

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19700465

研究課題名 (和文) 磁気共鳴画像法を用いた体幹部深部筋の活動様相評価法の確立

研究課題名 (英文) Muscle functional magnetic resonance imaging of the trunk

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・スポーツ医学研究部・
研究員

研究者番号：30344279

研究成果の概要 (和文)：運動に誘発された筋活動の評価において、特に体幹部深部筋は、スポーツ医学やリハビリテーション医学では重要な筋として重要視されている。そのため、軟部組織の描写に優れている磁気共鳴撮像法 (MRI) は、横緩和時間 (T_2 値) を用いて運動前後の筋の変化を捉えられるので、形態のみならず機能評価にも応用されている。しかしながら、従来の手法では、 T_2 値計測に必要な撮像時間は数分間を要するため、計測対象となる部位は四肢に限定されていた。本研究では、時間分解能に優れた高速撮像法を T_2 値計測に応用可能であることを実験的に検証し、体幹部深部筋の筋活動評価にも適応可能な評価法 (fast-acquired muscle functional MRI, fast-mfMRI) を確立させた。また、その活動様相の可視化に成功できた。

研究成果の概要 (英文)：Evaluation of exercise-induced muscle activity, especially of trunk muscles, is essential in sports medicine and rehabilitation medicine and can be performed using magnetic resonance (MR) imaging. The transverse relaxation time (T_2) of exercised muscle is greater than that of muscle at rest, and previous studies proposed muscle functional magnetic resonance imaging (mfMRI) to visualize the enhanced activity. However, its use with spin echo (SE) sequence to calculate T_2 requires minutes of the acquisition time and is limited to the limbs. We proposed and verified the feasibility of mfMRI using ultrafast imaging (fast-acquired mfMRI, fast-mfMRI). So, we evaluated trunk muscle activity using fast-mfMRI. We presented fast-mfMRI demonstration of functional information with detailed morphologies. One advantage of fast-mfMRI is the rapid scan time of human trunk imaging.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

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医学・福祉工学

キーワード：骨格筋、磁気共鳴画像、運動、体幹部深部筋、活動様相

1. 研究開始当初の背景

リハビリテーション医学の中の運動療法学では、身体機能を維持し快適な生活を送るため、定期的な運動の実施を重要視している。また、スポーツ医学における筋力トレーニングは、競技能力の向上もしくはスポーツ障害からの復帰のための有効かつ重要な手段である。これらの運動療法や筋力トレーニングにより効果的な成果を残すためには、目的とする筋を活動させる運動の選択と、運動による筋活動の評価が必要となる。また筋活動の評価においては、経過観察や個人差もしくは集団差を評価することも可能にするため、定量評価であることが望ましい。

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ていた。

しかしながら、骨格筋の評価に関する先行研究にて得られた知見には、以下に示す問題点が存在していた。

問題点

(1) 従来の計測方法

スポーツ医学の分野における主な手法として、直接穿刺による筋電図法もしくは表面筋電図法を用いた報告が多い。この方法は簡便に行えるものの、前者の方法は侵襲的な検査であること、後者の方法は計測対象が皮膚表面に接する筋のみに限定されるという特徴を有している。

問題点

この方法では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。

(2) 磁気共鳴画像法 (Magnetic Resonance Imaging: MRI)

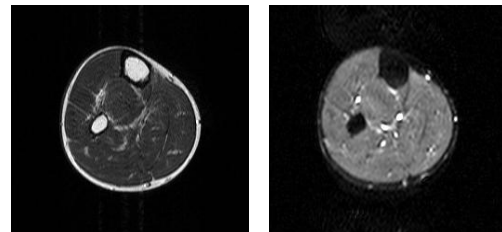
一方、MRI は、表面に位置する筋のみならず深部筋も一度に描写できるため、形態変化を把握できる手法として用いられている。加えて、1988年のFleckensteinら¹⁾の報告により、MRIの組織特異性を表す指標である横緩和時間(T2値)が、運動に関与した筋においては上昇することが示された。以後、MRIを用いた骨格筋の評価に関しては、形態と機能の両面による評価が多数報告されるようになった。

問題点

a. T2値の算出にはスピンエコー(SE)法による評価が一般的であるが、SE法では一度の撮像に数分の時間を要するため、先行研究での計測対象は、前腕部、大腿部や下腿部とい

った四肢に限られていた。また、T2値の算出は、画像の信号強度そのものではなく、それらの値を用いた数値計算により求められるため、算出精度に影響する撮像条件の検討は重要な要素となる。特に短い値をもつ骨格筋では、長いT2値をもつ通常の生体組織とは別に検討する必要があるにもかかわらず、先行研究ではほとんど議論されてはいない。そのため、算出されたT2値の精度を疑問視しなければならぬ場合も見受けられる。

b. 超高速撮像法の1つであるエコープラナーイメージング(EPI)法は、一度の撮像を数秒で行える。このため、SE系EPI(SE-EPI)法を用いた報告も存在するが、その大半が信号強度の変化のみを使用したものである。また、画像コントラストにおいて、原理的にはSE法とSE-EPI法は同様のコントラストを示すといわれているが、実際は図1に示すように、類似はしても同一ではない。しかしながら、これらの撮像方法に関する比較検討の報告例はない。そのため、現在でもこれらの画像は“同一の画像コントラスト”として骨格筋の評価に用いられている。



(a) SE 法

(b) SE-EPI 法

図 1. 同一被検者の下腿部 MR 画像

⇒ 以上の問題点より、T2値を用いた骨格筋の評価は報告ごとで異なり、考察が一致していない。

(3) 体幹部深部筋に着目した筋活動の評価に関して

体幹部の骨格筋を撮像する際、呼吸停止で行う必要があるため、費やせる撮像時間は数十秒間程度が限界である。そのため、四肢とは異なり、その報告例はほとんど存在しない。近年、若干の報告例があるものの、死体解剖による検討考察や、筋電図法による体幹部の筋のみを評価対象とした報告に留まっている。

⇒ 体幹部深部筋を対象にした“骨格筋の評価”に関する報告は存在しない。

2. 研究の目的

上記に示す問題点を解決するため、MRIを活用し、体幹部深部筋も計測対象にした“骨格筋の評価”の定量評価方法を確立することが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) T2値算出の精度に問題があることに着目し、その精度向上を目的とした検討

①診断用MRI装置の特徴を把握した撮像条件の最適化に関する検討

②T2値算出法の精度向上に関する検討

(2) 臨床応用可能な超高速撮像方法を用いた、T2値算出に関するSE法との比較

①SE法と超高速撮像法（主としてSE-EPI法）との比較検討による、超高速撮像法での撮像条件の最適化に関する検討。

②SE法での撮像が可能な部位である四肢による、超高速撮像法の骨格筋の評価に関する有用性の検討。

(3) 体幹部の深部筋への応用が可能な方法の確立

①上記に示す1. および2. の結果を用いた体幹部深部筋の筋活動評価に関する検討。

4. 研究成果

(1) T2値算出の精度に問題があることに着目し、その精度向上を目的とした検討

：本研究でターゲットとしている組織である骨格筋の T2 値は非常に短いため、値が長い脳実質等とは異なる注意が必要であることが経験的に言われている。そこで本研究では、これらの事項に関して実験的な検証を行った。

その結果、“T2 値は非常に短い”ということは、エコー時間 (TE) が短い場合でも筋の MR 信号の減衰が進行している。また、MR 画像には熱雑音を含まれており、これは TE に依存しない一定の分布をもって存在している。

T2 値を算出するための緩和式は熱雑音が全く存在しないことを仮定した式（仮定式）を用いるが、我々の実験では、筋の MR 信号と熱雑音による信号との差を示す信号対雑音比 (SNR) が高い場合は問題ないが、SNR が低い場合には、仮定式では誤差を生じることを明らかにした。

これらの結果から、T2 値計測では、信号受信コイルの選択には十分な注意を要し、常に SNR が高くなるよう配慮することが必要であることが示唆された。

以上のことより、T2 値計測は SNR の高低に依存し、算出精度に大きく影響されることが確認できた。

(2) 臨床応用可能な超高速撮像方法を用いた、T2値算出に関するSE法との比較

：MSE と同等の画像コントラストを有するといわれる高速撮像法であるスピンエコー系エコープラナーイメージング (SE-EPI) を T2 値計測に活用するための条件設定に関する検討を行う。検討内容は高速撮像法を T2 値計測に適応するに当たっての問題点及びその解決法であり、得られた結果の詳細は、次に示すとおりである。

①MR 信号を収集するエコー時間 (TE) は、75 ms 以下であれば、筋の MR 信号において、SE-EPI と MSE との間には相違がない。

②計測点の数も3点ないし4点以上であれば、筋の T2 値算出には問題ないことを実験的に証明できた。加えて、繰り返し時間 (TR) も、筋については TR = 2000 ms の短い時間の設定で問題なかった。

通常 MRI から得られる MR 信号のみでは、定量評価を行うことができず、別途 T2 値を算出する必要があるが、運動負荷前後の信号利得を一定にすることで、運動により活性化した筋を同定可能であることも明らかにできた。

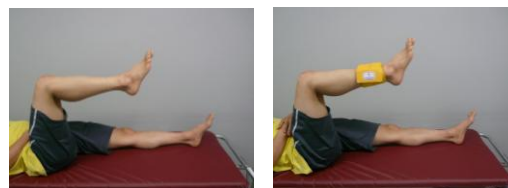
以上の結果より、高速撮像法を用いた T2 値計測は可能であり、撮像時間の大幅な短縮は可能であることを明らかにできた。

(3) 体幹部の深部筋への応用が可能な方法の確立

：我々は、MRI の高速撮像法を用いた筋活動評価法 (fast-acquired muscle functional MRI (fast-mfMRI)) を考案し、従来不可能であるとされていた体幹部深部筋の活動様相評価を実際に行い、その成果を検証した。

7名の被検者の大腰筋に対して、3つの運動を続けて行い、その前後で MRI を撮像した。運動方法の詳細を以下に示す (図2参照)。

(運動1) 一定のリズム下にて右下肢による股関節および膝関節 90 度屈曲運動を 100 回繰り返し行う。(運動2) 右足関節部に 1 kg の負荷を付け、(運動1)と同様の運動を行う。評価対象の筋として大腰筋を選択したのは、体幹部の深部に位置し、最も広い断面積を有している筋の一つであるためである。



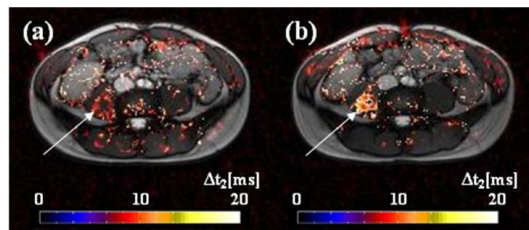
(a) 運動1

(b) 運動2

図2. 運動方法

その結果、7名の被検者全てにおいて本手法により運動に誘発された筋活動を可視化することができた(図3参照)。また、T2値をカラーテーブルによりスケール化し形態画像と融合し表示しているため、活動した筋の場所、程度の両方を一目で把握することも可能となった。これらの結果により、(a)運動1と(b)運動2では右大腰筋が活動しており、また運動2は運動1よりも活動の頻度が高いことを確認できた。

従来、ヒトの随意運動の根幹を成す体幹部に位置する筋群の評価は、四肢にも増して重要性が高いにもかかわらず、評価方法は存在しなかった。本研究では、体幹部トレーニングとみなされている運動動作が体幹部骨格筋に正しく作用するのか否かを明らかにする定性的評価方法の提案に初めて成功することができた。本手法を用いれば、運動内容と活動した筋との関連性を画像化すること



(a) 運動1終了後 (b) 運動2終了後

図3. fast-mfMRIによる右大腰筋の筋活動の可視化

で定性的評価が可能となる。これにより、例えば腰痛予防に効果的な筋の特定に寄与できることや、従来の経験則による筋力トレーニングにおける運動内容と使用する筋との関係把握などが期待される。

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8件)

- ① Tawara N, Nitta O, Kuruma H, Niitsu M, Hoshikawa A, Okuwaki T, Itoh A: Functional T2 Mapping of the Trunkal Muscle. Magn Reson Med Sci, 査読有, Vol. 8, Num. 2, 2009, pp81-83.
- ② Yanagisawa O, Dohi M, Okuwaki T, Tawara N, Niitsu M, Takahashi H: Appropriate Slice Location to Assess Maximal Cross-sectional Area of Individual Rotator Cuff Muscles in Normal Adults and Athletes. Magn Reson Med Sci, 査読有, Vol. 8, Num. 2, 2009, pp65-71.
- ③ Kubota J, Ono T, Araki M, Tawara N, Torii S, Okuwaki T, Fukubayashi T: Relationship between the MRI and EMG Measurements. Int J Sports Med, 査読有,

Vol. 30, Num. 7, 2009, pp533-537.

- ④ 俵紀行, 新田 収, 来間弘展, 新津守, 伊藤彰義: 運動療法のための体幹部骨格筋の評価 -高速スキャン磁気共鳴画像法(MRI)を利用した筋の活動性の画像化-. 第24回健康医科学研究助成論文集(平成19年度), 査読有, 2009, pp81-89.
- ⑤ 俵紀行, 新田 収, 来間弘展, 新津守, 伊藤彰義: 筋機能MR画像の収集時間短縮化の試み. 医画情誌, 査読有, Vol. 26, No. 1, 2009, pp1-7.
- ⑥ 俵紀行, 新田 収, 伊藤彰義: ヒト骨格筋の横緩和時間計測のための撮像法比較. 日磁医誌, 査読有, Vol. 28, No. 1, 2008, pp25-34.
- ⑦ 俵紀行, 新田 収, 伊藤彰義: 高速撮像法を用いたMR画像重ね合わせによる骨格筋の活動様相可視化の試み. 日放技学誌, 査読有, Vol. 63, No. 12, 2007, pp1253-1259 (2007).
- ⑧ Tawara N, Itoh A: Effects of MR image noise on the estimation of short T2 values from T2-weighted image series. Magn Reson Med Sci, 査読有, Vol. 6, Num. 4, 2007, pp187-197.

[学会発表] (計16件)

- ① 俵紀行, 新田 収, 来間弘展, 新津守, 伊藤彰義: 反転パルスの有無が及ぼす高速撮像法を用いた骨格筋T2値算出への影響. 日放技学誌, Vol. 65, No. 9, pp1269, 岡山, (2009.10.23)
- ② 俵紀行, 新田 収, 来間弘展, 高橋英幸: MRIを用いた体幹部骨格筋の活動様相の可視化. 第64回日本体力医学会大会予稿集, pp229, 新潟, (2009.09.19)
- ③ 俵紀行, 新田 収, 来間弘展, 新津守, 伊藤彰義: MRIを用いた体幹部深部筋の活動様相評価法の考案. (II-6). 医用画像情報学会平成20年度秋季(第152回)大会, 広島, (2008.10.04)
- ④ Tawara N, Nitta O, Kuruma H, Niitsu M, Hoshikawa A, Okuwaki T, Itoh A: Muscle functional magnetic resonance imaging of the trunk. In: Proceedings of the 17th Scientific Meeting of ISMRM, Hawaii, USA, 2009; pp3956. (2009.04.23).
- ⑤ Tawara N, Nitta O, Kuruma H, Niitsu M, Itoh A. Rapid T1 Measurement using Fast imaging. In: Proceedings of the 18th SMRT Annual Meeting of, Hawaii, USA, 2009; pp415. (2009.04.17)
- ⑥ 俵紀行, 新田 収, 来間弘展, 新津守, 伊藤彰義: 超高速撮像法を用いた運動後の骨格筋T2値の変化. 日磁医誌, Vol. 28 SUPPLEMENT, pp387, 旭川, (2008.09.12)
- ⑦ Nitta O, Tawara N, Kuruma H, Furukawa Y,

- Senoo A, Surya J. The effect of balance exercise using an unstable plate on deep-seated muscles of the body trunk by evaluating the activities of deep-seated muscles from changes in MR signal ? : In 9th International Conference of IFOMT, Rotterdam, the Netherlands, 2008; pp0059 (2008.06.12)
- ⑧Kuruma H, Nitta O, Tawara N, Furukawa Y, Shida N, Kamio H, Takei H, Watanabe S, Yanagisawa K. Assessment of deep-seated muscle activity by measuring MRI signal intensities: 9th International Conference of IFOMT, Rotterdam, the Netherlands, 2008; ppIP101 (2008.6.12)
- ⑨Tawara N, Nitta O, Kuruma H, Niitsu M, Itoh A. Muscle functional magnetic resonance imaging using ultrafast imaging. In: Proceedings of the 16th Scientific Meeting of ISMRM, Toronto, Canada, 2008; pp3673. (2008.05.08)
- ⑩Tawara N, Nitta O, Kuruma K, Niitsu M, Itoh A. Transverse relaxation time of the exercised skeletal muscle by ultrafast imaging. In: Proceedings of the 17th SMRT Annual Meeting, Toronto, Canada, 2008; pp308. (2008.05.03)
- ⑪俵紀行, 新田 收, 来間弘展, 新津守, 伊藤彰義: 縦緩和時間 (T1 値) 計測の撮像時間短縮を目的とした高速撮像法. 医学物理, Vol.28 Supplement, No.2 April, pp91-92, 横浜, (2008.04.04)
- ⑫俵紀行, 新田 收, 来間弘展, 伊藤彰義: 縦緩和時間が与える横緩和時間算出への影響に関する検討. 中四国放射線医療技術, Vol.3, pp66, 広島, (2007.11.10)
- ⑬俵紀行, 新田 收, 伊藤彰義: 繰返時間 (TR) の変化が及ぼす骨格筋の MRI 横緩和時間 (T2 値) 算出への影響. 日放技学誌, Vol.63, NO.9, pp1032, 名古屋, (2007.10.25)
- ⑭俵紀行, 新田 收, 来間弘展, 伊藤彰義: 磁気共鳴画像の融像による骨格筋の活動様相可視化の試み. (D4). 医用画像情報学会平成 19 年度秋季 (第 149 回) 大会, 福岡, (2007.10.06)
- ⑮俵紀行, 新田 收, 伊藤彰義: ヒト骨格筋の横緩和時間 (T2 値) 計測における計測点の設定が与える精度への影響. 日磁医誌, Vol. 27 SUPPLEMENT, pp387, 神戸, (2007.09.28)
- ⑯俵紀行, 伊藤彰義: 骨格筋を対象とした縦緩和時間 (T1 値) 計測法における撮像方法間の比較. 医学物理, Vol. 27 Supplement No. 2, April, pp231-232, 横浜, (2007.04.15)

[産業財産権]
○出願状況 (計 1 件)

名称: 画像処理装置、画像処理プログラム及び磁気共鳴装置

発明者: 俵 紀行、新田 收

権利者: 独立行政法人日本スポーツ振興センター

種類: 特願

番号: 2008-112021

出願年月日: 2008 年 4 月 23 日

国内外の別: 国内

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・スポーツ医学

研究部・研究員

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

新田 收 (NITTA OSAMU)

首都大学東京・健康福祉学部・教授

研究者番号: 80279778

来間 弘展 (KURUMA HIRONOBU)

首都大学東京・健康福祉学部・助教

研究者番号: 062260400729F

新津 守 (NIITSU MAMORU)

首都大学東京・健康福祉学部・教授

研究者番号: 50251062

伊藤 彰義 (ITOH AKIYOSHI)

日本大学・理工学部・教授

研究者番号: 60059962