

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18300200
 研究課題名（和文）筋肉痛と肉離れのメカニズムの解明および筋機能向上のためのトレーニング方法の開発
 研究課題名（英文）Studies on the mechanisms of exercise-induced muscle soreness and strain: with a perspective to training for muscle functions
 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：本研究では、運動後に生じる筋痛の程度や筋の機能変化が活動時の筋線維の長さや速度に依存する可能性を検証した。健常成人の前脛骨筋を被験筋として、筋が活動する長さを変えて伸張性の随意最大足背屈動作を行った。その結果、等尺性最大足関節背屈トルクの低下率やピークトルク角度のシフト量に有意な差が認められなかった。また、健常成人の下腿三頭筋を被験筋として、2つの動作速度で足関節底背屈動作を行った。運動直後から数日間の筋痛の程度、血液中の筋損傷マーカーの量、足関節可動域の低下率、等尺性最大足関節底屈トルクの低下率に、有意な差が認められなかった。以上のことから、筋痛の程度や筋の機能変化は活動時の筋線維の長さや速度に依存しない可能性が示唆された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2007年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
年度			
年度			
総計	15,300,000	4,590,000	19,890,000

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

伸張性活動を伴った身体運動は筋肉痛の原因となることがよく知られていた。この現象は筋内の微細損傷と関連付けて考察されることが多いが、筋肉痛発生のメカニズムについては不明な点が多かった。一方、運動中の筋線維動態の計測によると、関節は等尺性筋活動中であって筋線維は短縮・伸長し、伸張性運動であっても筋線維は等尺性活動を行うことが知られている。これらのことから、

筋損傷の原因となる運動について運動中の筋線維動態の生体計測を通じて抜本的な見直しを迫られる。

2. 研究の目的

一定の活動レベルのもとで伸張性筋活動を行っている筋線維が損傷を生じ、その程度がある閾値を越えたときに筋肉痛が惹起される、という仮説のもと、種々の運動を行った際の筋線維動態を実測する。

また、実際の肉離れの受傷時の状況を詳細

に検討し、上記の研究結果をもとにその際の骨格筋におけるストレス分布を推定することで、肉離れの発生機序を明らかにすることができると思われる。

3. 研究の方法

健常な成人男性の下腿三頭筋を被験筋とし、等尺性足底屈を疲労困憊まで行う試行ならびに片足関節のみのカーブレイズ運動を速度・強度を変えて決められた回数行う試行を行った。運動前後、ならびに運動中の筋腱動態ならびに筋活動量を計測し、筋痛の程度や筋の機能変化を調べた。

筋痛の程度が筋活動時の長さ依存である可能性を検証するために、健常な成人男性の前脛骨筋を被験筋とし、力 長さ関係の上行域と下行域で伸張性運動を行う2群に分けて、伸張性運動を120回行わせ、その後の筋力 角度関係のシフトならびに筋力低下の度合いを計測した。

筋痛の程度が筋活動時の速さ依存である可能性を検証するために、健常な成人男性の前脛骨筋を被験筋とし、2つの動作速度(0.5Hz、2.0Hz)でカーブレイズ運動を200回行った。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、両筋の筋束長と羽状角を計測し、筋束と腱組織の動態を計測した。

4. 研究成果

足関節底屈運動の主働筋である腓腹筋とヒラメ筋の弾性エネルギー利用能と動作速度との関係を明らかにすることを目的とした、7名の健常な成人男性に4つの動作速度(1.33Hz、1.67Hz、1.84Hz、2.00Hz)で足関節底背屈動作を行わせた。動作中の腓腹筋とヒラメ筋の筋束動態を超音波装置を用いて撮像し、両筋の筋束長と羽状角を計測し、収縮速度を算出した。また、フォースプレートから得られた床反力をもとに逆ダイナミクスにより足関節トルクを算出し、MTC、腱組織、筋束の機械的仕事や仕事率、パワーを算出した。足関節底背屈動作中の腓腹筋の収縮速度はヒラメ筋よりも大きかった。足関節底背屈動作速度の増大に伴って腱組織の仕事が大きくなり、筋腱複体のなした仕事を腱組織が担うようになった。また、筋痛の程度は低速度ほど大きい、という感想が被験者から得られた。

このことから、筋痛の程度が速度依存性である可能性を検証することを主な目的とし、健常な成人男性に2つの動作速度(1.33Hz、2.00Hz:左右の脚に分けて実施)で足関節底背屈動作を150回連続して行わせた。このときの腓腹筋とヒラメ筋の筋束動態を超音波装置を用いて撮像し、両筋の筋束長と羽状角を計測し、収縮速度を算出した。また、フォ

ースプレートから得られた床反力をもとに逆ダイナミクスにより足関節トルクを算出し、MTC、腱組織、筋束の機械的仕事や仕事率、パワーを算出した。筋痛の程度を評価するために、運動直後~1週間後にわたり、ビジュアルアナログスケールを用いて主観的筋痛の程度を、また間接的な筋痛の指標として、足関節可動域、等尺性最大足関節底屈トルク・角度関係、筋厚、周径囲を計測した。その結果、低い速度での試行において、試行終了後24時間目までの筋痛が大きい傾向が認められた。また、試行後の最大トルクの低下も低速度試行が顕著であった。可動域や筋厚、周径囲には大きな変化は生じなかったが、超音波画像の輝度に経時変化が認められた。

しかし、この実験では、動作速度により動作時の関節可動域が異なっていたために動作時の筋長が異なる可能性が示唆され、筋痛に与える速度依存性のみを抽出することは困難であるという問題点があった。

そこで、運動後に生じる筋痛の程度や筋の機能変化が活動時の筋線維の長さや速度に依存する可能性を検証することを目的として以下の二つの実験を行った。

まず、筋痛の程度が長さ依存性である可能性を検証するために、健常成人の前脛骨筋を被験筋として、前脛骨筋の力 長さ関係の上行域と下行域で筋活動を行う2群に分けて伸張性随意最大足背屈動作を120回行った。その結果、等尺性最大足関節背屈トルクの低下率やピークトルク角度のシフト量に両群間で差が認められなかった。

次に、筋痛の程度が速度依存性である可能性を検証するために、健常成人の下腿三頭筋を被験筋として、足関節の可動域を規定したカーブレイズ運動を2つの動作速度(0.5Hz、2.0Hz)で200回行った。このとき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、両筋の筋束長と羽状角を計測し、筋束と腱組織の動態を計測した。動作速度が遅いときには筋束が、速いときには腱組織が伸長・短縮することが確認されたが、運動直後から4日後までのビジュアルアナログスケールを用いた筋痛の程度、血液中の筋損傷マーカーの量、足関節可動域の低下率、等尺性最大足関節底屈トルクの低下率に、動作速度間の差が認められなかった。

以上のことから、筋痛の程度や筋の機能変化は活動時の筋線維の長さや速度に依存しない可能性が示唆された。

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 10 件)

1. Mitsukawa Naotoshi., Sugisaki Norihide., Kanehisa Hiroaki., Fukunaga Tetsuo., Kawakami Yasuo.: Fatigue-related

changes in fascicle-tendon geometry over repeated contractions: difference between synergist muscles. *Muscle Nerve*, in press, 査読有

2. Lee Hae-Dong, Kim Seung-Jae, Lee Dae-Yeon, Kurihara T, Lee Young-Shin and Kawakami Y: Shift in Optimal Joint Angle of the Ankle Dorsiflexors Following Eccentric Exercise. *Experimental Mechanics*, in press, 査読有

3. Chino Kentaro., Mitsukawa Naotoshi., Kobayashi Kai., Miyoshi Yusuke., Oda Toshiaki., Kanehisa Hiroaki., Fukunaga Tetsuo., Fukushima Senshi., Kawakami Yasuo: The influence of fascicle behavior on the lack of velocity dependence in eccentric joint torque in humans: in vivo observation. *Journal of Applied Biomechanics* 25, 111-118, 2009. 査読有

4. Kawakami Yasuo., Kanehisa Hiroaki., Fukunaga Tetsuo: The relationship between passive ankle plantar flexion joint torque and gastrocnemius muscle and Achilles tendon stiffness: implications for flexibility. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy* 38, 269-275, 2008. 査読有

5. Chino Kentaro., Oda Toshiaki., Kurihara Toshiyuki., Nagayoshi Toshihiko., Yoshikawa Kohki., Kanehisa Hiroaki., Fukunaga Tetsuo., Fukushima Senshi., Kawakami Yasuo: In vivo fascicle behavior of synergistic muscles in concentric and eccentric plantar flexions in humans. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 18, 79-88, 2008. 査読有

6. 下田 学, 福永哲夫, 金久博昭, 川上泰雄: 間欠的足関節底屈運動中の筋疲労に収縮間インターバルが及ぼす影響. *体育学研究* 53, 87-97, 2008. 査読有

7. Oda Toshiaki, Kanehisa Hiroaki, Chino Kentaro, Kurihara Toshiyuki, Nagayoshi Toshihiko, Fukunaga Tetsuo, Kawakami Yasuo: In vivo behavior of muscle fascicles and tendinous tissues of human gastrocnemius and soleus muscles during twitch contraction. *Journal of Electromyography and Kinesiology* 17, 587-595, 2007. 査読有

8. Oda Toshiaki, Himeno Ryutarō, Hay C

Dean, Chino Kentaro, Kurihara Toshiyuki, Nagayoshi Toshihiko, Kanehisa Hiroaki, Fukunaga Tetsuo, Kawakami Yasuo: In vivo behavior of muscle fascicles and tendinous tissues in human tibialis anterior muscle during twitch contraction. *Journal of Biomechanics*, 40, 3114-3120, 2007. 査読有

9. Kawakami Yasuo., Abe Takashi, Kanehisa Hiroaki., Fukunaga Tetsuo.: Human skeletal muscle size and architecture: variability and interdependence. *American Journal of Human Biology* 18, 845-848, 2006. 査読有

10. Kawakami Yasuo., Fukunaga Tetsuo. New insights into in vivo muscle function. *Exercise Sport Science Review* 34: 16-21, 2006. 査読有

〔学会発表〕(計 15 件)

1. 栗原俊之、佐久間淳、福永哲夫、川上泰雄 . カーフレイズ運動後に生じる遅発性筋肉痛と足底屈トルク低下の関係. 第 21 回日本トレーニング科学大会, 埼玉, 12/20-21, 2008.

2. Kurihara Toshiyuki, Sakuma Jun, Fukunaga Tetsuo, and Kawakami Yasuo, Force-length relationship changes after fatiguing exercise of triceps surae muscle, XXVI International Conference on Biomechanics in Sports, Seoul, July 14-18, 2008.

3. Lee Hae-Dong, Kim Seung-Jae, and Yasuo Kawakami, Changes in the shape of torque-angle relationship in ankle dorsiflexor following voluntary eccentric exercise, XXVI International Conference on Biomechanics in Sports, Seoul, July 14-18, 2008.

4. Kawakami Yasuo, Sakuma Jun, Fukunaga Tetsuo. Muscle-tendon interaction in countermovement exercise: Effect of movement speed, 12th Annual Congress of the European College of Sport Science, Jyväskylä, July 11-14, 2007.

5. Kurihara Toshiyuki, Kanehisa Hiroaki, Abe Takashi, Tsunoda Naoya, Fukunaga Tetsuo, Kawakami Yasuo, Gastrocnemius muscle architecture and external tendon length in young boys, XXIth Congress of International Society of Biomechanics,

Taipei, July 1-5, 2007.

6. 小田俊明、姫野龍太郎、栗原俊之、金久博明、加藤えみか、福永哲夫、川上泰雄、ヒトアキレス腱の形状と力発揮時の応力分布および局所変形との関係—シミュレーション研究—, 第 61 回日本体力医学, 神戸, 9/24-26,2006.

7. 千野謙太郎、小田俊明、福永哲夫、川上泰雄、予備緊張による短縮性トルク増加の要因, 第 61 回日本体力医学, 神戸, 9/24-26,2006.

8. 千野謙太郎、小田俊明、栗原俊之、永吉俊彦、加藤えみか、深代千之、福永哲夫、川上泰雄、超音波法を用いたヒラメ筋の力-速度関係の生体計測, 第 19 回日本バイオメカニクス学会, 所沢, 9/13-15, 2006.

9. 栗原俊之、金久博明、小田俊明、千野謙太郎、永吉俊彦、加藤えみか、福永哲夫、川上泰雄、等尺性収縮中の腓腹筋および前脛骨筋の筋形状の部位差, 第 19 回日本バイオメカニクス学会, 所沢, 9/13-15, 2006.

10. 光川眞壽、福永哲夫、川上泰雄、最大等尺性底屈反復時の筋疲労と筋束動態, 第 19 回日本バイオメカニクス学会, 所沢, 9/13-15, 2006.

11. 川上泰雄 . 反動動作中の筋腱複合体の動態 (招待講演). 第 19 回日本バイオメカニクス学会大会, 所沢, 9/13-15, 2006.

12. Toshiaki Oda , Hiroaki Kanehisa , Tetsuo Fukunaga , Yasuo Kawakami Effect of muscle-tendon interaction on torque development of isometric tetanic contraction. 5th World Congress of Biomechanics, Munich, July 30-August 4, 2006.

13. Kentaro Chino, Naotoshi Mitsukawa, Kai Kobayashi, Yusuke Miyoshi, Toshiaki Oda , Hiroaki Kanehisa ,Tetsuo Fukunaga , Senshi Fukushima, Yasuo Kawakami Effect of fascicle behavior on voluntary and electrically evoked eccentric torques. 5th World Congress of Biomechanics, Munich, July 30- August 4, 2006.

14. Kawakami, Yasuo., Sugisaki, Norihide., Chino, Kentaro., Oda, Toshiaki., Fukunaga, Tetsuo. Tendon mechanical properties: influence of muscle actions (invited lecture). 5th World Congress of Biomechanics, Munich, July 30-August 4, 2006.

15. Kawakami, Yasuo., Sugisaki, Norihide., Chino, Kentaro., Kanehisa, Hiroaki., Fukunaga, Tetsuo. Behavior of Achilles tendon and gastrocnemius aponeurosis during concentric and eccentric plantar flexions (invited lecture). 19th Congress of the European College of Sport Science, Lausanne, July 5-8, 2006.

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

福永 哲夫 (FUKUNAGA TETSUO)
鹿屋体育大学・学長
研究者番号 : 40065222

桜井智野風 (SAKURAI TOMONOBU)
東京農業大学生物産業学部・准教授
研究者番号 : 30235220

(3)連携研究者

福永 哲夫 (FUKUNAGA TETSUO)
鹿屋体育大学・学長
研究者番号 : 40065222

桜井智野風 (SAKURAI TOMONOBU)
東京農業大学生物産業学部・准教授
研究者番号 : 30235220

宮本直和 (MIYAMOTO NAOKAZU)
早稲田大学スポーツ科学学術院・助手
研究者番号 : 20420408