

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 4 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25560369

研究課題名(和文)超音波画像テクスチャを用いた筋疲労の評価

研究課題名(英文) Estimation of muscle fatigue using ultrasound image texture

研究代表者

村木 里志 (MURAKI, SATOSHI)

九州大学・芸術工学研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70300473

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：人間の筋を超音波エコー装置によって撮影(Bモード)すると、異なった模様や濃淡(画像テクスチャ)が観察される。本研究はその画像テクスチャに筋の一過性および慢性の疲労の情報が含まれていると仮定し、示指伸筋の最大運動前後および肩こり症状の有無によって、筋の画像テクスチャが異なるかを検討した。最大運動は画像テクスチャ情報の一部を変化させたことから、筋の画像テクスチャは一過性の疲労の指標になることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：When human muscles are imaged by using ultrasonographic echo imaging (B-mode), different patterns and gray-scale levels (image texture) are observed in the images. The present study hypothesized that the image texture includes information about transient and chronic muscle fatigue, and then compared muscle texture between before and after maximal exercise of the extensor indicis muscle and between individuals with and without shoulder stiffening. Maximal exercise changed part of the image features, which suggests that the muscle texture might be an index of transient muscle fatigue.

研究分野：福祉人間工学

キーワード：筋疲労 超音波 画像解析 肩こり

1. 研究開始当初の背景

今日、労働環境のデスクワーク化や運動不足に伴う体力低下により局所的な筋肉の疲労（以下、筋疲労）に悩む者が増えている。平成 19 年国民生活基礎調査（厚生労働省）においても筋疲労に起因する腰痛や肩こりは有訴者率の 1、2 位を占める。さらに近年は小型情報端末（スマートフォンなど）の長時間使用による局所的な筋骨格系の愁訴が問題視され、今後益々筋疲労に悩む者が増えていくであろう。また、スポーツ競技においても、筋疲労のコントロールはパフォーマンス向上にとって無視できない。

一方、筋疲労の程度を定量的にかつ現場で測定するためには、簡易性、非侵襲性（生体を傷つけない）、安静状態での測定（運動負荷を要しない）、筋肉部位別の測定などの条件が求められる。また、スポーツ選手への応用を考えると、装置が小型で持ち運び、選手の競技・練習場にて測定できることが望ましい。そのような条件を満たす手法として、我々研究グループは筋硬度に着目し、超音波粘弾性計測（一定の押圧に対し、筋肉層がどの程度、変形するかを観測）による筋疲労評価を行ってきた。その結果、筋疲労の変化を検出できる事象^{1,2)}とそうでない事象^{2,3)}が認められ、筋硬度による筋疲労評価には限界があった。

そこで、本研究では同じ超音波エコーを用いた新しい独自の筋疲労評価を試みる。超音波エコーは人間の筋の厚み（筋厚）を計測する有効な手法である。その超音波は組織境界間（皮下脂肪 - 筋 - 骨）で反射する性質があり、筋厚の情報が容易に得られる。しかし、組織自体においても反射や減衰が起こり、それは模様や濃淡によって画像（B モード方式の場合）に反映される（以下、画像テクスチャ）。本研究では、その画像テクスチャに筋の状態を反映する情報が含まれていると考え、画像テクスチャを用いた筋疲労の評価の可能性を検討する。

2. 研究の目的

一過性の筋疲労および慢性的な筋疲労によって超音波エコーの画像テクスチャの特徴量の変化に法則性が存在するかどうかを探った。

平成 25 年度(研究 1)は、一過性の筋疲労として示指伸筋による MP 関節伸展運動を対象とした。等張性収縮および等尺性収縮の筋収縮様式それぞれにおいて、画像テクスチャの変化を検討した。

平成 26 年度(研究 2)は、慢性的な筋疲労（感）として肩こりを対象とし、僧帽筋部の愁訴がある者とそうでない者を比較し、愁訴がある者の画像テクスチャの特徴を検討した。

3. 研究の方法

(1)研究 1：一過性の筋運動による超音波テクスチャ画像の変化

被験者

上肢に障害がない健康な若年成人男性 10 名（平均年齢 22.5 ± 1.1 歳）を対象とした。全員右利きであった。

実験条件・手順

右上肢を対象とした。被験者は座位の姿勢にて、前腕および手首を水平なアームレスト上に乗せた。手の甲の側を上に向け、示指の DIP 関節に錘を紐を介して装着した。また、示指伸筋のみの運動に制限するため、前腕を動かないようにベルト等で固定した（図 1）。その姿勢において、被験者は二つの運動様式にて課題を実施した。

一つは等尺性（アイソメトリック）筋収縮運動であり、示指の全関節を 180 度に維持して、錘を持ち上げ続けた。もう一つは等張性（アイソトニック）筋収縮運動であり、3 秒に 1 回の頻度で錘の上げ下げを行った。

錘の重さは 3 分間で疲労困憊に達するように事前に調整した。また、二つの課題（運動様式）および事前の重さの調整は異なる日に実施した。

測定項目

超音波エコー装置（Logiqe、GE 社製、USA）およびリニア式超音波エコープローブ（12L-RS、GE 社製、USA）を用いて、示指伸筋の筋横断面画像を B モード方式によって撮影した（図 2）。

超音波プローブは示指伸筋に対して垂直になるように皮膚上に固定した。ただし、プローブが皮膚および筋組織を圧迫しないようにした。超音波プローブの周波数は 12 MHz、深さ 30 mm とし、各種撮影パラメーターは全て統一した。

示指伸筋横断面の超音波エコー画像は運動前、運動終了 1 分後、5 分後、10 分後、15 分後に撮影した。得られた B モードエコー画像から、筋厚（縦径）を求めるとともに、画像テクスチャ解析を行った。

画像テクスチャ解析の対象部位は示指伸筋横断面の中心部とし、解析した画像の形状は正方形（ 5×5 mm： 32×32 ピクセル）とした。

画像テクスチャ解析は、濃度ヒストグラム法（Gray level difference method: GLHM）により「平均」、「分散」、「歪度」、「尖度」、濃度差分レベル法（Gray level histogram moment analysis: GLDM）により「角度別 2 次モーメント」、「エントロピー」、「平均」、空間濃度レベル依存法（Spatial gray level dependence method (analysis: SGLDM)）により「エネルギー」、「エントロピー」、「相関」、「局所一様性」、「慣性」を求めた。解析方向は 0、45、90、135° とした。



図1 実験中の被験者の姿勢および超音波プローブ（枠内）の取り付け位置

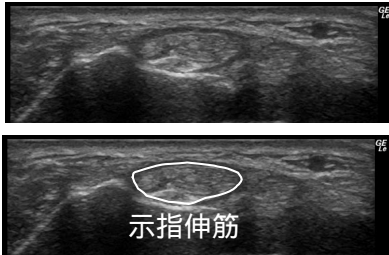


図2 示指伸筋の超音波エコー画像

(2)研究2：慢性的な筋愁訴と超音波テクスチャ画像との関連性

被験者

30歳代から70歳代までの成人男女154名（男性84名、女性70名）を対象とした。

測定項目

肩こりの自覚症状

被験者に日常の慢性的な肩こりの自覚症状を質問紙を用いて尋ねた。肩こりの程度を左右別に4段階（1.こっていない、2.ややこっている、3.こっている、4.非常にこっている）にて評価させた。

僧帽筋部の超音波エコー画像

研究1と同様の超音波エコー装置を用いて、僧帽筋における横断面のBモード画像を撮影した（超音波プローブ周波数10MHz）。測定位置は第七頸椎と肩峰点の midpoint とした。測定姿勢は座位および上肢下垂位とし、リラックスさせた状態で測定を行った。

画像テクスチャ解析

得られた画像の僧帽筋部内の $7.14 \times 7.14\text{mm}$ (70×70 ピクセル) の正方形の領域に対して、研究1と同様に画像テクスチャ特徴量を求めた。

4. 研究成果

(1)研究1：一過性の筋運動による超音波テクスチャ画像の変化

筋厚

示指伸筋の筋厚（縦径）は、等尺性および等張性収縮両方とも運動後に増加した。運動1分後、5分後10分後の筋厚は運動前より有

意に厚かった。

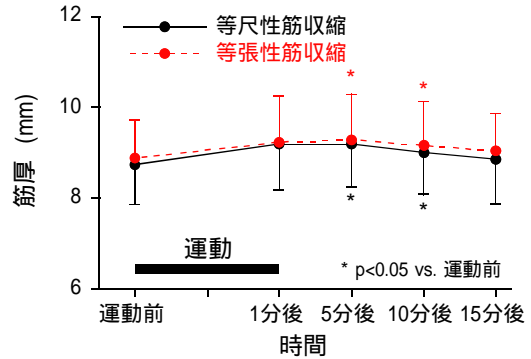


図3 運動前後での示指伸筋の筋厚の変化

画像テクスチャ特徴量の変化

等尺性および等張性収縮両方とも多くのテクスチャ特徴量にて、運動前と運動10分後、15分後の間に有意差がみられた。図4にはその一例として平均(GLHM)の結果を示す。両筋収縮運動において、運動10分後、15分後の値が運動前に比べて有意に大きくなった。一方、特徴量によっては、運動の種類によって異なる変化を示した。図5にはその一例として相関(SGLDM)の結果を示す。等尺性収縮の運動10分後、15分後の値が運動前に比べて有意に小さくなった。

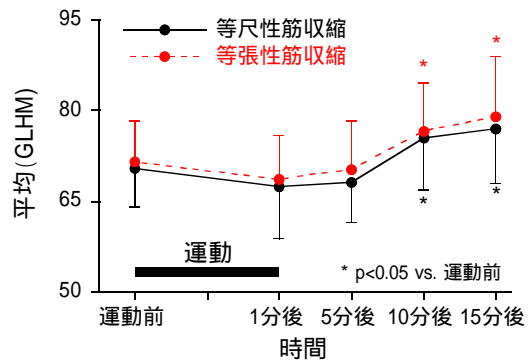


図4 運動前後での画像テクスチャ特徴量：平均 (GLHM) の変化

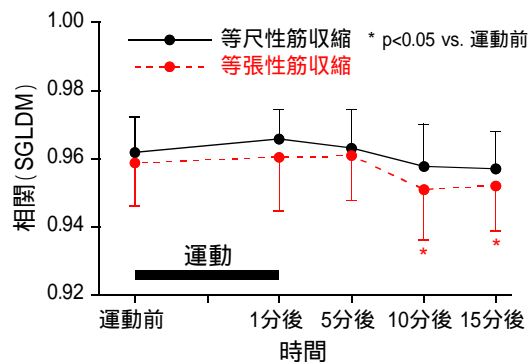


図5 運動前後での画像テクスチャ特徴量：相関 (SGLDM) の変化

考察

運動後は筋内の血流量が増加すると言われている⁴⁾。本研究でみられた筋厚の増加は主に筋内の血流量増加によって筋組織内が膨張したためと考えられる。

一方、画像テクスチャ特徴量は、運動直後ではなく、運動終了後一定時間経過してから有意な変化が認められた。またその変化は筋の収縮様式によって異なった。このことから、筋厚が筋肉の膨張や萎縮などの量的情報を示しているのに対し、画像テクスチャは筋厚とは異なる筋組織内の質的变化を反映していると考えられる。

以上のことから、超音波エコー画像によって撮影した筋の画像テクスチャ特徴量が、筋疲労の新しい指標になる可能性が示唆された。

(2)研究2：慢性的な筋愁訴と超音波テクスチャ画像との関連性

筋の愁訴

肩こりの自覚症状は、こっていない(89名、57.8%)、ややこっている(38名、24.7%)、こっている(13名、8.4%)、非常にこっている(14名、9.1%)であった。男性より女性の方が肩こりの愁訴の程度が高かった。

僧帽筋の筋厚および画像テクスチャ特徴量の比較

年齢の影響を除外するために60~70歳代(男性76名、女性66名)を対象として筋厚計測および画像テクスチャ解析を行った。肩こりの自覚症状の回答から肩こり有群(ややこっている、こっている、非常にこっている)と肩こり無群(こっていない)に分けて、男女別に比較した。

筋厚平均値を比較すると、女性においては、肩こり有群は肩こり無群に比べて筋厚が小さい傾向がみられた(肩こり有群 9.4 ± 1.4 mm、肩こり無群 10.1 ± 1.9 mm、 $p=0.07$)。男性においてはほぼ同値であった(肩こり有群 11.9 ± 1.8 mm、肩こり無群 12.1 ± 2.0 mm)。

画像テクスチャ特徴量の平均値を比較すると、一部の特徴量において有意傾向($p<0.1$)であるが、差がみられた。男性の場合、歪度(GLHM)において、女性の場合、分散(GLHM)、相関(SGLDM)において差がみられた。

考察

本研究では、肩こりの自覚症状と密接に関係する画像テクスチャ特徴量を特定するには至らなかった。今後は、さらに対象者を増やすとともに、テクスチャ特徴量の解析の仕方などを工夫し、肩こりの自覚症状と関係する特徴量を検討していく予定である。

備考

本研究の実験は九州大学大学院芸術工学研究院実験倫理委員会の承認を受けて実施

した。

引用文献

- 1) 村木里志, 他4名(2011) 膝伸展運動の運動強度・時間の違いが筋硬度に及ぼす影響 - 超音波弾性計測装置を用いて - . 臨床スポーツ医学 28(2): 225-231
- 2) Muraki S, 他3名(2011) The effects of stretching, hot pack and massage treatments on muscle thickness and hardness. Ergonomics in Asia: Development, Opportunities and Challenges, CRC Press (London), 301-306
- 3) 黒岩光香, 村木里志, 他3名(2010) 日本人の僧帽筋部の筋硬度特性と肩こりの自覚症状との関係. 健康支援 12(2): 1-9
- 4) 加賀谷淳子 (2001)運動時の筋血流量, 体育学研究 46(5): 429-442

5. 主な発表論文等

[学会発表](計3件)

小川大輔, 中島弘貴, 福田 修, 村木里志(2014) 慢性的な筋愁訴と超音波テクスチャ画像との関連性. 人類働態学会西日本地方会第39回大会, 北九州市, 平成26年12月26日

Muraki S, Ogawa D, Fukuda O (2014) Change of ultrasound echo image texture in fatigued muscle. 5th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE2014), Krakow, Poland, 平成26年7月21日

小川大輔, 中島弘貴, 福田 修, 村木里志(2014) 一過性の筋運動による超音波エコー画像テクスチャの変化. 日本人間工学会第55回大会, 神戸市, 平成26年6月5日

講演集 人間工学 50巻 S142-S143
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jje/50/Supplement/50_S142/_article/-char/ja/

6. 研究組織

(1)研究代表者

村木 里志 (MURAKI SATOSHI)
九州大学・大学院芸術工学研究院・准教授
研究者番号: 70300473

(2)研究分担者

福田 修 (FUKUDA OSAMU)
2014年9月まで: 独立行政法人産業技術総合研究所・生産計測技術研究センター・研究員
2014年10月から: 佐賀大学大学院工学系研究科・教授
研究者番号: 20357891

(3)連携研究者

小川 大輔(OGAWA DAISUKE)
九州大学・大学院芸術工学府・修士課程