

機関番号：20101
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2009～2010
 課題番号：21700544
 研究課題名（和文）イメージングを用いた神経筋コンパートメントの機能解明と可塑性の多角的評価法の開発
 研究課題名（英文）Quantitative assessment of plasticity of human intramuscular compartments using noninvasive medical imaging
 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

研究成果の概要（和文）：

ヒト生体の骨格筋における機能的役割と可塑的变化を明らかにする多面的な評価方法の確立にむけた基盤研究を行うことを目的とした。非侵襲的な医用画像診断技術を応用することにより、運動に関わる筋内部の活動動態を詳細に捉えることが可能であった。また、筋内の変化を形態特性のみならず性状特性の観点から量的に分析する評価方法を検討し、それらの特性に及ぼすストレッチング、筋収縮および筋損傷の影響を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of the present work was to attempt to establish a method for assessing the muscle function and plasticity of human neuromuscular compartments in vivo. Using functional magnetic resonance imaging, the spatial and quantitative distribution of muscle activity during exercise was demonstrated. In addition, this study clarified the influence of muscle stretching, contraction and injury on the architectural characteristics and mechanical properties of muscle with the ultrasound elastography imaging.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	900,000	3,900,000

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：リハビリテーション、評価学

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーションを進めるうえで骨格筋の有する可塑性の解明とその評価方法の確立は、運動機能障害・運動器機能不全の実態解明や早期発見に加え、効果的な治療・予防のプログラム開発に不可欠である。

哺乳動物における骨格筋の多くが、一次神経筋枝の支配を受ける筋区画である神経筋

コンパートメントと呼ばれる機能単位から構成されることが提唱されている(Englishら,1993)。これまで、Taniguchiら(2004,2005)は腓骨筋内の形状特性や神経支配様式を観察し、当該筋が4つのコンパートメントに分類されることを同定した。また、実験動物を用い、筋内コンパートメントの各々が選択的な固有の機能を有することを示す研究

報告もみられる。しかしながら、ヒト生体の骨格筋において筋内のコンパートメントが果たす機能的役割は不明な点が多く、筋内の機能局在を分析する評価方法もあまり検討されていない現状であった。

また、加齢や疾病により骨格筋の形態に著明な変化をきたすことは広く認知されているものの、筋内の組織性状に及ぼす影響はあまり検討されていない。一方で、運動機能不全に関わる組織の性状変化は、組織の形態的な変化を生じる前から起こると臨床的に考えられている。従って、単一筋内の可塑性を組織性状の観点から多角的に評価する方法の構築に向けた試みは、運動機能障害に深く関与する筋機能不全の早期検出方法とその機序解明および効率的な治療戦略を考案するうえで重要と考えた。

2. 研究の目的

本研究では、ヒト生体において筋機能的磁気共鳴映像法を用い、下腿筋内の機能的役割探索する。また、エラストグラフィ技術をはじめとしたリアルタイム超音波エコーを用いて、単一筋内の組織性状、組織弾性を可視化・定量化するとともに、それらに及ぼす運動や疾病の影響を分析する。

具体的には、筋内コンパートメントの多面的な可塑性評価方法の基盤開発に向けて、以下の目的に取り組む。

- (1) 生体におけるヒト下腿筋の運動動作に伴う動員様相を定量的にマッピングし、筋の機能局在を明らかにする。
- (2) 筋内の組織性状、組織弾性を定量し、その評価方法を検討する。
- (3) 筋組織性状に及ぼす関節運動、運動療法および病態の影響を検討し、筋内の可塑的变化を明らかにする。

3. 研究の方法

- (1) 筋機能的磁気共鳴映像法を用いて、下腿筋内部の機能特性を検討した。対象は、足関節外傷の既往が無く、主観的な不安定症を呈さない健常な若年男性とした。また、研究は札幌医科大学保健医療学研究科倫理審査委員会の承認を受けて実施した。

筋の動員様相といった機能的情報の分析が可能な横緩和時間 (transverse relaxation time: T2) の測定には、先行研究 (Akima ら, 2004 ; Segal ら 2005) のプロトコルに沿って実施した。撮影は、安静時と足関節の底屈動作の直後 1 分以内に実施した。T2 値の分析は、筋実質以外の脂肪、血管あるいは腱を含まないように関心領域を選択抽出した。さらに、安静

時の平均値より高値を示した画素を運動により動員された部分とみなした。また、運動後の T2 値を安静時の T2 値で除して正規化することにより相対的な T2 値の変化を算出した。

- (2) 超音波法を用いた下腿筋の組織ストレイン、組織ステイフネスを定量する相対的・絶対的評価法を検討し、その信頼性と妥当性を明らかにした。

筋内の組織ストレインは、組織の硬さを可視化するエラストグラフィを用いて検討した。計測は、用手的に組織を圧迫した際に生じる組織変形の前後で歪みを演算して画像化し、その特性を定量した。また、標的筋の横断面像から方位方向の解像度が最大となる音速補正值を求めた。組織ステイフネスの測定は、収束超音波パルスの音響放射圧を用いて関心領域に微小な変位を起こさせ、その際に発生するせん断波を超高速なフレームレートでキャプチャーする技術を用いた。計測は、先行研究 (Fink ら, 2010) を基に行い、プッシュパルスで生じるせん断波の伝播速度および弾性係数のヤング率を求めてカラーマップ画像でリアルタイムに表示し、絶対的に弾性特性を定量した。

計測データより検者内・検者間信頼性として級内相関係数および変動係数を算出した。また、相関係数を基に目標とする信頼性を保証するために必要な測定条件を探索した。更に、特注の弾性ファントムを使用して、超音波法で得られる弾性率の妥当性を確認した。

- (3) 筋組織性状に及ぼす足関節角度、姿勢、運動介入、および下腿・足部病態の影響を分析し、下腿筋の可塑的变化を検討した。足関節の背屈角度の変化に伴う弾性係数の変化ならびに同一角度における荷重の影響を検討した。運動の介入は、他動的なストレッチングを行い、試行前後の比較と経時変化を検討した。

4. 研究成果

- (1) 筋の動員様相の把握が可能な T2 画像の撮像を運動前後に実施した結果、安静時と比較し、足関節の動的な底屈動作 1 分間で下腿底屈筋群の有意な T2 値変化を認めた。また、底屈運動に関わる下腿の諸筋群の動員パターンを定量的に分析し、筋間で比較検討した結果、腓骨筋は腓腹筋内側頭に次いで大きい貢献を示し、重要な役割を担うことが確認された。更に、空間的な筋活動分析に用いた機能的磁気共鳴イメージングは比較的小さな筋の詳

細な分析においても妥当な評価法であることが明らかとなった。今後、単一筋内のコンパートメントにおける機能特性とその分布を動作依存の観点から分析を進めてゆく。

- (2) エラストグラフィ技術を用いた筋組織性状の可視化・定量化するための評価方法を検討した。その結果、筋組織性状の可視化は明瞭で、定性的な分析が可能であることが明らかとなった。また、評価項目の歪み比率における計測の信頼性を検証した結果、検者内の再現性が概ね良好であることが確認された。一方、筋組織の弾性因子に関わるストレインの定量的分析には、ファントムによる基礎検討を十分に行い、生体内組織の標準化に用いるリファレンス物質の作成が重要であることが示された。
- (3) 筋組織性状の相対的な評価法の検討として、筋内の超音波補正音速値の計測における信頼性を検証した。計測の結果、腓腹筋内側頭の組織音速は 1578.0 ± 16.8 m/s で、ヒラメ筋は 1562.6 ± 23.5 m/s であった。また、検者内信頼性は腓腹筋及びヒラメ筋において級内相関係数 0.8 以上と比較的高いことが確認できた。一方、検者間信頼性は 0.6~0.8 の範囲と十分な信頼性を満たしているとはいえず、計測方法の更なる検討を要した。また、検者 1 名では 3 回反復測定した平均値をデータとして用いれば高い信頼性を保証できることが示された。
- (4) 超音波せん断波を捉える超高速スキャン技術を用いて、ヒト生体における下腿筋の組織ステイフネスを定量評価した。健常若年者 13 名を対象にした結果、腓腹筋、ヒラメ筋における安静時のステイフネスは再現性高く定量できるとともに、ヤング率がおおよそ 20-40 キロパスカル (kPa) の範囲にあることが明らかとなった。また、安静腹臥位と比較して、安静立位時は、おおよそ 2 倍ステイフネスを増加させ、肢位変化に伴う荷重の影響が大きいことが示された。さらに、立位時に足関節を他動的に背屈させると、背屈角度 20° では中間位に比べ腓腹筋でおおよそ 3 倍、ヒラメ筋でおおよそ 1.5 倍ステイフネスが増加するとともに、筋間に差異がみられる傾向にあった。
- (5) 下腿三頭筋内の筋実質（筋束領域）のステイフネスに及ぼす静的なストレッチングの影響から運動療法の効果を検討した。健常若年者 14 名を対象に、立位で 5 分間

の間欠的なストレッチを試行した結果、おおよそ 10~14% の減少を認めたが、その変化量は 3kPa 程度と比較的小さく、筋内ステイフネスへの運動効果をあまりもたらさない可能性が窺えた。また、健常若年者 10 名を対象にして、介入後の経時的変化を観察すると、時間経過に伴いステイフネスは徐々に増加し、20 分間後には運動前の状態にほぼ戻ることが確認された。

- (6) 肉離れ等の運動器疾患に伴う筋機能不全や関節可動域制限を呈する症例を対象にして、症状を示す筋組織の形状や性状を描出し定量化表示を試みた。その結果、患側は健常側と比較して、筋束の形状とともにステイフネスの分布に明らかな相違がみられることが判断可能であった。

本研究で実施した新規的な筋組織性状の定性的・相対的評価に、従来の形状測定を加えた多面的な可塑性評価手法を応用することで、リハビリテーション領域で行われる運動機能障害に関わる原因の特定、病態解明ならびに治療や予防プログラムの考案にブレイクスルーをもたらすことが期待できる。

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)

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) Yoshida M, Taniguchi K, Katayose M : Analysis of muscle activity and ankle joint movement during the side-hop test. Journal of Strength and Conditioning Research. 2011(in press) 査読有
- (2) Taniguchi K, Katayose M : The intra-rater and inter-rater reliability of the revised ultrasound velocity measurements in human triceps surae muscles in vivo. The journal of the Society of Orthopedic Ultrasonics. 2010, 22 : 19-23. 査読有
- (3) 吉田昌弘, 菅原一博, 吉田真, 谷口圭吾, 片寄正樹 : 超音波画像による足関節前方引き出しテストの定量評価の再現性. 理学療法科学. 2010, 25 : 499-503. 査読有

[学会発表] (計 9 件)

- (1) 高田千春, 堀本佳誉, 大須田祐亮, 近藤健, 鈴木敦史, 樋坂悠佳, 谷口圭吾 : 超音波画像診断法による重度脳性麻痺者の筋の形態評価. 第 46 回日本理学療法学会大会. 宮崎. 2011 年 5 月 28 日

- (2) 野崎修平, 谷口圭吾, 片寄正樹: 足関節底屈運動による疲労がジャンプ着地前の長腓骨筋の筋活動時間、筋活動量に与える影響. 第21回日本臨床スポーツ医学会学術集会. つくば. 2010年11月6日
- (3) 谷口圭吾, 片寄正樹: 超音波補正音速計測による骨格筋の組織性状評価の検討. 第64回日本体力医学会大会. 新潟. 2009年9月19日
- (4) 池田祐真, 谷口圭吾, 吉田昌弘, 菅原一博, 戸田創, 片寄正樹: インサイドキックとインステップキックにおける蹴り脚長内転筋の活動の相違. 第64回日本体力医学会大会. 新潟. 2009年9月19日
- (5) 榑善成, 谷口圭吾, 吉田昌弘, 菅原一博, 舟根聡太, 片寄正樹, 金子文成: 硬式テニス選手における前腕伸筋群の筋断面積と手関節背屈筋力の関係. 第64回日本体力医学会大会. 新潟. 2009年9月19日
- (6) 谷口圭吾, 片寄正樹, 島村勲: 下腿三頭筋の組織性状評価に向けた超音波補正音速値計測の信頼性. 第21回日本整形外科超音波研究会. 大阪. 2009年7月25日
- (7) 谷口圭吾, 片寄正樹: 超音波音速補正機能を用いた下腿三頭筋の組織音速定量の信頼性検討. 第34回日本運動療法学会. 東京. 2009年6月21日
- (8) 菅原一博, 吉田昌弘, 戸田創, 吉田真, 谷口圭吾, 片寄正樹: 超音波画像診断装置による前距腓靭帯の定量評価の検討. 第44回日本理学療法学術大会. 東京. 2009年5月29日
- (9) 金子文成, 佐保泰明, 青山敏之, 谷口圭吾, 片寄正樹, 渡邊耕太, 山下敏彦: 変形性膝関節症のX線病期分類と超音波像による軟骨評価の関係. 第82回日本整形外科学会学術総会. 福岡. 2009年5月15日

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