

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 6月25日現在

機関番号：32685

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700629

研究課題名（和文） 筋活動開始時の筋線維動態の解明および柔軟性トレーニングの影響

研究課題名（英文） The dynamics of muscle fibers at the beginning of muscle action; with a effect of stretching training.

研究代表者

村岡 慈歩（MURAOKA YOSHIHO）

明星大学・教育学部・准教授

研究者番号：70307990

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、超音波の生データである RF エコー信号を用いて筋線維（筋束）の収縮開始を空間的機能情報として得、筋活動開始時における、筋の電気的な活動と筋線維（筋束）の挙動との時間的な関係を明らかにすることを目的とした。その結果、静的筋活動開始時の筋線維の挙動について、先行研究に比較して広い視野範囲における高い時間分解能での解析が可能となった。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this study was to determine the muscle fascicle behavior using high frame rate ultrasound in the onset of voluntary muscle contraction. For this purpose, we used local phase differences between successive raw radio frequency (r-f) signals of ultrasound. Authors could visualize the onset of fascicle movement in wider range of muscle compared to previous studies. This high-precision analysis of spatio-temporal muscle dynamics would give some new insight into muscle mechanics.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：健康・スポーツ科学・スポーツ科学

キーワード：RF エコーデータ、ストレッチング、腓腹筋内側頭

1. 研究開始当初の背景

(1) 先行研究

「筋の電気的活動開始」と「関節トルクの立ち上がり、あるいは関節の動き開始」には、

収縮要素による直列弾性要素の伸張により、Electromechanical Delay (EMD) と呼ばれる時間差が生じることが知られており、これまでに様々な関節・筋群・運動条件について検

討されてきた。近年では、超音波 B モード法を用いて腱組織の粘弾性特性を定量し、等尺性トレーニングや、不活動による EMD の変化と腱組織の粘弾性特性との関係についても検討されている。

超音波 B モード法を用いた、動的運動中の筋腱組織の動態測定については、筋収縮の様子を実時間で捉え、等速性膝伸展、垂直跳び動作、歩行動作について、筋束の長さ変化などが測定されている。しかし、従来から用いられている超音波 B モード法では、得られたエコーデータを二次元画像にするために、時間分解能に制限が生じ（解析可能な上限は約 100Hz 程度）、素早い動作を詳細に解析することは不可能であった。

(2) 本研究について

本研究では、超音波診断装置から得られる超音波の生データ (Radio Frequency: RF エコーデータ) を直接解析し、筋組織内の空間的機能情報の定量化を図ることを目的とした。

2. 研究の目的

本研究では、超音波の生データである RF エコー信号を用いて筋活動のタイミングすなわち筋線維 (筋束) の収縮開始を空間的機能情報として得、筋活動開始時における、筋の電気的な活動と筋線維 (筋束) の挙動との時間的な関係を明らかにすることを目的とした。そして、柔軟性やストレッチングの評価への応用も試みた。

3. 研究の方法

(1) ストレッチングプロトコルの検討

ストレッチングトレーニングを行うために、プロトコルの検討を行った。被験者は仰臥位、膝関節完全伸展位、足関節角度は解剖学的正位を 90deg として、足関節角度 105 deg (下腿と足部とがなす角度) を rest とし、足関節を背屈するストレッチングを行った。まず 1deg/sec の速度で受動的に足関節の背屈を行い、被験者が主観的に「痛みを感じ始める関節角度 ; ストレッチング角度」を測定した。rest の足関節角度において 5 分間以上の安静を保った後、図 1 に示した 3 種類のプロトコル (60s, 30s, 15s) でストレッチングを行った。ストレッチング角度での維持は 3 種類のプロトコルで同一 (60 秒間) とし、30s は 30 秒経過後に検者によって 15 秒間かけて rest の関節角度まで戻し、また 15 秒間かけてストレッチング角度にした。15s では 15 秒後に同様に rest まで一旦戻す作業を 3 回繰り返した。その際、近赤外線分光装置 (NIRO-200, 浜松ホトニクス) を用いて、腓腹

筋内側頭 (MG) の総ヘモグロビン濃度 (totalHb) を計測し、筋血液量の変化について検討した。

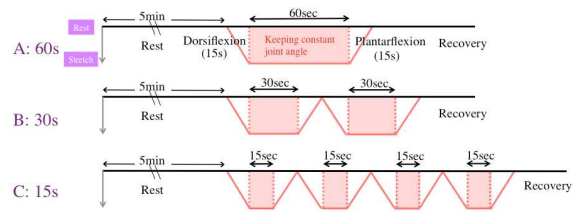


図 1 ストレッチングプロトコル

(2) RF エコーデータの取得と解析

被験者は、仰臥位、膝関節完全伸展位、足関節角度 90deg (解剖学的正位) にて、2-3 秒間の最大下の静的足関節底屈を行った。その際の腓腹筋内側頭における 2D (筋の長軸方向に平行な画像) の RF エコーデータを連続的に取得した (SSD-5500SV, Aloka, 7.5MHz, linear)。フレームレートは 104fps, 視野幅 17mm, 視野深度は 80mm (解析対象は 50mm) とし、エコーデータは 1 フレーム毎にデータファイルに変換し、フレーム間の変位を求めた (MATLAB, Mathworks)。

(3) 短期間のストレッチングエクササイズの効果

静的足背屈ストレッチングを、ストレッチボードを用い、1 回 60 秒間を 5 セット (セット間には 1 分間の休息を挟む)、一日当たり 3 回、3 日間行い、短期間の集中ストレッチングエクササイズのトレーニング効果について検討した。3 日間のエクササイズ前後に受動的な最大足背屈可動域、受動トルク、最大筋力を測定し、比較した。

4. 研究成果

(1) 筋血液量変化によるストレッチングプロトコルの評価

ストレッチングのプロトコル検討のため、まず受動的足背屈ストレッチング中の受動トルクおよび筋血液量変化を調べた。15, 30, 60 秒間の各ストレッチング角度維持時間において、腓腹筋内側頭 (MG) の筋血液量が安静時に比較して有意に減少した。60 秒間のストレッチングでは、ストレッチング角度維持の後半において、筋血液量の増加が見られた。60 秒間のストレッチングについては、一定角度を維持している間に、受動トルクの減少により伸長された筋内血管が弛み、血液が流入しやすくなった可能性が考えられた。

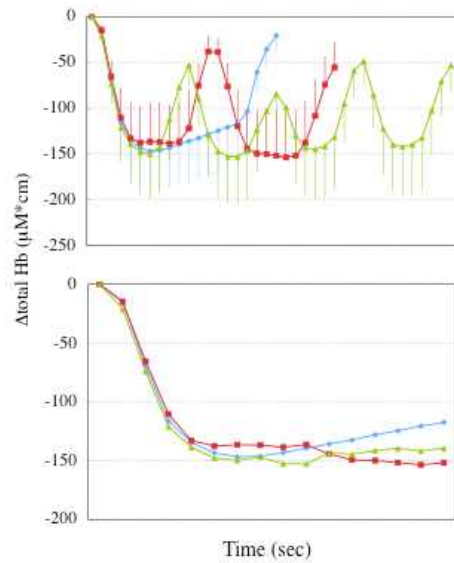


図 2 異なるストレッチングプロトコルによる腓腹筋内側頭の筋血液量変化. 青は 60s, 赤は 30s, 緑は 15s のプロトコルによる.

(2) RF エコーデータの取得と解析

図 3 に、静的収縮開始時の腓腹筋内側頭における長軸方向の筋線維の変位を 3D カラーマッピングによって示した. それぞれの図の上は 2D 超音波画像, 下が 3D カラーマッピングである. 図の左側が浅部 (皮膚側), 右側が深部である. 3D カラーマッピングでは, 赤い色を示す程, 超音波装置のプロープ側 (皮膚側) への変位が大きいことを表している. 上の図は逆に, 青い色を示す程, プロープから遠ざかる変位が大きいことを表している. 上の図は, 筋活動開始直後でヒラメ筋 (3D カラーマッピングで, 右側の水色から青色の部分) の動きが見られる. 下の図は, 腓腹筋内側頭の筋束が短縮を開始し始めた時点のもの (赤色の部分) である. 腓腹筋内側頭は, 深部の腱膜付近から筋収縮を開始し, 浅部へと動きが伝わる様子が観察された. その際の筋組織の収縮速度は最大 8.3mm/s であった. また, 同時に記録した腓腹筋内側頭の筋電図 (EMG) の放電開始から筋線維の収縮開始までは約 11ms, EMG の放電開始から足底屈トルク発揮までは約 27ms であった. 本研究の方法により, 静的筋活動開始時の筋線維の挙動について, 先行研究で報告されているものより, 広い視野範囲における高い時間分解能での解析が可能となった.

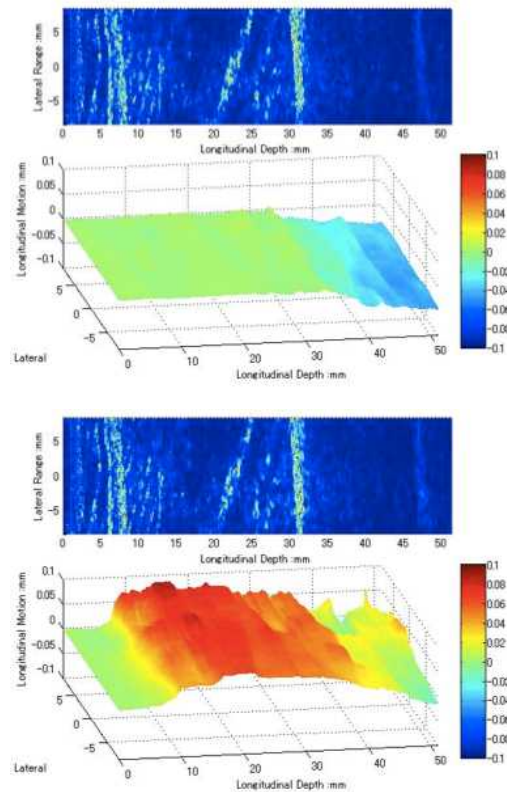


図 3 2D 超音波画像と 3D カラーマッピング.

(3) 短期間のストレッチングエクササイズの効果

3 日間の集中トレーニング後には, 足関節背屈における受動的関節可動域の有意な増加, 一定の関節角度 (pre の maxROM および post maxROM における受動トルクの有意な減少が見られた. しかし, 最大筋力は, 低下傾向を示したものの, 有意ではなく, 超音波 B モード法による安静時およびストレッチング時の筋束長にも有意な変化は認められなかった. また, 超音波 RF 信号解析による足底屈力発揮時の筋束動態については, 腓腹筋内側頭よりも先にヒラメ筋の活動開始が確認され, 活動開始から足底屈トルク発揮までの筋束の挙動に空間的变化が認められた. 本研究の結果により, 静的ストレッチングの効果, 対象とする筋の広い測定範囲にて評価できる可能性が示唆された.

(4) 今後の展望

今後は, RF エコーデータの 3D カラーマッピングから, 筋線維の収縮速度の定量化を進めて行く予定である. また, 今回はフレームレートが 104fps での分析となったが, 視野幅をさらに縮小し, エコーの line density を抑えることにより, フレームレートの向上を目指したい. それにより, 筋力発揮や受動的

な伸張に伴う、筋腱組織の動きをより詳細に解析することが可能となる。

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)

[学会発表] (計3件)

① Muraoka, Y. and Yagi, S. Muscle fascicle behavior in the onset of muscle force production. 15th Annual Congress of the European College of Sport Science. 23-26, June, 2010. Turkey.

② Muraoka, Y., Yasuda, T. and Kaneko, K. The effect of differences in passive muscle length changes on muscle blood volume. XXIIIrd Congress of International Society of Biomechanics. 3-7, July, 2011. Brussels.

③ 村岡慈歩, 安田翼, 金子敬二: 受動的ストレッチング中の下腿筋群における筋血液量変化. 日本体育学会第62回大会, 2011年9月27日, 鹿児島.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0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0件)

名称:

発明者:

権利者:

種類:

番号:

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

村岡 慈歩 (MURAOKA YOSHIHO)

明星大学・教育学部・准教授

研究者番号: 70307990

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし