

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 7 日現在

機関番号：30127
 研究種目：基盤研究(B) (一般)
 研究期間：2013～2016
 課題番号：25282170
 研究課題名(和文) 運動に誘発された筋活動の総合的な解明と対象筋拡大のための筋機能的MRIの改良

 研究課題名(英文) Development of muscle functional MRI (mfMRI) using new parameter for clarification of muscle activity that induced exercise

 研究代表者
 俵 紀行 (Tawara, Noriyuki)

 日本医療大学・保健医療学部・教授

 研究者番号：30344279
 交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,000,000円

研究成果の概要(和文)：リハビリテーション医学では運動療法に対する筋の活動評価が必要となる。筋機能的磁気共鳴画像法(mfMRI)は、運動に誘発された筋活動を捉える非侵襲的な評価法であるが、mfMRIの積極的な活用は検討課題が残されている。そこで本研究では、運動に誘発された筋活動の総合的な解明と対象筋拡大のためのmfMRIの改良を試みた。

本研究で得られた知見としては、次に示すとおりである。時間短縮可能骨格筋の横緩和時間(T₂)を算出するための撮像条件に関する提示と根拠を明らかにでき、腹斜筋の運動に誘発された活動様相も提示できた。また、一般的な撮像方法を用いた一般的な骨格筋の縦緩和時間(T₁)の算出方法の提案もできた。

研究成果の概要(英文)：For sport and rehabilitation medicine, the quantitative evaluation of exercised muscle activity is essential for facilitating optimal exercise selection and designing effective exercise programs. Magnetic resonance imaging (MRI) allows the simultaneous noninvasive investigation of superficial and deep muscle activity during exercise. However, there are many problems to be solved in order to utilize mfMRI. The purpose of this study was to investigate the new techniques of muscle functional MRI (mfMRI) in order to evaluate the human muscle activity that induced exercise.

As the results, this research revealed the basis of the acquiring condition to reduce scanning time for calculating the transverse relaxation time (T₂) of skeletal muscle. We showed the muscle activity of abdominal oblique muscles by mfMRI. In addition, we could also propose a method to reduce the scanning time for calculating longitudinal relaxation time (T₁) of skeletal muscle using general pulse sequence.

研究分野：磁気共鳴医工学

キーワード：骨格筋 横緩和時間(T₂) 縦緩和時間(T₁) 運動 SE-EPI DESS TurboFLASH Goodness-of-fit

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、筋力トレーニングが有効な手段となっている。そのため、運動療法の対象となる筋の選択を含めた運動による筋の活動評価が必要となる。また、筋活動の評価は、個人差もしくは集団差による比較、または個人の経過観察という型式にて行われるため、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ること、肩関節は投球動作に重要であるが非常に負傷しやすい部位であるなど、それぞれの筋が重要な役目を果たしている。ゆえに、評価部位の対象は全身であることが望まれる。

筋機能的磁気共鳴画像法 (muscle functional magnetic resonance imaging: mfMRI) は、運動に誘発された筋活動を捉える非侵襲的な磁気共鳴画像法 (MRI) である。mfMRI は筋組織の水分含有量に比例した横緩和時間 (T2 値) の変化を捉える手法であるため、「非侵襲的な運動による筋の活動評価法」として期待されている手法の1つである。

しかしながら、従来法による mfMRI では、T2 値を算出するための画像取得法にスピンエコー法 (SE) が用いられているが、数分間の撮像時間を要してしまう。そのため、撮像時の呼吸停止時間に限界がある体幹部では、SE による T2 値算出は行えない。また、mfMRI による筋活動の評価は疲労困憊に追い込まないとその変化を捉えられないと経験的に言われている。そのため、mfMRI の現状としては、「リハビリテーション医学やスポーツ医学での運動療法等の評価法としては積極的な応用はできない」ため、mfMRI の活用に関しては検討課題が残されている状態であった。

MRI には様々な組織特異度を有するパラメータ (組織パラメータ) が多数存在する。そこで従来では運動に誘発された筋の同定のみであった mfMRI を、主として様々な筋の組織パラメータの計測を可能にするため、MRI の最新技術を応用した mfMRI の改良 (改良型 mfMRI) を行うことで、リハビリテーション医学やスポーツ医学の分野における「非侵襲的な運動による筋の活動評価法」としての確立させる必要性が生じていた。

2. 研究の目的

本研究では、運動に誘発された筋活動の総合的な解明と対象筋拡大のための筋機能的 MRI (muscle functional MRI: mfMRI) の改良に関して研究を遂行した。

3. 研究の方法

本研究では主に下記に示す項目に関して検討を行った。

3 - 1. 本手法の適応範囲を容量が小さい筋にも応用できるよう、時間分解能と空間分

解能と2つの相対する項目の両方を満たす撮像条件の開発も含めた本手法の改良を行う。

3 - 2. T2 値以外のパラメータ (T1 値) を mfMRI に応用するための基礎的検討を行う。

3 - 3. 3 - 1. および 3 - 2. の結果を踏まえて、運動に対応する各骨格筋との関係把握および運動に誘発された筋活動の生理的なメカニズムの解明に関する基礎的検討を行う。

4. 研究成果

次の3点について明らかにすることができた。

4 - 1. 骨格筋の横緩和時間 (T2) を算出するための撮像条件において、時間短縮を可能にするための条件提示と共にその提示可能となる根拠を示すことができた。これまでの運動生理学分野では、筋活動による骨格筋の変化を捉えるための必要条件として挙げられていた「撮像時間の短縮化」に関しては一定の見解が得られておらず、算出値の妥当性についても疑問視されていた。本研究では、磁気共鳴の物理学的原理に基づいた撮像時間の短縮化に関する検証を行い、繰返時間 (TR) およびエコー時間 (TE) に関する設定の妥当性を示すことができた。

4 - 2. 従来の mfMRI では評価不可能とされていた体幹部腹斜筋の筋活動に関して、新たな手法の提案による mfMRI に評価が可能であることを提示できた。内容としては、標準的な撮像法であるスピンエコー法 (SE) では撮像時間の短縮化に限界があるという問題点、撮像時間の短縮化に大きな利点を有するスピンエコー・エコープラナーイメージング (SE-EPI) では空間分解能向上に限界があるという問題点をそれぞれ有していた。本研究で検討に用いた方法は T2 算出が可能な撮像法 (パルスシークエンス) である Dual-Echo Steady-State 法 (DESS) を活用することで、3 つ有している腹斜筋の運動に誘発された活動様相を T2 により描写が可能であることを示すことができた。

4 - 3. 骨格筋の縦緩和時間 (T1) の算出方法において、特殊なパルスシークエンスではなく、一般的な方法を活用することにより、従来法の約 1/60 の撮像時間にてデータ取得が可能な手法を提案し、その算出精度に関して検証を行った。内容としては、先行研究の報告を持ち、TurboFLASH 法を活用し、撮像条件を調整することで撮像時間の大幅な短縮化に成功し、更には、その

算出精度に関しても数学的に担保できていることも確認できた。

<引用文献>

Blüml S, Schad LR, Stepanow B, Lorenz WJ. Spin-lattice relaxation time measurement by means of a TurboFLASH technique. Magn Reson Med. Vol.30, Num.3, 1993, pp.289-95.

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)

Tawara N, Nishiyama A. Effect of number of measurement points on accuracy of muscle T2 calculations. Investig Magn Reson Imaging, Vol.20, Num.4, 2016, pp.207-214.

Nakajima K, Hosikawa A, Ito S, Morioka Y, Tawara N, Nakamura K, Okuwaki T, Kawahara T. The Sport Habit During Younger Age May Bring Good Effect For Locomotory System And Function.- From Periodic Medical Checkup On Former Japanese Olympian at 1964-. Br J Sports Med, Vol.48, Num.7, 2014, pp.644.

Polharn P, Krisanachinda A, Tawara N, Ponkanist K. The effect of repetition time during the measurement of muscle T2 for investigating muscle activity at 1.5 tesla MRI, Medical Physics International, Vol.4, Num.2, 2016, pp.345.

[学会発表](計12件)

Tawara N, Nishiyama A. A Comparison between Single-Shot SE-EPI and Multi-Shot SE-EPI on Calculating T2. In: Proceedings of ICMRI2017, Seoul, Korea, 2017; p51. (2017.03.24)

Tawara N, Nishiyama A. Rapid T1 measurement using Fast imaging (高速撮像法による T1 計測の撮像時間短縮化).第44回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, Vol. 36. SUPPLEMENT pp.246, さいたま, (2016.09.09)

Tawara N, Ponkanist K, Shiratori S, Krisanachinda A, Yamamoto T. Accuracy evaluation of pulse sequences using inversion recovery pulse for T1 measurement. Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med, Suntec City, Singapore, 2016, p4481. (2016.05.12)

Tawara N. Complications related to the number of measurement point during the measurement of muscle T2. In: Proceedings of ICMRI2016, Seoul, Korea, 2016, p51. (2016.03.26)

Tawara N, Washiyama E: Muscle

functional MRI using Thee-dimensional double-echo steady-state (3D-DESS) sequence at 3.0T: flip angles for calculation of muscle T2. In: Proceedings of ICMRI2015, Seoul, Korea, 2015, p57. (2015.03.27-28)

Tawara N, Ohnishi T, Yamamoto T. Dynamic analysis of T2 and proton density of exercise-induced muscle using SE-EPI. Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med, Toronto, Canada, 2015, p4255. (2015.06.03)

依紀行, 大西貴弘, 新津守. 筋機能的 MRI を用いた運動に誘発された体幹部腹斜筋の筋活動検出の試み. 第42回日本磁気共鳴医学会大会講演抄録集, Vol. 34. SUPPLEMENT pp.343, 2014, 京都, (2014.09.18)

Tawara N, Washiyama E, Ohnishi T, Niitsu M, Nakajima K, Okuwaki T, Kawahara T. Inversion recovery pulse effect on muscle T2 calculation. In: Proceedings of ICMRI2014, Seoul, Korea, 2014, p664. (2014.03.28-29)

依紀行, 川原貴. 3.0T-MRI 装置における骨格筋 T2 計測に影響を及ぼす繰返時間に関する検討. 日本放射線技術学会第41回秋季学術大会, Vol. 69, Num.9, pp.1040, 福岡, (2013.10.17)

Tawara N, Washiyama E, Ohnishi T, Niitsu M, Nakajima K, Okuwaki T, Kawahara T. Changes of transverse relaxation time (T2) of the exercised skeletal muscle by ultrafast imaging. European Congress of Radiology, Vienna, Austria, 2014, C-0865. (2014.03.06-10)

Tawara N, Ohnishi T, Maruyama K, Jellus V, Tamura N, Takahashi H, Niitsu M, Hoshikawa A, Nakajima K, Okuwaki T, Kawahara T. Detectability of exercise-induced muscle activities of abdominal oblique muscle using muscle functional MRI. Proc. Intl. Soc. Mag. Reson. Med, Salt Lake City, Utah, USA, 2013, p3513. (2013.04.23)

Tawara N, Nitta O, Kuruma H, Hoshikawa A, Kawahara T. Complications related to repetition time during the measurement of muscle T2 in 3.0 Tesla. In: Proceedings of ICMRI2013, Seoul, Korea, 2013; p207. (2013.03.30)

[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

<http://www.nihoniryo-c.ac.jp/radiological-sciences/teaching-staff/noriyuki-tawara/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

俵 紀行 (TAWARA, Noriyuki)

日本医療大学・保健医療学部・教授

研究者番号：30344279

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

研究者番号：

(4) 研究協力者

Anchali Krisanachinda
(Anchali Krisanachinda)
Faculty of Medicine, Chulalongkorn
University, Thailand • Associate
Professor

()