは運動直後におおむね低下する傾向にあったが、動作速度間で顕著な差は認められなかった。このことから、筋の力発揮能力の変化は等尺性や等速性といった力発揮様

式によって異なることが明らかとなった。

### ・遅発性筋肉痛の程度

下腿三頭筋の中でも、腓腹筋内側頭は腓腹筋外側頭やヒラメ筋と比較して顕著な遅発性筋痛がみられた。また、同一筋においても動作速度によって遅発性筋痛の程度の変化が異なり、低速試行の変化が高速試行の変化より大きかった。このことから、遅発性筋肉痛の部位特異性と速度依存性が確認された。

### ・血液中の筋損傷マーカー

筋損傷マーカーの量の変化は動作速度間で異なる変化を示し、低速試行ではクレアチンキナーゼ、ミオグロビン、アルドラーゼが 24 時間後から上昇し、96 時間後にピークがみられた。一方、高速試行では上記マーカーに変化は認められなかった。よって、高速試行より低速試行での筋損傷が大きかったことが示された。

### ・カーフレイズ運動中の腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋線維動態

1 セット目と最終セット目の筋線維長を比較すると、低速試行では両筋ともに長くなったが、高速試行では腓腹筋内側頭のみ長くなり、ヒラメ筋には特に変化は認められなかった。筋線維の長さ変化においては低速試行で最終セット目に両筋ともに減少したものの、高速試行ではいずれの筋も変わらなかった。筋活動においては低速試行では腓腹筋内側頭およびヒラメ筋が最終セット目で有意に増加した。このことから、筋疲労の程度が大きくなると筋活動を増加させながら、力-長さ-速度関係上、力発揮に有利な方にシフトする可能性が示された。このシフトは、筋疲労の程度によって筋ごとに異なることが明らかになった。カーフレイズ運動中の筋腱動態は、低速試行では筋線維が伸縮し、高速試行では腱組織が伸縮していることが確認され、筋腱動態は動作速度に依存して異なっていた。この結果は先行研究を支持するものである。すなわち、高速試行では筋は力-速度関係上より大きな力を発揮できるようになり、腱組織の伸び縮みによって速度を高めることで、低速試行より高いパワーを得ることで低速試行より効率的に運動していたため、筋疲労の程度が軽くなったと推察された。

以上のことから、本研究においては目的の①~③について明らかにすることができ、筋疲労の程度、遅発性筋肉痛や筋損傷の程度には速度依存性および負荷依存性があることが示唆された。また、筋疲労の程度に関連して遅発性筋肉痛や筋損傷の程度が高まるが、最大筋力が 40%程低下する運動では、1 日後の発揮筋力が運動前と同程度であったこと

から、筋機能はすぐに回復し日常生活を支障なく送れるよう回復することが示唆された。

#### 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 12 件; 全て査読有)

1. Sakuma, J., Kanehisa, H., Yanai, T., Fukunaga, T., Kawakami, Y. Fascicle-tendon behavior of the gastrocnemius and soleus muscles during ankle bending exercise at different movement frequencies. *Eur J Appl Physiol*, 112: 887-898, 2012.
2. Hirayama, K., Yanai, T., Kanehisa, H., Fukunaga, T., Kawakami, Y. Neural modulation of muscle-tendon control strategy after a single practice session. *Med Sci Sports Exerc*, 2012 (in press).
3. Iwanuma, S., Akagi R., Kurihara, T., Ikegawa S., Kanehisa, H., Fukunaga, T., Kawakami, Y. Longitudinal and transverse deformation of human Achilles tendon induced by isometric plantar flexion at different intensities. *J Appl Physiol*, 110: 1615-1621, 2011.
4. 佐久間淳, 栗原俊之, 矢内利政, 金久博昭, 福永哲夫, 川上泰雄. カーフレイズ運動中の腓腹筋およびヒラメ筋の筋腱動態の動作負荷依存性. *東京体育学研究*, 2: 5-12, 2011.
5. 平山邦明, 杉崎範英, 加藤えみか, 金久博昭, 福永哲夫, 川上泰雄. 腱ステイフネス, 筋力および筋活動が反動動作による機械的仕事量増強の個人差に与える影響, *体育学研究*, 55: 33-43, 2010.
6. Mitsukawa, N., Sugisaki, N., Miyamoto, N., Yanai, T., Kanehisa, H., Fukunaga, T., Kawakami, Y. Fatigue-induced changes in synergistic muscle force do not match tendon elongation. *J Biomech*, 43: 1632-1634, 2010.
7. Mitsukawa, N., Sugisaki, N., Kanehisa, H., Fukunaga, T., Kawakami, Y. Fatigue-related changes in fascicle-tendon geometry over repeated contractions: difference between synergist muscles. *Muscle Nerve*, 40: 395-401, 2009.
8. Lee, H.D., Kim, S.-J., Lee, D.-Y., Kurihara, T., Lee, Y.-S., Kawakami, Y. Shift in optimal joint angle of the ankle dorsiflexors following eccentric exercise. *Exp. Mechanics*, 50: 661-666, 2010.
9. Chino, K., Mitsukawa, N., Kobayashi, K., Miyoshi, Y., Oda, T., Kanehisa, H., Fukunaga, T., Fukashiro, S., Kawakami, Y. The influence of fascicle behavior on the lack of velocity dependence in eccentric joint torque in humans: in vivo observation. *J Appl Biomech*, 25: 111-118, 2009.
10. Miyamoto, N., Fukunaga, T., Kawakami, Y. Evidence for intermuscle difference in postactivation potentiation in the human triceps surae: a mechanomyographic study. *Muscle Nerve*, 2009, 査読有
11. Wakahara, T., Kanehisa, H., Kawakami, Y., Fukunaga, T. Effects of knee joint angle on the fascicle behavior of the gastrocnemius muscle during eccentric plantar flexions. *J Electromyogr Kinesiol*, 19: 980-987, 2009.
12. 佐久間淳, 栗原俊之, 矢内利政, 金久博昭, 川上泰雄. 筋疲労を伴う動的足関節底屈運動中の下腿三頭筋の筋腱動態の変化. *スポーツ科学研究*, 6: 97-110, 2009.

[学会発表] (計 7 件)

1. Kanda, K., Sugama K., Hayashida, H., Sakuma, J., Kawakami, Y., Suzuki, K. Eccentric exercise-induced delayed-onset muscle soreness and changes in markers of muscle damage and inflammation. 11th International Symposium on Human & Sports Science (Daegu, KOREA), 2011.
2. 佐久間淳, 栗原俊之, 金久博昭, 矢内利政, 福永哲夫, 川上泰雄. 筋疲労による腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態の変化に及ぼす動作速度の影響. 日本バイオメカニクス学会 (東京), 2010.
3. Sakuma, J., Kurihara, T., Kanehisa, H., Yanai, T., Fukunaga, T.,

Kawakami, Y. Influence of resistive load on the gastrocnemius and soleus muscle-tendon behavior during calf-raise exercise at two different frequencies. World Congress of Biomechanics (Singapore), 2010.

4. 佐久間淳, 栗原俊之, 矢内利政, 金久博昭, 福永哲夫, 川上泰雄. 同一動作速度のもとでの異なる動作負荷条件における腓腹筋内側頭およびヒラメ筋の筋腱動態. 東京体育学会(東京), 2010.
5. 栗原俊之, 佐久間淳, 池川繁樹, 金久博昭, 矢内利政, 川上泰雄. 筋疲労がカーフレイズ運動中の足関節動作と筋放電に与える影響. 日本バイオメカニクス学会(東京), 2010.
6. Kurihara, T., Sakuma, J., Fukunaga, T., Kawakami, Y. Passive tension-length relations of human triceps surae muscles after repeated eccentric-concentric exercise. XXII Congress of the International Society of Biomechanics (Cape Town, South Africa), 2009.
7. Kurihara, T., Sakuma, J., Kanehisa, H., Fukunaga, T., Kawakami, Y. The Effect of speed of movement to muscle soreness and dysfunction after exercise. 2009 Workshop on Multi-Scale Muscle Mechanics (Boston, USA), 2009.

[図書] (計1件)

1. Langevin, H., Kawakami, Y. Imaging: Ultrasound. In: Fascia: The Tensional Network of the Human Body. R. Schleip, T. Findley, L. Chaitow and P. A. Huijing (Eds.), London, Elsevier Health Sciences imprint Churchill Livingstone, pp. 483-487, 2012.

[その他]

ホームページ等

<http://www.f.waseda.jp/ykawa/indexj.htm>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

川上 泰雄 (KAWAKAMI YASUO)

早稲田大学スポーツ科学学術院・教授

研究者番号: 60234027

### (2) 研究分担者

宮本直和 (MIYAMOTO NAOKAZU)

早稲田大学スポーツ科学学術院・助教

研究者番号: 20420408

### (3) 連携研究者

栗原俊之 (KURIHARA TOSHIYUKI)

立命館大学スポーツ健康科学部・助手

研究者番号: 10454076

若原卓 (WAKAHARA TAKU)

早稲田大学スポーツ科学学術院・助教

研究者番号: 20508288

岩沼聡一郎 (IWANUMA SOICHIRO)

早稲田大学スポーツ科学学術院・日本学術振

興会特別研究員

佐久間 淳 (SAKUMA JUN)

早稲田大学スポーツ科学学術院・研究員

研究者番号: 80588187

平山邦明 (HIRAYAMA KUNIAKI)

国立スポーツ科学センター・研究員

研究者番号: 20610447

鈴木克彦 (SUZUKI KATSUHIKO)

早稲田大学人間科学学術院

研究者番号: 80344597

神田和江 (KANDA KAZUE)

早稲田大学人間科学研究科博士課程