

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：20101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23700612

研究課題名(和文) 次世代イメージング法によるヒト神経筋セグメントの可塑性評価と運動療法の基盤構築

研究課題名(英文) Quantification of plasticity of human intramuscular elasticity with noninvasive imaging and development of therapeutic exercise

研究代表者

谷口 圭吾 (TANIGUCHI, KEIGO)

札幌医科大学・保健医療学部・講師

研究者番号：90381277

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：運動療法の効果検証や新規的なプログラム開発に向けて、ヒト生体における骨格筋内の局在的な組織弾性の可視化・定量化を基に、性状特性に及ぼす運動の影響から筋組織の可塑的变化を明らかにすることを目的とした。ストレッチの運動効果を検討した結果、関節柔軟性の増加は筋の形状変化に関係なく、安静時の筋弾性低下に起因することが明らかになった。また、運動中の下腿筋弾性の筋間差は筋長増大に伴い開くことから、筋にかかる力学的ストレスは筋間で不均一である可能性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the study was to examine the effect of stretching exercise on the stiffness of muscle belly. The results demonstrate the transient decreases in the stiffness of the resting muscle and indicate that joint flexibility is greater in individuals with lower resting stiffness. Variability in the index of stiffness between muscles may be related to variability in passive tension between muscles during stretching. Quantification of muscle stiffness with ultrasound elastography would provide useful information to develop effective therapeutic exercise.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：理学療法学 リハビリテーション医学

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーションを展開する上で骨格筋の可塑性解明と多面的な定量評価法の確立は、運動機能障害の病態解明や早期発見に加え、効果的な運動療法・予防プログラムの基盤構築に不可欠である。ヒト骨格筋の可塑性を探る研究において、筋の構造・形状の観点から様々な知見がもたらされ、加齢や疾病により著明な変化をきたすことは認知されている。一方、筋量は 50 歳代から低下するのに対し、筋腱のストレインは 30 歳代から既に低下傾向にある。このような組織性状に及ぼす影響を踏まえ、革新的な画像処理技術による軟部組織の歪み特性（ストレイン）(Ophir ら, 2002 ; Hoyat ら, 2008) や弾性特性（ステイフネス）(Nordez ら, 2010 ; Fink ら, 2010) の評価が提案され、Taniguchi ら (2010) も超音波補正音速によるヒト生体筋組織の性状マッピングの評価法の開発を進めてきたものの、筋組織の力学的因子からみた可塑性の検討や定量評価法の構築は十分に為されていない現状であった。

2. 研究の目的

本研究では、ヒト骨格筋内の局在的な組織性状に及ぼす運動や病態の影響から筋の可塑性を解明すること、及び定量的な性状評価法の確立に向けた検討を行うことを目的とした。具体的には、以下の点を目的とした。

(1) 骨格筋の力学的特性（歪み特性・弾性特性）を音響放射圧・超高速超音波法により可視化・定量化し、客観的な評価方法を確立する。

(2) 筋組織の力学的因子に及ぼす運動および病態の影響を包括的に分析することで、筋性状の可塑的变化を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 筋組織の機械的特性を定量する評価法を検討し、その信頼性と妥当性を明らかにした。筋組織の弾性特性（ステイフネス）の測定は、音響放射圧を用いて関心領域に微

少な変位を起こさせ、その際に発生する剪断波を超高速なフレームレートでキャプチャーする先駆的技術を用いる。計測は、プッシュパルスで生じる剪断波の伝播速度および弾性係数のヤング率、剪断弾性率を求めて直接的に弾性特性を定量し、カラーマップ画像でリアルタイムに表示する。分析は級内相関係数および変動係数から測定の再現性を検討する。更に、羽状筋を対象に屍体標本を使用して超音波組織弾性映像法で得られた筋スティフネスの妥当性を検証する。

(2) 筋スティフネスに及ぼす運動および病態の影響を検証し、単一筋内の局在的な可塑的变化を調査した。運動の介入は、静的なストレッチングおよび随意的筋収縮を行い、試行前後の比較と経時変化を検討する。病態が及ぼす影響は、膝関節術後症例を対象に計測を行い、安静時と筋収縮時から患側、健側および健常者とを比較分析する。

4. 研究成果

(1) 次世代イメージングの超高速超音波法による定量的な筋スティフネスの臨床評価法の確立に向けて、ヒト生体および御遺体の羽状筋組織を対象に弾性計測の妥当性検証を進めた。羽状筋の特徴である腱に対して斜めに配列する筋線維の傾斜角度の影響を検討した結果、筋線維が腱とほぼ平行に走行する紡錘状の筋弾性と比較して羽状の筋弾性は 15-20%ほど高値を示したことから、羽状筋のスティフネス定量は真の値よりも過大評価している可能性が認められた。従って、超音波剪断波法を用いた骨格筋の硬度評価では、個々の筋が有する形状特性を十分に考慮することが必要であることが示唆された。

(2) 運動療法で頻繁に施行される下腿筋群の静的なストレッチングの介入効果を検討した結果、関節柔軟性の増加は筋の形状変化に関係なく、安静時筋スティフネスの低下に起因することが明らかになった。一方、

その低下現象は 20 分以内に消失することが明らかとなった。更に、腓腹筋を構成する外側頭と内側頭の筋弾性は有意に筋間で異なるものの、ストレッチによる経時的な変化は筋間で同様であることが示された。

(3) 荷重位での他動的な足関節背屈運動中に観察される筋弾性の動態を検討した結果、下腿三頭筋スティフネスの筋間差は筋長増大に伴って著明に開大したことから、筋に負荷される力学的ストレスは筋間で不均一である可能性が示唆された。このことは、リハビリテーション領域において運動器障害に深く関与する筋スティフネスへの運動療法の開発や効果判定に向けた基盤資料となりうる。

(4) 超音波ビームによる微細振動からの剪断波伝播速度に基づいて取得される筋の剪断弾性係数の計測における信頼性を検討した。腓腹筋を対象とした安静時弾性係数の測定値の再現性は、0.9 以上の級内相関係数、4%未満の変動係数および 0.2 キロパスカルの測定標準誤差が得られたことから非常に良好であることが明らかとなった。一方、筋の深層部や腱組織の弾性画像は十分な描出を得ることが難しい例もみられ、定量可能な対象領域は限定される可能性が予想された。

(5) 関節可動性と筋スティフネスの関係は、足関節の他動的な背屈角度と腓腹筋の安静時弾性係数との相関分析により検討した。その結果、背屈角度と腓腹筋の弾性係数との間には負の相関関係 (-0.74 ~ -0.67) にあることが明らかとなった。このことから、安静時の筋硬度が低いほど関節柔軟性は高い可能性のあることが示された。この検討は、関節可動域制限の機序を示す基礎資料となり得る。

(6) 筋収縮不全を認める膝関節術後症例を対象に大腿四頭筋スティフネスの定量評価を試みた。安静時と大腿四頭筋セッティ

ング時のスティフネスを測定した結果、安静時弾性はいずれの筋も患側、健側および健常者の間で有意な差が認められなかった。一方、筋収縮時の弾性は全ての筋で健側および健常者に比して患側で有意に低値を示した。従って、超音波剪断波エラストグラフィ法の使用により、膝関節術後の大腿四頭筋収縮不全を筋スティフネスに基づいて定量評価できる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5件)

1. Ando R, Taniguchi K, Saito A, Fujimiya M, Katayose M, Akima H. Validity of fascicle length estimation in the vastus lateralis and vastus intermedius using ultrasonography. *Journal of electromyography and kinesiology*. 2014, 24: 214-220. DOI:10.1016/j.jelekin.2014.01.003 査読有
2. 谷口圭吾, 片寄正樹. 静的ストレッチングが安静時の筋スティフネスに及ぼす影響. *日本整形外科超音波学会誌*. 2013, 25: 77-83. 査読有
3. Taniguchi K, Shinohara M, Nozaki S, Katayose, M. Acute decrease in the stiffness of resting muscle belly due to static stretching. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2013 Sep 20.(in press) DOI:10.1111/sms.12146 査読有
4. 谷口圭吾, 片寄正樹. 超音波せん断波の超高速イメージングによる骨格筋の定量的な組織弾性評価. *日本整形外科超音波研究会会誌*. 2012, 23: 48-53. URL:<http://search.jamas.or.jp/link/ui/2013137275> 査読有

5. 山下敏彦, 谷口圭吾, 吉田真. スポーツに伴う筋・筋膜性腰痛-病態と治療-. 脊椎脊髄ジャーナル. 2011, 24: 879-885. URL:<http://search.jamas.or.jp/link/ui/2011349401> 査読有

[学会発表](計 19 件)

1. 谷口圭吾, 片寄正樹. 静的ストレッチングが安静時の筋スティフネスに及ぼす影響. 第25回日本整形外科超音波学会 名古屋市. 2013.7.6.
2. Kinugasa R, Yamamura N, Taniguchi K, Fujimiya M, Katayose M, Edgerton VR, Sinha S. True identity to move the foot quickly. 18th annual Congress of the European College of Sport Science. 2013.6.29 Barcelona, SPAIN.
3. Taniguchi K, Shinohara M, Nozaki S, Katayose M. Stiffness Quantification of Human Calf Muscle During Standing Wall Stretching Using Ultrasound Shear-wave Elastography. 60th Annual Meeting of the American College of Sports Medicine. 2013.5.30 Indianapolis, USA.
4. Nozaki S, Taniguchi K, Takashima H, Watanabe K, Katayose M. Differences in Tibiotalar Joint Alignment During Non-loaded and Axial Loaded Condition in Intact Male Feet. 60th Annual Meeting and 4th World Congress on Exercise is Medicine of the American College of Sports Medicine. 2013.5.30 Indianapolis, Indiana.
5. Kawai M, Taniguchi K, Saito A, Aoki N, Akima H, Katayose M. Unique Activation Patterns of The Vastus Intermedius in The Quadriceps Femoris Muscles during Squat Movement. 60th Annual Meeting and 4th World Congress on Exercise is Medicine of the

American College of Sports Medicine. 2013.5.30 Indianapolis, USA.

6. 谷口圭吾, 野崎修平, 河合誠, 片寄正樹. ストレッチングが筋束部の組織弾性に及ぼす影響 -超高速超音波法を用いた検討-. 第67回日本体力医学会大会 岐阜市. 2012.9.16.
7. 安藤良介, 齋藤輝, 谷口圭吾, 片寄正樹, 藤宮峯子, 秋間広. 屍体の大腿四頭筋における筋束長推定法の妥当性の検討. 第67回日本体力医学会大会 岐阜市. 2012.9.15.
8. 衣笠竜太, 山村直人, 石川昌紀, 谷口圭吾, 藤宮峯子, 片寄正樹, 小田俊明. アキレス腱屈曲点の出現メカニズムとその機能的意義. 第67回日本体力医学会大会 岐阜市. 2012.9.14.
9. 河合誠, 谷口圭吾, 齋藤輝, 青木信裕, 秋間広, 片寄正樹. スクワット動作における膝関節角度変化に伴う中間広筋の活動特性. 第67回日本体力医学会大会 岐阜市. 2012.9.14.
10. 高島弘幸, 穴戸博紀, 赤塚吉紘, 今村壘, 谷口圭吾, 畠中正光. 足関節角度が下腿筋の1H MR Spectroscopyに与える影響. 第40回日本磁気共鳴医学会大会 京都市. 2012.9.6.
11. Taniguchi K, Shinohara M, Nozaki S, Katayose M. Acute effect of static stretching on the stiffness of human gastrocnemius muscle assessed with ultrasound shear-wave elastography. XIX Biennial Conference of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology. 2012.7.21 Brisbane, AUSTRALIA.
12. Ando R, Saito A, Taniguchi K, Katayose M, Akita K, Fujimiya M, Akima H. Validity of measuring fascicle length of the vastus intermedius in cadavers

- directly and by ultrasonography. XIX Congress of the International Society of Electrophysiology and Kinesiology. 2012.7.21 Brisbane, AUSTRALIA.
13. 河合誠, 谷口圭吾, 野崎修平, 池田祐真, 本村遼介, 片寄正樹. 大腿筋膜張筋スティフネスに及ぼす股関節の他動的運動の影響-超音波せん断波による検討-. 第47回日本理学療法学会 神戸市. 2012.5.27.
 14. 谷口圭吾, 野崎修平, 池田祐真, 本村遼介, 河合誠, 片寄正樹. 運動療法に伴う筋スティフネス変化の定量評価-超音波せん断波を用いた検討-. 第85回日本超音波医学会学術集会 東京都. 2012.5.26.
 15. 野崎修平, 谷口圭吾, 池田祐真, 河合誠, 片寄正樹, 山下敏彦. 後足部回内外肢位が静的ストレッチ中のヒラメ筋内弾性に与える影響. 第85回日本整形外科学会学術総会 京都市. 2012.5.19.
 16. 池田祐真, 谷口圭吾, 野崎修平, 河合誠, 片寄正樹, 山下敏彦. 長内転筋の局所弾性に及ぼす股関節内外旋運動の影響 -超音波せん断波の超音波イメージングによる検討-. 第85回日本整形外科学会学術総会 京都市. 2012.5.19.
 17. 谷口圭吾, 野崎修平, 池田祐真, 片寄正樹, 山下敏彦. ストレッチ時の下腿三頭筋組織における弾性分布の可視化・定量評価-超音波せん断波の超音波イメージングによる検討-. 第85回日本整形外科学会学術総会 京都市. 2012.5.17.
 18. 野崎修平, 谷口圭吾, 池田祐真, 片寄正樹. 後足部の内外反角度が静的ストレッチ中の腓腹筋内弾性に与える影響. 第66回日本体力医学会 下関市. 2011.9.17.
 19. 谷口圭吾, 野崎修平, 池田祐真, 片寄正樹. 下腿筋の局所弾性に及ぼす足関節背屈の影響-超音波せん断波の超音波イメージングによる検討-. 第66回日本体力医学会 下関市. 2011.9.17.
- 〔図書〕(計1件)
1. 谷口圭吾, 片寄正樹. 腰痛に対するアスレティックリハビリテーション: トレーニングの理論, スポーツと腰痛(山下敏彦編). 金原出版, 東京. p. 99-103, 2011.
- 〔その他〕
1. 谷口圭吾. 超音波イメージングによる筋特性の可視化・定量化. 日本骨軟組織超音波学会講演 札幌市. 2013.8.25.
 2. 谷口圭吾. 超音波技術を用いた筋機能評価の可能性. 札幌医科大学・早稲田大学スポーツ医科学研究会講演 東京都. 2013.1.20.
6. 研究組織
- (1)研究代表者
谷口 圭吾(TANIGUCHI KEIGO)
札幌医科大学・保健医療学部・講師
研究者番号: 90381277
 - (2)研究分担者
なし
 - (3)連携研究者
なし