

平成 30 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12574

研究課題名(和文)3テスラMR短時間高速撮像法の開発による心リハ患者の非侵襲心機能評価の検討

研究課題名(英文)New device for real-time temperature measurement during 3T-MR under the temperature rise associated with SAR: aiming for the development of rapid-sequence cardiac MR for rehabilitation patients

研究代表者

千田 浩一 (CHIDA, Koichi)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：20323123

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：心リハが及ぼす効果の正確な客観評価法は無い。MR検査は有用だが、心臓MRの検査時間は長く心リハ患者には不適當である。さらに3テスラ高磁場MR装置は、高周波RFパルスに起因にする不規則な温度ムラが生じる。先行研究での温度計測システムはノイズ発生等大きな課題があった。そこで3テスラMR装置内で使用できるマルチチャンネルリアルタイム温度計測システムを開発し、多数の3テスラMR装置にて検証した。新システムはMR画像に悪影響をほとんど与えることなく、MR撮像中の温度測定が複数のチャンネルで可能であった。今後は高速スキャン時のSARに伴う温度上昇を実測し、心臓MR高速短時間シーケンス開発を行う予定である。

研究成果の概要(英文)：Cardiac MRI, including that of rehabilitation patients, is a valuable non-invasive source of information on cardiac function. However, cardiac MR requires long examination times, which many rehabilitation patients cannot tolerate. Although 3T-MR was expected to facilitate shorter examination times, long examination times are still required due to the temperature rise associated with the SAR. This study describes the development of a new real-time temperature measurement device for MR, and our motivation is the expansion of short-duration MR sequences for cardiac rehabilitation patients. Our measurement system consists of non-magnetic thermocouple sensors, an electromagnetically shielded cable, and a display. The sensors and cables of the new thermometer resulted in almost no artifacts on MR images. The thermometer presented here is an effective tool for real-time temperature measurement during MR. Our measurement methods will aid the development of short-duration cardiac MR sequences.

研究分野：放射線科学

キーワード：心臓リハビリテーション 磁気共鳴診断(MRI)検査

1. 研究開始当初の背景

心臓リハビリテーション(心リハ)が及ぼす効果(中枢性作用)の正確な客観的評価法は無く、その開発が必要である。

磁気共鳴診断(MR)検査は低侵襲な診断法だが、心臓MRの検査時間は長く(約1時間)、心リハ患者検査として不相当である。一方3テスラMR装置(超高磁場)が臨床普及しているが、心臓MR検査の短時間化は、温度上昇(熱傷)を防ぐための比吸収率(Specific Absorption Rate: SAR)規制によって不可能な状況である。すなわち3テスラ高磁場MR装置は、Radio Frequency(RF)パルスの周波数も倍増するため、温度上昇が特に重要な問題となっている。

従来SARは計算値(みかけのSAR)によって規制され、MR時の温度上昇の実測は行われていない。つまりMR検査室内で使用できる正確なリアルタイム温度計測システムは無いため、MR時の温度実測が出来ない状況である。よってSARは計算値が使用され、その温度はきわめて安全側に評価され、実際とは大きく異なるとが予想されていた。すなわちMR(超高磁場内)でのリアルタイム温度計測の必要性が叫ばれていたが、一般の温度計測器は磁性体であるため、MR検査室内では使用できないことが課題であった。

さらに3テスラ高磁場MR装置は、高周波RFパルスに起因にする不規則な温度ムラが生じ、結果として部分的に温度が上昇する「ホットスポット」が発生する危険性がある。この「ホットスポット」を確実に検出できるようにするため、多数の温度センサーを用いた、超高磁場内で使用できるマルチチャンネル(センサ)のリアルタイム温度計測システムの開発が急務である。

申請者は先行研究にて、高磁場MR内で使用可能なプロトタイプのリアルタイム温度計測システムを開発した。しかしそのシステムは(シングルセンサでは問題は無い)、センサーケーブル間の電磁波干渉に起因すると思われるノイズ発生があり、マルチセンサにおけるMR検査中のリアルタイム温度計測は行えず大きな問題であった。さらに先行研究では、調査検討を行うことができた高磁場MR装置は1機種のみであった。

そこで当研究では、超高磁場内で使用できる「マルチチャンネル」のリアルタイム温度計測システムを開発し、詳細に検討した。

2. 研究の目的

3テスラ高磁場MR装置内でMR撮像中に使用できる、マルチチャンネル(センサー)を有するリアルタイム温度計測システムを開発する。そして多機種の3テスラ高磁場MR装置にて検証を行う。そして、心臓MR高速短時間シーケンス開発の可能性を検討することを旨とする。

3. 研究の方法

(1) マルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムの開発

我々の先行研究にて試作した、高磁場MR検査室用リアルタイム温度計測システムを基本として、マルチチャンネルセンサーの開発を行う。センサーは先行研究同様に、非磁性体プローブ(磁場の影響を受けない銅コンスタンタン熱電対)を用いさらに磁気シールドを強化したリアルタイム温度計測システムを構築した。

この新しいマルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムについて、実際の高磁場MR装置内でMR撮像中の温度測定と画像アーチファクトの有無に関する初期検討を行った。

(2) 自作インプラントファントムを用いたマルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムの評価

開発したマルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムの評価を、自作インプラントファントムを用いて行った。自作インプラントファントムは温度上昇が顕著になるように、「股関節人工骨頭」を用いて、それをゼラチンのなかに封入して作成した。そのなかに、温度センサーを挿入し、ひとつはインプラント中央部付近にセンサーを配置し温度計測を行い、もうひとつは末梢部先端にセンサーを配置し温度計測を行った。この自作インプラントファントムを用いた検討は、3テスラ高磁場MR装置内にてMR撮像中の温度測定を行うことで評価した。

(3) 3機種の3テスラ高磁場MR装置によるマルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムの評価

P社、S社、T社の3機種の臨床3テスラ高磁場MR装置を用いて、マルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムが使用可能かについて評価した。新しいマルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムを用い、3機種の3テスラ高磁場MR装置内でMR撮像中の温度測定とノイズ発生状況、さらに画像アーチファクトの影響の有無について、グラジュエントエコー法や高速スピニングエコー法などのMR撮像シーケンスにて行った。

4. 研究成果

(1) マルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムの開発結果

我々の先行研究にて試作した温度計測システムを基盤として、マルチチャンネルセンサーを有するリアルタイム温度計測システムを開発した。温度表示アンブ部本体は先行と同じオムニライト Rm1000を用いた。温度表示アンブ部本体は強磁性体であるため、MR検査室内へは持ち込まず、本体部は操作室内に置いて、MR撮像中の温度をリアルタイムにモニターした。つまりMRガントリ内に

配置した温度センサー部で検出した温度信号を、長尺の非磁性体ケーブルにて、MR検査室外（操作室）にある本体部へ導き、温度計測を行った。

シールドを強化した複数センサーを用いて、実際の高磁場MR装置内でMR撮像中の温度測定を行った結果、両センサーともにリアルタイム温度測定が可能であった。さらに両センサーともに、MR画像にはアーチファクトをほとんど生じなかった。

(2) 自作インプラントファントムを用いたマルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムの評価結果

自作のインプラントファントムの概要を以下に示す。「股関節人工骨頭」(図1)は、骨頭部(カップ)がコバルトクロム合金、大腿部(ステム)はチタン合金である。



図1. 使用した股関節人工骨頭の外観

股関節人工骨頭を寒天ゼラチンのなかに封入してファントムを作成した。(図2)



図2. 自作インプラントファントム(温度センサーが挿入してある)

上記の自作インプラントファントムを3テスラ高磁場MR装置のヘッドコイル内に置いた様子を図3に示す。



図3. 3テスラ高磁場MR装置のヘッドコイル内に配置した自作インプラントファントム(温度センサー挿入)

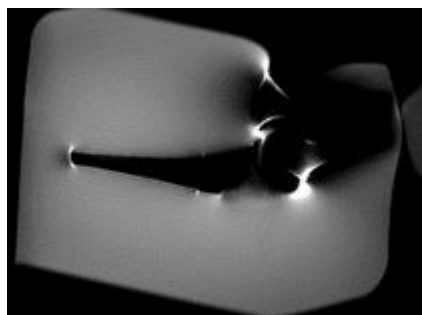


図4. 3テスラ高磁場MR装置で撮像した自作インプラントファントム画像の一例

自作インプラントファントムのMR画像の一例を図4に示す。股関節人工骨頭はアーチファクトが生じているが、温度センサー自体のアーチファクトは認められなかった。

自作インプラントファントムのなかに、2本の温度センサーを挿入した位置を見易く示した様子を図5に示す。B点はステム中央部付近にセンサーを配置したところ、A点は末梢先端部にセンサーを配置したところで、それぞれの位置にて温度計測を行った。

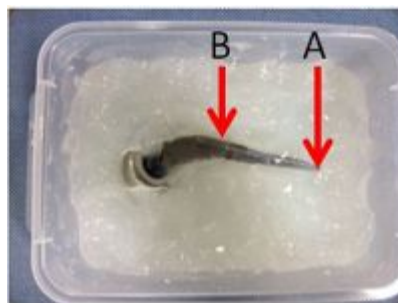


図5. 自作インプラントファントム内の温度測定ポイント(A点:末梢先端部、B点:ステム中央部付近)

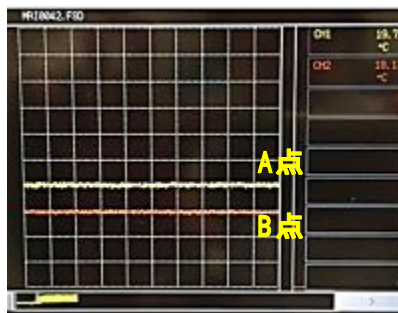


図6. 3テスラ高磁場MR装置における自作インプラントファントム内のA点とB点の温度測定中の一例

3テスラ高磁場MR装置内において、MR撮像中のインプラントファントムのA点とB点の温度測定中の計測画面を図6に示す。このように、両センサーともにノイズは無く温度測定が可能であった。またA点の方の温度が、B点の温度よりも高くなった。従来から、先端部の方が、MR時において温度上昇しやすいと言われていたが、今回の結果からも、ステム先端(A点)と中央部(B点)の

温度の比べると先端部が高温になりやすいことが確かめられた。

次に2つのMR撮像シーケンス(グラジエントエコー法と高速スピエコー法)にて温度計測を行った例を以下(図7、図8)に示す。図7は、高速スピエコー法による撮像時の温度計測の一例である。高速スピエコー法では、撮像中の温度上昇が確認された。この温度上昇は短い間隔でのRFパルス照射の影響(すなわちSARによる温度上昇)に起因していると思われる。また同様に先端部(A点)の方が高温であった。

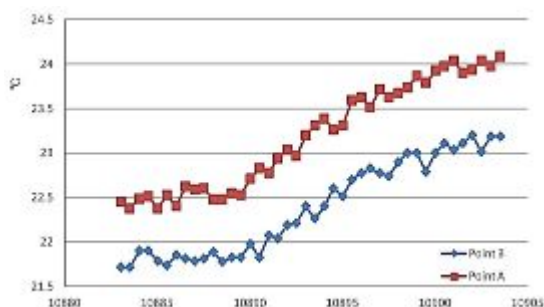


図7. 高速スピエコー法によるにおける自作インプラントファントム内の温度測定

図8は、グラジエントエコー法による撮像時の温度計測の一例である。高速スピエコー法と異なりグラジエントエコー法では、温度上昇はほとんど認められなかった。また上記同様に先端部(A点)の方が高温であった。

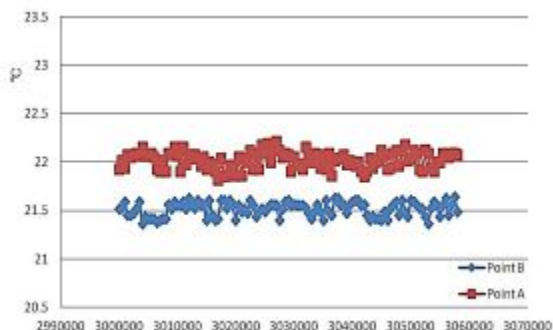


図8. グラジエントエコー法における自作インプラントファントム内の温度測定

(3) 3機種種の3テスラ高磁場MR装置によるマルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムの評価結果

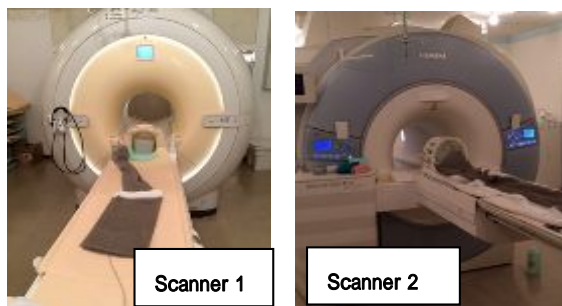


図9. 温度測定を行った3テスラ高磁場MR装置の例(Scanner 1とScanner 2)

マルチチャンネルセンサーリアルタイム温度計測システムを用いて評価した臨床3テスラ高磁場MR装置例(scanner 1とscanner 2を例示)を図9に示す。

図10は、新温度計測システムを用いて、高速スピエコー法を繰り返し撮像し、経時的な温度の測定した結果の一例である。scanner1は、scanner 2と比較して温度の増加率は高かった。



図10. Scanner 1とScanner 2にて温度測定を行った一例

高速スピエコー法にて撮像時において、温度測定中のデータにノイズが混入する場合があります。図11のその様子を示す。

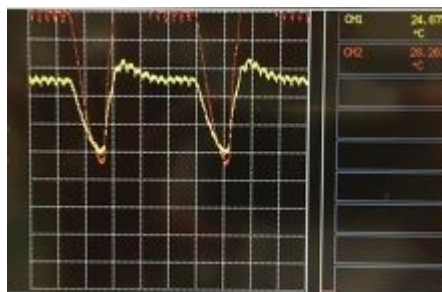


図11. 温度測定中のノイズ混入例(2つの温度センサーからのデータは共にRFパルスと同期して周期的にノイズが発生した。スキャン終了後はノイズ発生はない。)

図12はRFシールド材を強化し、それにて温度ケーブルを覆った様子である。



図12. シールドを強化した複数センサーによる温度測定例

RFシールド強化によって、高速スピニング法による撮像時においても、温度測定中のデータにノイズが混入することを防止できた。しかしながら、一部のMR装置では、RFシールド材を強化しても、スキャン中はノイズが混入する場合があります、今後の課題である。

以上から、開発したリアルタイム温度計測システムは、MR画像に悪影響をほとんど与えることなく、MR撮像中における温度測定が複数のチャンネルで同時に可能であることが確かめられた。

今後は、高速スキャン時のSARに伴う温度上昇を実測し、心臓MR高速短時間シーケンス開発を目指す予定である。

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 1件)

Chida K, Nagasaka T: Development of a real-time temperature measurement device during MRI for creating shortduration cardiac MRI sequences. Acta Radiologica Open, 2018, Submitted.

〔学会発表〕(計 3件)

Nagasaka T, Chida K: Usefulness of real-time temperature measurement during magnetic resonance imaging using a newly developed thermometer system. European Congress of Radiology (ECR) 2018. 2018年2月27日、オーストリア、ウィーン

永坂竜男、梁川功、千田浩一: MRI装置用リアルタイム温度計測システムの評価. 第6回東北放射線医療技術学術大会. 2016年10月30日、秋田市にぎわい交流館(秋田県秋田市)

Nagasaka T, Chida K: How to evaluate/manage patient temperature in real-time during magnetic resonance imaging. Radiological Society of North America (RSNA). 2015年12月1日、米国、シカゴ

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 1件)

名称: 温度測定プローブ及び温度測定システム

発明者: 千田浩一ほか

権利者: 東北大学ほか

種類: 特許

番号: 特開 2015-148455

出願年月日: 2015年8月20日

国内外の別: 国内

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

6. 研究組織

(1) 研究代表者

千田 浩一 (CHIDA Koichi)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号: 20323123

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

上月 正博 (KOHZUKI Masahiro)

東北大学・大学院医学系研究科・教授

研究者番号: 70234698

(4) 研究協力者

永坂 竜男 (NAGASAKA Tatsuo)

東北大学・大学病院・副診療放射線技師長、

東北大学医学部保健学科臨地講師