

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25年6月17日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22700570

研究課題名（和文） 運動療法への実践応用を目的とした磁気共鳴画像による活動筋評価法の改善と精度向上

研究課題名（英文） Improvement of muscle functional MRI for exercise therapy

研究代表者

俵 紀行（TAWARA NORIYUKI）

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・

メディカルセンター・研究員

研究者番号：30344279

研究成果の概要（和文）：本研究は、非侵襲的な画像診断法である磁気共鳴画像法（MRI）を用いた“筋の活動評価法”を、特に重要視されている体幹部や肩関節などへの応用可能な実践的評価方法として確立させることを目的とした。結果として、1.5T-MRI 装置において時間分解能の向上と取得画像の画質改善に取り組むことで我々が考案した新しい筋機能的 MRI（fast-acquired muscle functional MRI: fast-mfMRI）の改良に成功した。fast-mfMRI の活用によって、体幹部や肩関節の筋についても筋の活動評価を可能とすることが出来た。

研究成果の概要（英文）：In order to take advantage of the evaluation of rehabilitation therapy of trunk or shoulder joint region, the purpose of this study was to propose the assessment technique of muscle activity which induced exercise using muscle functional MRI (mfMRI). In this study, we mainly worked on improvement of the temporal resolution and improvement of image quality on the acquisition image. As a result, improvement of new mfMRI (fast-acquired muscle functional MRI: fast-mfMRI) which we suggested was successful. If you take advantage of the improved fast-mfMRI, it is also possible to evaluate the muscle activity of the region in shoulder joint and the trunk.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：磁気共鳴医工学

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医学

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーション医学やスポーツ医学では運動療法が重要視され、筋力トレーニングは有効な手段である。そのためには、運動療法の対象となる筋の選択を含めて運動に

よる筋の活動評価が必要である。また筋活動の評価は、個人差もしくは集団差の相違や経過観察という形式により行われるため、定量評価が望ましい。

対象とする骨格筋は身体の各部分に存在

するが、特に体幹部はヒトの根幹を成す部分であり、体幹部の評価は四肢にも増して重要性が高い。ゆえに、評価部位の対象は全身であることが望まれる。

スポーツ医学の分野における主な手法として、表面筋電図法や超音波検査法が挙げられ、これを用いた報告が多い。この方法は簡便に行える非侵襲的検査法であるが、計測対象が表層面の筋のみに限定されるため、深層部に位置する筋（例：大腿部の中間広筋）の評価は行えない。一方、MRIは、表面に位置する筋のみならず深部筋も一度に描写できるため、形態変化を把握できる手法として用いられている。加えてMRIの組織特異性を表す指標である横緩和時間(T2値)が、運動に関与した筋で上昇することが示された。以後、MRIを用いた骨格筋の評価は、形態と機能の両面から評価されるようになった。この手法のことを筋機能的MRI(muscle functional MRI: mfMRI)という。このmfMRIの効果的な報告例として、膝伸展運動における大腿四頭筋の筋の活動評価の画像化に成功している。しかし、MRIを用いた従来の研究では四肢筋群に関する報告は多数存在するものの、体幹部の筋の活動評価に関する報告は今まで存在しない。

mfMRIによる筋の活動評価を行うためには、T2値を算出する必要がある。この算出のための一般的な撮像法にはスピネコー法(SE)が用いられているが、この方法は撮像時間に数分間を要してしまう。このため、体幹部に関しては測定時の呼吸停止時間に限界があるという問題から、SEが体幹部の筋に応用できない。こういった理由から、体幹部の筋に関する報告は、筋断面積を用いた形態学的変化に関する報告のみに留まっている。

2. 研究の目的

運動療法や筋力トレーニングの効果検証を客観的に行うためには、運動に誘発された骨格筋の活用様相を把握および評価（以下、筋の活動評価と記す）が必要となる。これまで我々は、高速撮像法の一つであるspin-echo echo-planar-imaging(SE-EPI)を用いたT2値算出による新しいmfMRI(fast-acquired muscle functional MRI: fast-mfMRI)を提案したが、本研究は、このfast-mfMRIの改良またはその効果検証に関する検討を行うことで、特に重要視されている体幹部や肩関節などへの応用可能な実践的評価方法として確立させるものである。

3. 研究の方法

以下に示す内容について、着手できる内容からランダムに検討を行った。

a. 本手法改善のために活用する“基礎的な

手法の特性”を解明するための検討。

SE-EPIの画像はその性質上、取得画像の歪みが大きな問題点として挙げられる。そのため、SE-EPIの条件設定の変更を検討することで、画像の歪み改善に関する検証を行った。

b. あらゆる筋に適応させるために必要な“本手法の改善”に関する検討

本手法は、体幹部深部筋の活動様相を把握するための手法としての確立を目的に検討を重ねてきた(科研費:課題番号19700465)。その結果、体幹部深部筋については本手法の適応が可能となったが、その後の研究結果より、MRIにおける撮像部位の特徴上、同じ筋でも画像内の位置の違いによって信号強度の均一性を保持するのが難しい部位(例えば体幹部の腹直筋や肩関節:以下、難部位と記す)は、本手法の画像処理による筋活動部位の表示が容易ではないことも同時に判明している。

これらの問題点を解決しなければ、本手法の適応範囲を“全身のあらゆる筋”とすることはできない。そこで骨格筋MR画像に対し、難部位でも本手法を適応可能とするため、

b-1. 画像にフィルタ処理を施すなどの工学的なアプローチによる改善策

b-2. 研究代表者が有する臨床経験を活かした知識情報を用いることで、部位ごとに処理手順そのものを再検討する。また、その手順をパターン化する。

といった項目に関する検討が必要がある。

また、本手法を実用化するために必要な項目である“軽度な負荷”に対する本手法の検出能についても、事前に把握する必要がある。この項目も並行して検証したいと考えている。

c. 体幹部または肩関節を対象とした運動療法の効果検証を行うために必要な“運動内容と筋活動との関連性”を解明するための検討

“基礎的な手法の特性”の解明や“本手法の改善法”の構築により、本手法はあらゆる筋で適用可能となる。そこで、運動療法や筋力トレーニングで最も重要視されている、“体幹部”あるいは“肩関節”について、“運動内容と筋活動との関連性”を解明するための検討を行う。

4. 研究成果

平成22年度は、“筋の活動評価法”を実践的な評価方法として確立させるための検討事項として、「軽度な運動に対する本手法の検出能」に関して実施した。

方法は、仰臥位にて右股関節および右膝関節を同時に90度屈曲させる運動を20回1セットとし、計15セット行った。運動前および各

セット終了後にMRIを撮像し、得られた画像から右大腰筋断面積とT2値による変化を分析し比較した。

結果は以下に示す通りである。運動前は筋断面積が $1391.1 \pm 304.1 \text{ mm}^2$ 、T2値が $33.3 \pm 0.7 \text{ ms}$ であった。運動全てのセットを通じて、右大腰筋断面積では有意な増加は認められなかったが、T2値では1セット目から有意な変化を認めた。また、両者とも7セット目以降は、筋断面積では 1560 mm^2 程度、T2値が 45 ms 程度となり、値の上昇はほぼプラトーになる傾向を示した。これらの結果より、反復性運動の検出能は飽和することが示唆された。

以上の結果より、次のことを明らかに出来た。(1) 一般的に広く用いられているMRIの筋断面積法ではトレーニングの急性期に関する評価はできないが、T2値を用いた機能評価法では急性期の効果検証への活用は可能であることが示唆された。(2) 本手法では、運動負荷の増加量と筋活動の頻度との関係を体幹部の深部筋でも検出することができた。これらの結果はトレーニング急性期効果の判定に応用するための貴重な筋活動の応答特性となると考えられる。

平成23年度は、「あらゆる筋に適応させるために必要な“本手法の改善”に関する検討」を実施した。

本手法で使用するMRIの高速撮像法はspin-echo echo-planar-imaging (SE-EPI)であるが、頸部や肩関節のような部位では“画像が歪みやすい”という問題点があるため、これらの部位への本手法の応用は、通常困難であるとされていた。そこで、SE-EPIの撮像パラメータの中のshot numberを調整し改善を試みた。その結果、時間分解能は低下したが画像の歪みは解消できた。これらの結果を踏まえ、本手法の適応の可能性の有無を検証するため、肩関節の外旋運動における「軽度な運動に対する本手法の検出能」に関して検証を行った。1セットの内容を無理のない範囲に設定した運動負荷を10セット施行し、その都度本手法によりデータ収集を行った。その結果、肩関節の外旋運動に関与する小円筋群のみ生じた変化を1セット目から検出できた。比較対象として計測した筋断面積では、全てのセットを通じて検出できなかった。

以上の結果より、次の内容を明らかにできた。(1) 前年度の研究成果により得られた知見同様、T2値を用いた本手法による急性期の軽度な運動に対する検出は、肩関節部でも可能であった。(2) ローテーターカフと呼ばれる深層部に位置する肩関節の重要な筋へのアプローチも、本手法であれば非侵襲的に評

価できることが確認できた。

平成24年度は、「体幹部または肩関節を対象とした運動療法の効果検証を行うために必要な“運動内容と筋活動との関連性”を解明するための検討」のための基礎的検討として、対象筋拡大のための撮像法の改良に関する検討・評価を行った。

我々が考案した新しいmfMRIで使用するT2値計測のための高速撮像法はspin-echo echo-planar-imaging (SE-EPI)であるが、SE-EPIは時間分解能には優れているが空間分解能が極端に低いという問題点も有している。そのため、特に体幹部の筋では大腰筋というある一定以上の断面積を有する筋しか適応ができない。そこで、腹斜筋など薄く断面積の少ない筋へも活用できるための、時間分解能および空間分解能の両方に優れた高速撮像法の適応可否が主な検討内容とした。

検討した高速撮像法は、double-echo steady-state (DESS)である。DESSにより算出されたT2値を標準的なT2値計測法であるmultiple spin echo (MSE)とSE-EPIのそれぞれの撮像法から算出されたT2値と比較した。その結果、人体の軟部組織に近いといわれる模擬物質であるPVAゲルファントム、および大腿部の半腱様筋共に統計処理上の有意差は認められなかった。よって、DESSによる算出T2値は、SE-EPIと同様、筋T2値の計測法として活用できることを確認できた。

以上の結果より、DESSを本手法に用いることで腹斜筋といった薄い筋の筋活動評価へのアプローチも可能であることが示唆された。

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2件)

- 1) Noriyuki Tawara, Osamu Nitta, Hironobu Kuruma, Mamoru Niitsu, Akiyoshi Itoh: T2 Mapping of Muscle Activity Using Ultrafast Imaging. Magn Reson Med Sci, 10(2):85-91, 2011. (査読有)
- 2) 星川淳人, 高橋佐江子, 俵紀行: Muscle functional MRIを用いた筋活動の定量評価の可能性. 臨床スポーツ医学, 29(1): 61-66, 2012. (査読有)

[学会発表] (計22件)

- 1) Noriyuki Tawara, Osamu Nitta, Hironobu Kuruma, Mamoru Niitsu, Atsuto Hoshikawa, Toru Okuwaki, Akiyoshi Itoh: Exercise-Induced Muscle Activities of the Trunk: Detectability of the Slight Impact Using Muscle Functional MRI.

- Joint Annual Meeting of ISMRM and ESMRMB 2010, Stockholm, Sweden, 2010. (2010.05.03)
- 2) Noriyuki Tawara, Osamu Nitta, Hironobu Kuruma, Mamoru Niitsu, Akiyoshi Itoh. Inversion Recovery Pulse Effect on Muscle T2 Calculation. the 19th Annual Meeting of Section for Magnetic Resonance Technologists (SMRT), Stockholm, Sweden, 2010. (2010.04.30)
 - 3) Noriyuki Tawara, Osamu Nitta, Hironobu Kuruma, Mamoru Niitsu, Naoyuki Tamura, Hideyuki Takahashi, Atsuto Hoshikawa, Kakuko Nakamura, Toru Okuwaki, Akiyoshi Itoh: Muscle functional MRI of exercise-induced rotator cuff. the 19th Annual Meeting and Exhibition of International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM), Montreal, Canada, 2011. (2011.05.09)
 - 4) Noriyuki Tawara, Osamu Nitta, Hironobu Kuruma, Mamoru Niitsu, Toru Okuwaki, Akiyoshi Itoh: Complications related to repetition time during the measurement of muscle T2. the 20th Annual Meeting of Section for Magnetic Resonance Technologists (SMRT), Montreal, Canada, 2011. (2011.05.06)
 - 5) Noriyuki Tawara, Hideyuki Takahashi, Naoyuki Tamura, Mamoru Niitsu, Atsuto Hoshikawa, Kohei Nakajima, Toru Okuwaki, Takashi Kawahara: Comparison of pulse sequences for T1 Measurement using Fast imaging. 17th Annual Scientific Meeting of Korea Society for Magnetic Resonance in Medicine (KSMRM), Incheon, Korea, 2012. (2012.03.31)
 - 6) Noriyuki Tawara, Osamu Nitta, Hironobu Kuruma, Mamoru Niitsu, Naoyuki Tamura, Hideyuki Takahashi, Atsuto Hoshikawa, Kohei Nakajima, Toru Okuwaki, Takashi Kawahara: Visualization of exercise-induced activation of rotator cuff muscles using muscle functional MRI. the 20th Annual meeting Meeting and Exhibition of International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM), Melbourne, Australia, 2012. (2012.05.08)
 - 7) Noriyuki Tawara, Katsuya Maruyama, Mamoru Niitsu, Naoyuki Tamura, Hideyuki Takahashi, Atsuto Hoshikawa, Kohei Nakajima, Toru Okuwaki, Takashi Kawahara: Rapid estimation of muscle transverse relaxation time (T2) based on ultrafast magnetic resonance imaging at 3.0 Tesla. the 20th Annual meeting Meeting and Exhibition of International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM), Melbourne, Australia, 2012. (2012.05.08)
 - 8) Noriyuki Tawara, Takahiro Ohnishi, Katsuya Maruyama, Mamoru Niitsu, Hideyuki Takahashi, Kohei Nakajima, Toru Okuwaki, Takashi Kawahara: Visualization of the anterior cruciate ligament using 3D ultrashort echo-time MR imaging at 3.0T. the 20th Annual meeting Meeting and Exhibition of International Society for Magnetic Resonance in Medicine (ISMRM), Melbourne, Australia, 2012. (2012.05.08)
 - 9) Noriyuki Tawara, Osamu Nitta, Hironobu Kuruma, Atsuto Hoshikawa, Takashi Kawahara: Complications related to repetition time during the measurement of muscle T2 in 3.0 Tesla. the 18th Annual Scientific Meeting of Korea Society for Magnetic Resonance in Medicine (KSMRM), Seoul, Korea, 2013. (2013.03.30)
 - 10) 俵紀行, 新田収, 来間弘展, 新津守, 伊藤彰義: T2 値計測における single-shot 型 EPI と multi-shot 型 EPI との比較. 第 99 回日本医学物理学大会, 横浜. (2010.04.09)
 - 11) 俵紀行, 新田収, 来間弘展, 新津守, 星川淳人, 中村格子, 奥脇透: 高速撮像法を用いた体幹部深部筋の活動様相評価法の確立. 第 38 回日本磁気共鳴医学会大会, つくば. (2010.10.01)
 - 12) 俵紀行, 星川淳人, 中村格子, 新津守, 奥脇透: MRI を用いた軽度な運動に誘発された筋活動の検出. 第 21 回日本臨床スポーツ医学会学術集会, つくば. (2010.11.07)
 - 13) 俵紀行, 藤堂幸宏: 3T-MRI を用いた骨格筋の横緩和時間 (T2 値) 計測における撮像方法の比較. 第 5 回九州放射線医療技術学術大会, 熊本. (2010.11.21)
 - 14) 俵紀行, 藤堂幸宏, 田村尚之, 高橋英幸, 星川淳人, 中村格子, 奥脇透, 新田収, 来間弘展, 新津守, 伊藤彰義, 川原 貴: 3.0T-MRI 装置を用いたヒト骨格筋の横緩和時間計測における撮像方法間の比較. 第 39 回日本磁気共鳴医学会大会, 北九州. (2011.09.30)
 - 15) 俵紀行, 大西貴弘, 丸山克也, 新津守, 高橋英幸, 星川淳人, 中嶋耕平, 川原貴: 3.0T-MRI 装置を用いた Ultrashort echo-time MR 画像による膝の靭帯描写に関する特徴. 第 40 回日本磁気共鳴医学会大会, 京都. (2012.09.07)

- 16) Hideyuki Takahashi, Toshiyuki Homma, Yasuhiro Suzuki, Nao Ohiwa, Noriyuki Tawara, Toru Okuwaki, Kentaro Kawanaka, Masanobu Wada, Osamu Takizawa, Katsuya Maruyama. Evaluation Of Muscle Properties By 31P-MRS, 13C-MRS And MRI With A General Clinical MR Device, In: The 57th Annual Meeting of American College of Sports Medicine (ACSM), Baltimore, MD, USA. (2010.06.02-05).
- 17) 清水泰成, 俵紀行, 有賀大樹, 新津守, 関根紀夫: Parallel imaging における Reduction Factor が T2 値計測に与える影響. 第 38 回日本磁気共鳴医学会大会, つくば. (2010.10.01)
- 18) 本田亜紀子, 今有礼, 松林武生, 俵紀行, 鈴木康弘: 低酸素レジスタンストレーニングが骨代謝応答に及ぼす影響 JISS 低酸素研究プロジェクト 2009. 第 65 回日本体力医学会大会, 新潟. (2010.09.16)
- 19) 野崎太希, 田崎篤, 新津守, 俵紀行, 石田也寸志, 星川吉光, 齋田幸久: MRI を用いた投球前後での Internal impingement の形状および腱板構成筋群の T2 値の変化の検討. 第 70 回日本医学放射線学会総会, 横浜. (2011.04.09)
- 20) 本田亜紀子, 松本実, 加藤尊, 俵紀行, 梅村義久: トップアスリートの大腿骨形態および骨応答 ~MRI を用いて~. 第 66 回日本体力医学会大会, 下関, (2011.09.16)
- 21) 辰田和佳子, 横田由香里, 近藤衣美, 亀井明子, 俵紀行, 川原貴: 競技特性の異なる選手の身体組成および基礎代謝量の比較. 第 66 回日本体力医学会大会, 下関, (2011.09.16)
- 22) 高橋英幸, 俵紀行, 瀧澤修, 丸山克也: 1H-MRS と LCModel を用いたヒト骨格筋脂肪定量と緩和時間との関係. 第 38 回日本磁気共鳴医学会大会, 北九州, (2011.09.29)

[図書] (計 3 件)

- 1) 高橋英幸, 俵紀行: スポーツ科学における MRI ~MR Spectroscopy を中心に~. ROUTINE CLINICAL MRI 2011 BOOK. 81-89, 2010. (査読無)
- 2) 俵紀行: 連載企画 MRI k 空間. 埼玉放射線 Vol. 59, No. 2pp150-155 (2011.03). (査読無)
- 3) 俵紀行, 奥脇透: 筋損傷 (特に肉離れ) の診断に有効な MRI の撮像. Rad Fan. 10(8):52-54, 2012. (査読無)

[その他]

本研究に関するインタビュー記事
: Lynn Savage: Fresh Way to Shoot Faster Picturess.

BioPhotonics (May/June), 26-29, 2012. (査読無)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

俵 紀行 (TAWARA NORIYUKI)

独立行政法人日本スポーツ振興センター
国立スポーツ科学センター・メディカル
センター・研究員

研究者番号: 30344279