

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：24701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2011～2014

課題番号：23650362

研究課題名(和文) 磁気共鳴画像法による生体内温度分布を用いた骨格筋クーリングの検証

研究課題名(英文) The visualization of the temperature change by the icing using the magnetic resonance imaging

研究代表者

馬淵 博行 (MABUCHI, HIROYUKI)

和歌山県立医科大学・みらい医療推進センター・研究員

研究者番号：50365508

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：T1値は温度変化に依存して上昇・減少する傾向にあり、T1マッピングで温度を推論し、また温度測定を非侵襲的かつ空間温度分布まで提供できるという報告も近年出てきている。本研究においても、クーリングを行うことで温度が低下すると、T1値はクーリング時間に応じて減少した。しかし、T2値は温度変化に対応した変化を示すことはなかった。

T2値は運動した際の活動筋の同定を短時間撮像で行うことができるという優れた面を持っていることから、T1値とT2値を必要に応じて使い分けを行うことで、アスリートに運動した際の筋活動やクーリングでの冷却効果など視覚的に理解をしやすい情報を提供することができる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：When it performed a control condition and cooling condition after exercise, a big difference was seen in T1 value in MRI. It is speculated that the change of T1 value might be feasible to represent a temperature change and proved that it is said the T1 value is one of factors related deeply to temperature.

This method is expected to be useful to evaluate the effectiveness of rehabilitation or training in sports where cooling is very common and in heavy usage. However, the T1 value is not able to demonstrate the absolute temperature, therefore to obtain real temperature, further study to know relationship between T1 value and real temperature using a needle temperature sensor will be needed.

研究分野：スポーツ医科学

キーワード：骨格筋 磁気共鳴画像法 クーリング コンディショニング

1. 研究開始当初の背景

骨格筋をクーリングする手法は、主にクライオセラピー（冷却療法）としてリハビリテーション分野の物理療法のひとつとして実践されている。また、スポーツ分野では、受傷直後の応急処置として Rest、Icing、Compression、Elevation（RICE）が実践されている。これは主に損傷した部位の組織を冷却することで、血流や毛細血管の透過性を減少させ充血、出血、腫脹を軽減して二次的な組織の損傷を防止することを目的としている。

最近では、コンディショニングを目的として骨格筋をクーリングする手法が現場で実践されている。コンディショニングとして実践されているクーリングは指導者やトレーナーによって経験的に実践されており、多くは前述した RICE 処置の手法を代用している。コンディショニングを目的としたクーリングに関するエビデンスに基づいた報告は未だされていない。

2. 研究の目的

本研究では、磁気共鳴画像法（MRI）を用い、MRI の指標の一つである熱振動としてエネルギー放出を計測している T1 緩和を指標とした T1 値は、熱依存性が高い。これを基に、形態画像と T1 値の分布を重ね合わせ可視化した“T1map”を作成することで、視覚的に部位の同定が可能となり、骨格筋に対するクーリングの効果を非侵襲的に検証し、現場へ活用するための科学的なエビデンスとして確立させるため、縦断的・横断的に検討していく。

3. 研究の方法

(1) 使用機器

用いた装置は、3.0T whole bodies MRI scanner (Magnetom Verio; SIEMENS, Erlangen, Germany)、使用コイルは

15-channel knee coil (QED, Ohio, USA)、冷却装置として低温恒温水槽(LTB 400, AS ONE, Osaka, Japan)を用いた。

(2) クーリング時における T1 値測定

男性被験者 10 名（20 歳～35 歳：身長(平均 ±SD)：169.7±6.4cm、体重：70±12.5 kg) に対し 5 の循環水を用いて下腿部近位 30% 部位を中心（前脛骨筋中心）として 20 分間のクーリング行なった。MRI の撮像はクーリング開始前・5・10・15・20 分後とリカバリ時間 60 分間（5・10・15・20・30・40・50・60 分）の計 13 回とし、夫々の撮像に対して T1 値（縦緩和時間）測定を行い、形態画像と T1 値画像との融合画像を作成することで、形態画像上にカラーマッピングを行なった。用いた撮像シーケンスは three-dimensional Variable Flip Angles (3D-VFA)¹⁾⁻⁶⁾である。

(3) クーリング時における T2 値測定

T2 値の測定は T1 値測定の時と同様の被験者で同様の実験プロトコルによって、T2 値測定で汎用的に用いられている MSE シーケンスを用いて行った。

4. 研究成果

(1) クーリング時の T1 値・T2 値の測定

実験プロトコルに基づいた MRI 撮像後、計算によって求められた T1 値画像・T2 値画像に対して前脛骨筋：TA、長趾伸筋：EDL・ヒラメ筋：SOL に 1cm×1cm×1cm の ROI を設定し ROI 内の平均値を T1 値、T2 値とした。なお ROI の設定、平均値・SD の算出には MATLAB (Math Works, Natick, USA) を用いた。

T1 値と T2 値の変化率のグラフを図 1 に示す。

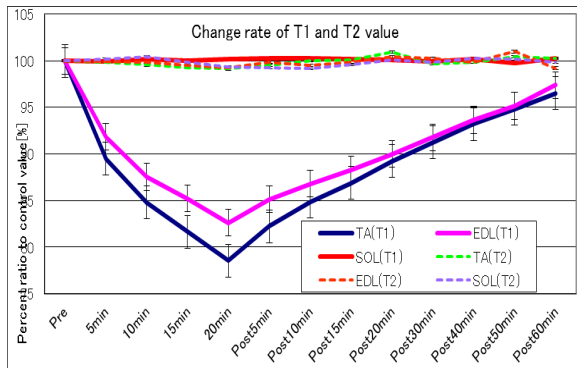


図 1：クーリング時の T1 値・T2 値の変化率

こちらのグラフから、下腿部近位 30%部位の TA を中心に冷却パットを当ててクーリングを行った際に TA と EDL は冷却時間に応じて T1 値は減少し、リカバリー時間に応じて T1 値が回復している傾向にある。しかし深部にある SOL ではほとんど T1 値の変化は見られず、表層を冷却しても深部の筋までは冷却されていないことが考えられる。T2 値に関しては、多少の変動はあるものの冷却前後で優位な差は認めることができなかった。T1 値の変動については冷却時間に対して変化していることから、温度対し T1 値が線形的に変化することが示唆されたが、これは過去の文献とも一致する⁷⁾。

続いて図 2 に T1 値画像と形態画像との融合画像を示す。この図において T1 値の高いところほど色は赤く、T1 値の低いところほど青～緑色を示している。図 2 からクーリング時間に応じて TA 部が徐々に緑色へと変化していき、深部の方まで広がっていくことが視覚的に観察される。またリカバリー時の撮像を行ったことで、クーリングによって緑色に変化した部分が徐々に緑から黄色・オレンジへと変化している事がみとる事ができる。このことから、クーリングによって冷却された筋肉がクーリングをやめることで筋温が回復している事が示されている。

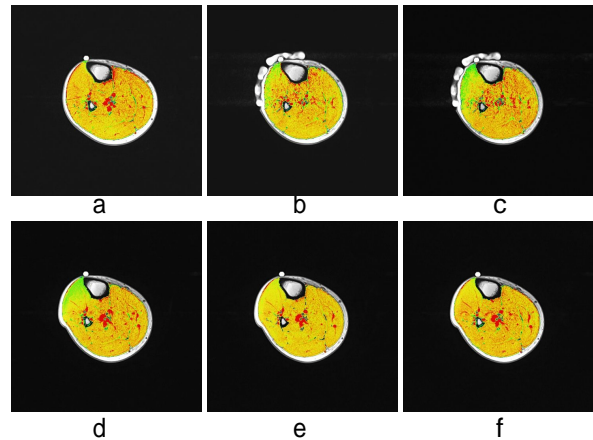


図 2：クーリング時及びリカバリー時の T1 マッピング

a：クーリング前、b：クーリング 5 分後、c：クーリング 20 分後、
d：リカバリー 10 分後、e：リカバリー 30 分後、f：リカバリー 60 分後

本研究によって、T1 値が温度変化(クーリング)によって変化することを確認した。また、T1 値画像と形態画像とのカラーマッピングを用いることで、クーリング時における温度変化を視覚化できる可能性についても示唆された。今回 MRI の指標のもうひとつである T2 値で同様の実験を行ったところ、T2 値においては、温度に依存した T2 値の変化は見られなかった。

このことから、筋内温度変化を視覚化するにあたって MRI の指標の中でも T1 値を用いることは妥当であると考えられる。

また得られた T1 値を形態画像にカラーマッピングすることによって、温度変化を視覚的に容易に捉えることができることから、今までクーリングについて冷却時間や、冷却場所など確固たる確証が得られなかったが、本手法を用いることで冷却時間による温度変化や冷却場所の違いによる変化を視覚的に捉えることができる可能性が示唆された。さらに T1 値の変化がクーリング時間やリカバリー時間に応じて変化していることから、T1 値の変化は温度に対し線形的な変化をしていると考えられる。

T1 値は温度変化に依存して上昇・減少する傾向にあり、T1 マッピングで温度を推論し、また温度測定を非侵襲的かつ空間温度分布まで提供できるという報告も近年出てきている⁽⁷⁾⁻⁽⁸⁾。本研究においても、クーリングを行うことで温度が低下すると、T1 値はクーリング時間に応じて減少した。しかし、T2 値は温度変化に対応した変化を示すことはなかった。

T2 値は運動した際の活動筋の同定を短時間撮像で行うことができる⁹⁾⁻¹³⁾という優れた面を持っていることから、T1 値と T2 値を必要に応じて使い分けを行うことで、アスリートに運動した際の筋活動やクーリングでの冷却効果など視覚的に理解をしやすい情報を提供することができる可能性がある。

< 引用文献 >

1) Brookes JA, Redpath TW, Gilbert FJ, et al. : Accuracy of T1 measurement in dynamic contrast-enhanced breast MRI using two- and three-dimensional variable flip angle fast low-angle shot, J Magn Reson Imaging, 9 (2) , 163-171, 1999.

2) Cheng HL, Wright GA : Rapid high-resolution T1 mapping by variable flip angles : accurate and precise measurements in the presence of radiofrequency field inhomogeneity, Magn Reson Med, 55, 566-574, 2006.

3) Venkatesan R, Lin W, et al : Accurate determination of spin- density and T1 in the presence of RF-field inhomogeneities and flip angle miscalibration, Magn Reson Med, 40, 592-602, 1998.

4) Karlsson M, and Nordell B : Analysis of the Look-Locker T1 mapping sequence in dynamic contrast uptake studies :simulation and in vivo validation, Magn Reson Imaging, 18 (8) , 947-954, 2000.

5) Shin W, Gu H, Yang Y : Fast high-resolution T1 mapping using inversion-recovery Look-Locker echo-planar imaging at steady state : optimization for accuracy and reliability, Magn Reson Med, 61 (4) , 899-906, 2009.

6) Preibisch C, Deichmann R : Influence of RF spoiling on the stability and accuracy of T1 mapping based on spoiled FLASH with varying flip angles, Magn Reson Med, 61 (1) , 125-135, 2009.

7) Qingwei Liu, Yu Cai, et al : A magnetic resonance (MR) compatible selective brain temperature manipulation system for preclinical study, Medical Devices, Evidence and Research, 13-22, 2012

8) Viola Rieke, Kim Butts Pauly: MR Thermometry, J Magn Reson Imaging, 27 376-390, 2008

9) Huang TY, Liu YJ, Stemmer A, et al. : T2 measurement of the human myocardium using a T2-prepared transientstate TrueFISP sequence, Magn Reson Med, 57 (5) , 960-966, 2007.

10) Tawara N, Itoh A : Effects of MR Image Noise on estimation of Short T2 Values from T2-weighted Image series, Magn Reson Med Sci, 6 (4) , 187-197, 2007

11) Tawara N, Nitta O, Kuruma H, et al : Functional T2 Mapping of the Trunkal Muscle , Magn Reson Med Sci, 8 (2) , 81-83, 2009

12) Tawara N, Nitta O, Kuruma H, et al : T2 Mapping of Muscle Activity using Ultrafast Imaging , Magn Reson Med Sci, 10 (2) , 85-91, 2011

13) Akima H, Takahashi H, et al : Coactivation pattern in human quadriceps

during isokinetic knee-extension by muscle functional MRI ,Eur J Appl Physiol, 91, 7-14, 2004

14) James L. Fleckenstein, Robert C. Canby, et al: Acute Effects of Exercise on MR Imaging of Skeletal Muscle in Normal Volunteers, AJR, 151, 231-237, 1988

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0件)

〔学会発表〕(計1件)

・ Tohdoh Y, Mabuchi H, Akagi R, Takahashi K, Maruyama K, Jellús, V, Dohi M. The Visualization of the temperature change by the icing using the T1 value of the magnetic resonance imaging (MRI) 16th World Congress of the International Society of Cryosurgery, Wien, Austria 2011. 10.

〔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：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

馬淵 博行 (MABUCHI, Hiroyuki)

和歌山県立医科大学・みらい医療推進センター・研究員

研究者番号：50365508

(2) 研究分担者

赤木 亮太 (AKAGI, Ryota)

芝浦工業大学・システム工学部・助教

研究者番号：20581458

高橋 英幸 (TAKAHASHI, Hideyuki)

国立スポーツ科学センター・スポーツ科学研究部・副主任研究員

研究者番号：00292540

奥脇 透 (OKUWAKI, Toru)

国立スポーツ科学センター・メディカルセンター・主任研究員

研究者番号：20274871

俵 紀行 (TAWARA, Norioyuki)

北海道大学大学院・保健科学研究院・助教

研究者番号：30344279

三井 利仁 (MITSUI, Toshihito)

和歌山県立医科大学・みらい医療推進学講座・助教

研究者番号：70564186

藤堂 幸宏 (TODOH, Yukihiro)

元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：30601075