

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 23 日現在

機関番号：32104

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26460731

研究課題名(和文)MRI検査における非磁性リード線のRF発熱評価と電磁界解析の有用性

研究課題名(英文)Evaluation of RF heating on nonmagnetic leads during MR procedures and comparisons with electromagnetic simulation

研究代表者

村中 博幸 (Muranaka, Hiroyuki)

つくば国際大学・医療保健学部・教授(移行)

研究者番号：20608468

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はMRI検査時における2種類の非磁性リード線の配置によるRF発熱の評価である。DBSリードの配置と撮像条件を変化させ、ASTMファントムを用いRF発熱を蛍光式光ファイバー温度計で測定した。指定条件下ではRF発熱のリスクは少ないが、過度なRF照射ではRF発熱のリスクは大きい。SARの増加は、リード先端部のRF発熱に比例し、 $B1+rms$ は二乗に比例した。また、電磁界解析ではリード線が右側に配置された場合、RF照射が時計回転(CW)の時より反時計回転(CCW)のほうがRF発熱は大きくなった。今後、インプラントの発熱指標となる $B1+rms$ はSARに比べ過度なRF照射には特に注意が必要である。

研究成果の概要(英文)：This study is the evaluation of RF heating by the arrangement of two kinds of nonmagnetic lead wires during MRI examination. Imaging conditions were changed based on the actual placement of DBS leads and RF heating was measured with a fluorescent optical fiber thermometer using the ASTM phantom (F2182-02a). Although the risk of RF heating is small under the specified conditions, it was confirmed that the risk of RF heating is large under excessive RF irradiation. We compared SAR which is the RF heating index with $B1 + rms$. SAR increase is proportional to the RF heating at the lead tip, $B1 + rms$ is proportional to the square. In the electromagnetic field analysis results, when the lead is placed on the right side of the phantom, the RF irradiation is the counterclockwise (CCW) is larger than when the RF irradiation is clockwise (CW). The special attention is required for $B1 + rms$ which is RF heating index of the implant when there is excessive RF irradiation compared to SAR.

研究分野：医歯薬学

キーワード：MRI Safety RF heating Non-magnetic Leads Simulation

1. 研究開始当初の背景

体内金属を埋め込んだ患者の MRI 検査についての安全性の研究は国内では少なく、報告の多くは海外での研究成果である。一方、国内では次々と MR 適合性インプラントの薬事が承認されている。しかし、各製品で材質や形状、実施条件等も異なるため、臨床の現場では対応に苦慮している。これらの MRI 検査で特に問題になるのが、RF 照射によるインプラントの発熱である。我々は整形外科で使用している体内金属の RF 発熱の様々な研究を行ってきた。上腕骨インプラントの RF 発熱の検証、電磁界解析による発熱シミュレーションの検討(Muranaka et al. Magn Reson Med Sci.2006)や SAR (体内吸収比) やインプラントの配置による RF 発熱の影響(Muranaka et al. Magn Reson Med Sci.2007)、材質の異なる 2 種類の股関節インプラントの材質による発熱変化(村中 他. 日放技学誌.2010)などの検討を行い、論文発表にて報告している。しかし、未だ RF 発熱に関しては不明なところもある。その後の実験で、実際に同じインプラントで同じ撮像条件でも MR 装置により RF 発熱は異なることが分かった。

2. 研究の目的

本研究は、MRI 検査時における非磁性リード線の配置による RF (高周波) 発熱評価とインプラントに適用された新しい発熱指標 B1+rms (高周波 RF 強度) と従来の RF 発熱の比較を行い評価する。また、電磁界解析ソフト SEMCAD-X MED を用い発熱評価を行う。MR 装置の RF 照射方向および非磁性リード線の組合せによる電磁界解析シミュレーションの有用性について検討する。

3. 研究の方法

ASTM (米国試験材料協会) の試験基準に従って、ASTM F2182-02a ゲルファントム中に頭部を想定した配置で非磁性リードを埋没し MR 撮像時の RF 発熱を蛍光式光ファイバ温度計で計測した。使用デバイスは 2 種類の脳深部刺激システム(DBS)で、測定点はリード先端部、コネクタ部、本体部、ファントム深部の 4 点を同時計測した。MR 室内から導波管にて 10m 光ファイバを通し、別室にて温度計を設置した。(図 1、図 2)

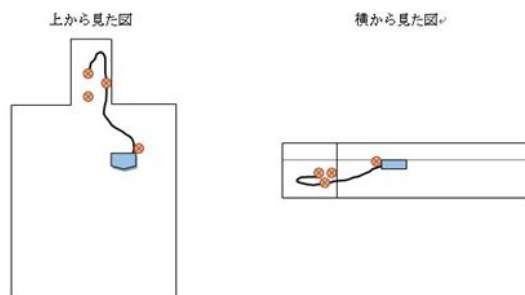


図 1 使用したファントムと測定位置



図 2 実際の測定の様子

(1) MR 併用注意の DBS の RF 発熱評価

ASTM ファントムに MR 併用注意の DBS (SC37602, 51cm エクステンション 748251, 28cm の非磁性リード 3389-28)を実際の埋め込み位置を想定し配置する。1.5TMRI 装置(GE OptimaMR450W)にて 15 分間 RF 連続照射を行い経時的に温度計測する。撮像条件は B1+rms を 0.5 μ T から臨床で使用する最大値 3.6 μ T までとし、SAR 条件と比較し RF 発熱を検証する。

(2)非磁性リードの配置による RF 発熱の検証

非磁性リードの配置をファントムの右側と左側にそれぞれリード線が存在する場合を想定し、(1)と同様に撮像条件は B1+rms を 0.5 μ T から臨床で使用する最大値 3.6 μ T までとし、非磁性リードの左右配置による RF 発熱を比較する。

(3)条件付全身 MRI 対応 DBS の RF 発熱評価

ASTM ファントムに 2 種類の DBS リード、MR 併用注意の DBS(SC37602, 51cm エクステンション 748251, 28cm の非磁性リード 3389-28)と条件付全身 MRI 対応 DBS(SC37603, 40cm アダプタ 3708640, 40cm の非磁性リード 3389S-40)を発熱効果の大きい右側リード配置とし、実際の埋め込み位置を想定する。1.5TMRI 装置(GE OptimaMR450W)にて撮像条件は B1+rms を 0.5 μ T から臨床で使用する最大値 3.6 μ T までとし、15 分間 RF 連続照射を行い経時的に計測する。

(4)ファントム実験の実測値と電磁界解析によるシミュレーションの比較

ファントム実験の実測データと電磁界解析(SEMCAD X)で発熱シミュレーションを行い、RF 照射回転は時計回転(CW)、反時計回転(CCW)で比較し、その精度を検証する。デバイスの電気特性が分かれば、SEMCAD X に搭載されている生体モデルを使用して、RF 発熱シミュレーションを行う。

4. 研究成果

(1)の結果から、非磁性リードが左に配置され指定条件下(QD-HEAD Coil 使用、頭部 SAR<0.1W/kg)で撮像された場合は RF 発熱を認めない。しかし、最大撮像条件($B1+rms=3.5 \mu T$)では DBS リード先端部で最大 1.3 の温度上昇があった。また Whole Body 送信を使用した場合、DBS 先端部では 8.0 まで上昇した。SAR はリード先端部の温度上昇に比例し、 $B1+rms$ は二乗に比例した。(図 3)

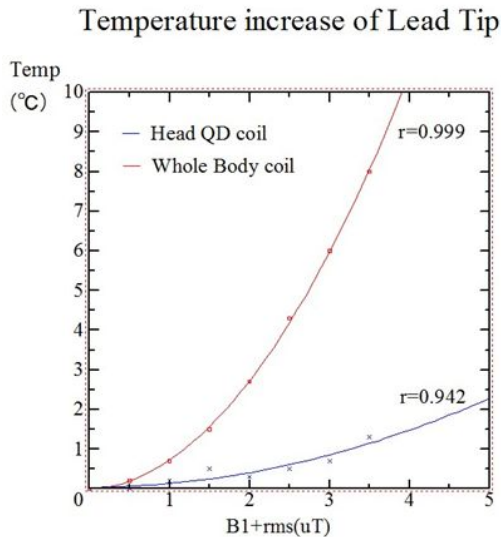


図 3 非磁性リード先端部の RF 発熱変化

この実験結果から SAR も $B1+rms$ も RF 発熱の指標となる事が証明できた。また、SAR は RF 発熱に直接比例し、 $B1+rms$ は二乗に比例する事から、今後インプラントの発熱指標となる $B1+rms$ の条件設定時には十分注意が必要であると考えられる。

(2)の結果から非磁性リードの左右配置による RF 発熱変化の違いが検証された。非磁性リードが右側に配置された場合は、最大照射条件($B1+rms=3.6 \mu T$)で 22.2 となり、左側の同条件では 8.0 となった。これらの結果から非磁性リード線が右側に配置された場合には RF 発熱は大きくなる事が検証された。

(図 4)

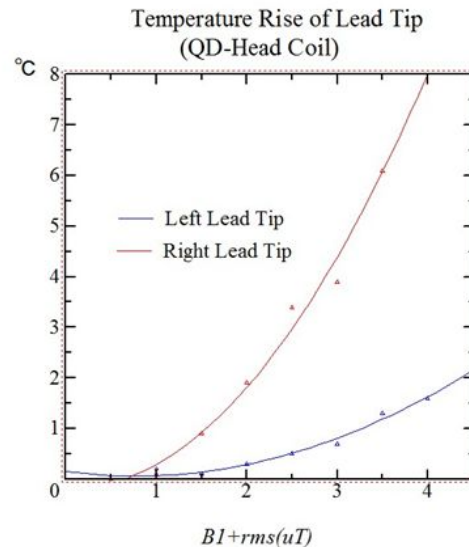


図 4 非磁性リードの左右配置による RF 発熱変化(Whole Body Coil 使用)

(3)の結果から、2種類の DBS リードの最も発熱しやすい条件での RF 発熱比較では、条件付全身 MRI 対応 DBS(SC37603)は併用注意 DBS(SC37602)に比べ温度上昇が少ない。SC37602 は実際の指定条件を大幅に逸脱した撮像条件ではあるが、誤って実際に検査される可能性もあるため十分注意が必要である。(図 5)

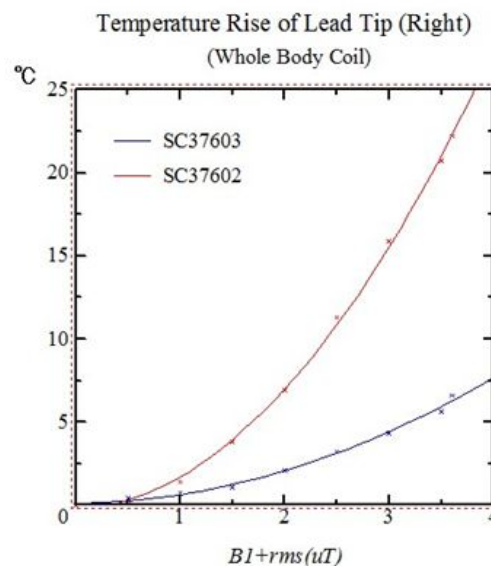


図 5 右側配置の非磁性リードによる RF 発熱変化(Whole Body Coil 使用)

(4)については十分な検討が出来なかった。その理由として、電磁界解析に必要なインプラントの電気特性に関する情報公開がデバイスメーカーから入手出来ず、解析ができなかった事がある。また、販売メーカーが期間途中で変わり対応が遅れた事も影響している。

しかし、ファントムのみで電磁界解析を行った結果、今回の実測データを裏付ける結果が得られた。図6はASTMファントムの回転照射の違いによる発熱密度の電磁界解析結果である。

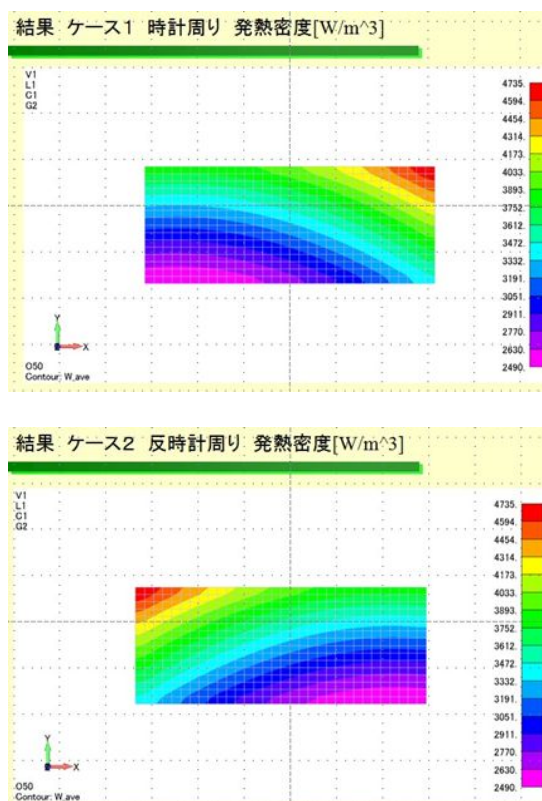


図6 ASTMファントムの電磁界解析

この電磁界解析結果は照射回転の違いにより、左右で発熱密度の分布に大きな変化が起こることを示している。RF照射回転は時計回転(CW)、反時計回転(CCW)で発熱密度は明らかに両方で差があった。今回使用したMR装置は反時計周り(CCW)であり、右側上部の発熱が強い。これらの結果は非磁性リードの実測結果を反映しており、脳深部刺激の両側リード線とMR装置の組み合わせによるRF発熱の影響について報告された論文とも一致している。

国内でMRI検査におけるリード線のRF発熱の研究は殆どない。本研究では、実際に臨床で使用している1.5TMR装置の撮像条件で非磁性リード線を埋め込んだ患者を想定したRF発熱を、ファントム実験で検証した。

本研究から、RF照射回転の違いは非磁性リード線を埋め込んだ患者のMRI検査におけるRF発熱の抑制が可能となり、今回の実験は重要なデータとなる。また、今回はデバイスの正確な電気特性が入手困難であったため十分な検討が出来なかったが、SEMCAD Xの人体モデルを使用し電磁界解析シミュレーションの比較を行うことで、発熱予測も可能であると考えられる。また、今回の実験では1.5T-MR装置のみの検討となったが、薬事承認が進んでいる3T-MR装置とのRF発熱の違

いも検討も今後は必要となる。更に、ファントム実験の実測値と電磁界解析の比較評価から、人体を想定した発熱シミュレーションの可能性も十分期待できると考える。

(引用文献)

Kenneth B. Baker, Jean A. Tkach, John A. Nyenhuis, et al. Evaluation of specific absorption rate as a dosimeter of MRI-related implant heating, J Magn Reson Imaging 20;315-320,2004

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 6件)

Hiroyuki Muranaka, Yasuaki Sakano and Osamu Nakamura, The safety practices of MRI examination. Medical and Health Science Research, 査読有, vol.5, 2014, p1-p13.

Koichi Shida, Yoshitomo Yamauchi, Kazuhiro Fuseya, Hiroyuki Muranaka and Yasuaki Sakano, Development of the simple X-ray simulator in the treatment room for an emergency irradiation. Medical and Health Science Research, 査読有, vol.6, 2015, p9-p17.

Yu Takakura, Hitoshi Usuniwa and Hiroyuki Muranaka, Detectability of High Intensity Areas in FLAIR and Multi Shot EPI-FLAIR: Phantom Study. Vol.71, No.12, Japanese Journal of Radiological Technology, 査読有, 2015, p1180-p1188.

Tetsuya Yamamoto, Shigeru Toki, Greg J. Siegle, Masahiro Takamura, Yoshiyuki Takaishi, Shinpei Yoshimura, Go Okada, Tomoya Matsumoto, Takashi Nakao, Hiroyuki Muranaka, Yumiko Kaseda, Tsuneji Murakami, Yasumasa Okamoto and Shigeto Yamawaki, Increased amygdala reactivity following early life stress: a potential resilience enhancer role. BMC Psychiatry 2017, 査読有; 17:27p1-p11.

Takeo Otsuka, Kenichi Sasaguri, Yuta Hayashi, Kentaro Yamada, Hiroyuki Muranaka, Yu Takakura, Hitoshi Usuniwa, Nagafumi Doi and Toshitsugu Kawata, Experimental occlusal interference on brain activation during gum chewing. Biomedical Research, 査読有 2017; 28 (1): p453-p458

高山みさき, 大西英雄, 城本修, 村中博幸, 平仮名および片仮名の文字刺激処理における脳賦活部位の検討- functional MRI を用い

て-, 音声言語医学, 査読有 2017; Vol.58,
No.2: p143-p151

〔学会発表〕(計 5件)

村中博幸, 体内インプラントの RF 発熱,
第 50 回宮城 MR 技術研究会招待講演,
2015.02.28, 宮城県・仙台市

村中博幸, MRI 検査におけるインプラント
の RF 発熱, 第 62 回関東支部研究発表大会招
待講演, 2015.12.12, 長野県・長野市

村中博幸, MRI 検査におけるインプラント
の RF 発熱, 第 43 回山形県 MR 研究会 特別
講演, 2016.06.25, 山形県・山形市

村中博幸, 最新の MRI 安全性について, 第
23 回茨城県 MRI 情報交換会 基調講演,
2016.10.20, 茨城県・つくば市

村中博幸, 体内金属埋め込み患者の MRI 検
査の現状と対策, 第 39 回千葉 MRI セミナー
特別講演, 2017.02.04, 千葉県・船橋市

〔図書〕(計 1件)

村中博幸, 医学書院「medicina2014 増刊号」,
特集 CT・MRI “戦略的”活用ガイド CT・MRI
の検査の注意事項「体内金属と MRI」, Vol.51,
No.11, 2014, p97-102

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)

取得状況(計 0件)

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村中 博幸(MURANAKA, Hiroyuki)

つくば国際大学・医療保健学部・診療放射
線学科・教授

研究者番号: 20608468

(2) 研究協力者

矢部 仁(YABE Hitoshi)

埼玉県立リハビリテーションセンター