

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：12602

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2014

課題番号：26893078

研究課題名(和文)MRIアーチファクトを相殺する反磁性被覆材の新規開発

研究課題名(英文)New approach for reduction of MRI artifacts; diamagnetic covering method

研究代表者

今井 治樹 (IMAI, HARUKI)

東京医科歯科大学・歯学部附属病院・医員

研究者番号：80735837

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,100,000円

研究成果の概要(和文)：磁気共鳴画像(MRI)において、生体内金属による磁化率アーチファクトは大きな問題である。本研究では、歯科臨床における対応策として、口腔内の金属材料を二次的に反磁性材料で被覆することで、アーチファクトの低減を図る新手法(反磁性被覆材)を提案し、その効果について検証を行った。

歯科矯正用メタルブラケットを反磁性被覆材で被覆した「反磁性被覆材モデル」を作製してMRI撮像を行い、アーチファクトを三次元画像解析により評価した。その結果、反磁性被覆材の使用により、アーチファクトの形状・発生方向が中和され、到達距離や体積にも減少が認められた。本手法は磁化率アーチファクトの低減に有効であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：MRI diagnosis is often perturbed by susceptibility artifacts when metals are implanted or fixed in the human body. In this study, new method for reduction of artifacts in dental clinical situation was proposed. Covering metallic materials by diamagnetic substance may be an effective approach. Since the direction of magnetization for paramagnetic substance and diamagnetic substance are opposite, artifacts could be cancelled by each other. This covering method was simulated by a simple model; orthodontic metal brackets covered by diamagnetic substance. MR images of the model were taken by 3 Tesla MR scanner, and the artifacts were evaluated by 3D image analyzing method. The results were as follows. Artifacts were neutralized in shapes and the direction of magnetization, and the range and volume of artifacts were decreased. It was suggested that this technique was effective for the reduction of susceptibility artifacts.

研究分野：矯正歯科

キーワード：MRI アーチファクト 磁化率 反磁性

1. 研究開始当初の背景

(1) 磁気共鳴画像 (Magnetic Resonance Imaging: MRI) 診断は、非侵襲で任意の断面画像が得られることから、脳外科、整形外科および歯科領域で有用な検査方法として広く用いられている。しかし、体内に脳血管クリップや人工関節、口腔内に歯列矯正装置や補綴物などの金属製デバイスが存在する場合、生体組織との磁化率の違いから周囲にアーチファクト (信号の消失と歪み) が生じて周辺の臓器・組織の像が妨げられ、正確な診断に支障を来すことが問題となっている [Ref 1]。これらは磁化率アーチファクトと呼ばれ、MRI の強力な静磁場内において材料自体が新たな磁場を誘起することに起因し、その大きさは材料と生体の磁化率の差に依存することが知られている。セラミックや高分子材料は磁化率が低いものの、強度や靱性などの機械的性質で劣るため、依然として生体材料の多くは磁化率の大きい金属製である。このため、根本的な解決策として金属材料の磁化率の低減が望まれているものの、その開発は容易でなく、各種パラメータの設定や撮像シーケンスの選択など、MRI 装置の撮像条件を調節することで、アーチファクトの低減を図っているのが現状であった。

(2) しかし、近年になり、ようやくその状況に変化が訪れ始めている。生体親和性の高い Zr に Nb や Mo を添加することで、Ti の三分の一程度の磁化率を達成した合金や、常磁性材料と反磁性材料を組み合わせた複合材料 (後述) などの低磁性金属材料が相次いで提案され、臨床応用に向けた研究が進められるようになったのである。またその効果についても、これまではアーチファクトを定量的に評価する手法が存在せず詳細な検証が困難であったが、われわれは独自の三次元画像解析手法によりアーチファクトを体積により評価し、それを検証可能にした [Ref 2]。すでに本評価手法を用いて、アーチファクト体積と材料の磁化率の間の詳細な対応関係を解明したほか、低磁性金属材料の効果について検証を行っている。結果は良好であり、今後、生体内金属材料の多くが、前述の低磁性金属材料にとって代わるものと期待される。

(3) しかしながら、歯科領域に目を向けると、その見通しは未だ不透明である。セラミックやレジン技術の進歩により、補綴物のメタルフリー化は徐々に進んできているものの、依然として国内の保険診療では金属が主流である。また、代表的な歯列矯正装置であるマルチブラケット装置は、審美的要求のない臼歯部では、通常ステンレス製のものが使用されており、そのアーチファクトは脳領域ま

で達するほど深刻である。本装置は撤去こそ可能であるものの、てんかんの発作など緊急時には対応が難しく、度重なる撤去と再装着は治療の遅延を招くほか、患者・術者にとって大きなストレスとなる。従って、歯科においては、当面は現状の金属が装着されている患者への対応策を考慮する必要がある。

2. 研究の目的

(1) 先に述べた背景を受け、われわれは口腔内が生体内埋入材料と異なり直接アプローチ可能である点に着目し、全く新しい手法を考案した。それは常磁性・反磁性材料複合化の概念を応用し、金属補綴物やブラケット装置を反磁性材料で被覆することで (以下、反磁性被覆材と呼ぶ)、アーチファクトの低減を成し得ないか、というものである。

(2) そもそも常時性・反磁性材料複合化の理論は 1996 年に Chauvel らによって報告されており、反磁性物質が外部磁場と反対方向に磁化される性質を利用し、両者を一体化することでアーチファクトは相殺可能であるとされる [Ref 3]。さらに近年では内層に反磁性材料、外層に常磁性材料を配置した二層構造の金属材料が提案され、アーチファクトの低減に有効であることが示されている [Ref 4]。これらはいずれも材料製作段階で両者が緊密に複合化しているが、一方、本研究ではそれを二次的に行う。すなわち本研究の目的は、反磁性被覆材を開発し、金属製の歯科装置を被覆することで、MRI アーチファクトの低減効果が得られるか検証を行うことである。

3. 研究の方法

(1) 反磁性被覆材の開発

グラファイト粉末を歯科用アルジネート印象材 (粉末 + 水) に混合したものを、反磁性被覆材として試作した。アルジネート粉末は水と混合することでゲル状となるため、対象物に密着し、かつ簡便に撤去可能という本被覆材の要件を満たすことができると考えた。また反磁性材料にはグラファイト粉末を採用したが、比較的強い反磁性を有し、安価に入手可能である点を重視した。ただし、粒径や加工状態に多くのバリエーションが存在するため、複数の市販品の中から、磁化率や混ざりやすさを比較検討し、本研究に最も適した粉末を選定することとした。磁化率の測定には、磁気天秤 (MSB-MKI, Sherwood Scientific Ltd, Cambridge, England) を用いた。(以下、磁化率はすべて体積磁化率を示す)

アルジネート粉末、グラファイト粉末、水の割合を検討し、反磁性の強さと被覆材としての操作性の両立が得られるように、反磁性被覆材を作製した。同様に磁気天秤にて磁化率を測定した。

(2) 試料の準備

被・被覆試料には、矯正用メタルブラケット(コバルトクロム合金製、ASTM F-75 相当)を用いた。ブラケットの磁化率は材料の磁化率を参考値 (800×10^{-6}) とし、体積はアルキメデス法にて算出した (0.02cm^3)。

ブラケット (Bracket) を反磁性被覆材で相似形に被覆したものを「複合試料」として準備した。反磁性被覆材の使用量については、磁化率と体積の関係を考慮し、ブラケットの30倍、50倍の体積となるような2種類 (Mix1, 2) を設定した。またコントロールとして、反磁性被覆材単独の2試料 (Cover1, 2) を準備した。



(3) MRI 撮像

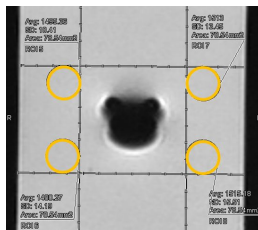
撮像用試料は、前述の通り、ブラケット単独 (Bracket)、反磁性被覆材単独2種 (Cover1, 2)、「複合試料」2種 (Mix1, 2) の合計5種を準備した。

各試料は硝酸ニッケル混合寒天を用いてプラスチック製容器に包埋し、MRI撮像に供した。試料はポジショニングガイドを用いて容器中央に設置した。撮像は3テスラの印加磁場 (Signa-HDxt, General Electric Medical Systems, USA) で行い、代表的な Fast spin echo (FSE)、Gradient echo (GRE) の2種類の撮像シーケンスを用いた。さらに撮像方向はMRIの静磁場に対し、容器長軸が平行となるように設定した。

(4) 画像解析によるアーチファクト評価

体積による評価

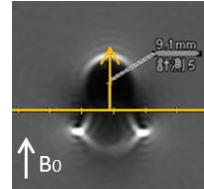
得られた MR 画像は、PC に転送し、専用の画像解析ソフト (ZIOSTATION, AMIN, JAPAN) にて解析を行った。試料の中央を表示する冠状断スライス上に、位相/周波数エンコード方向を考慮して4つの円形関心領域: Region of interest (ROI) を設置し、その平均信号強度を background の基準値とした (下図)。基準値の70%以下 (MR 画像上では信号の消失により黒く抜けた領域)、130%以上 (信号が重なり白く明度の高い領域) の信号強度を示す領域を選択的に表示させ、アーチファクトの3Dレンダリングを作成した。



得られた 3D レンダリングの体積を算出し、これを「アーチファクト体積」とした。

距離による評価

臨床的には、アーチファクトの及ぶ範囲が問題となることから、元の MR 画像を用いて、下図に示すような試料中心から静磁場方向へのアーチファクト最大到達距離についても計測を行った。



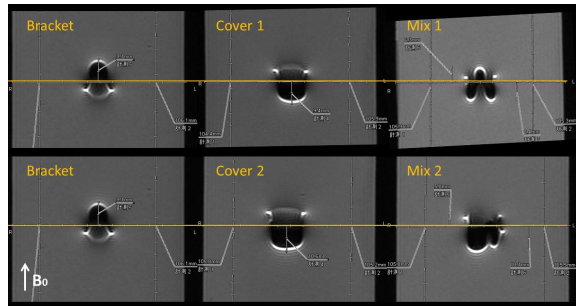
4. 研究成果

(1) 反磁性被覆材の開発

反磁性被覆材の作製にあたり、3社より入手した計14種のグラファイト粉末について磁化率を測定した。このうち、最も強い反磁性を示したもの (磁化率 -80×10^{-6}) を使用して反磁性被覆材を作製した。グラファイト粉末の混合割合を変化させ、操作性を確保できる上限を検討した結果、45%が最大であり、その磁化率は -54×10^{-6} となった。

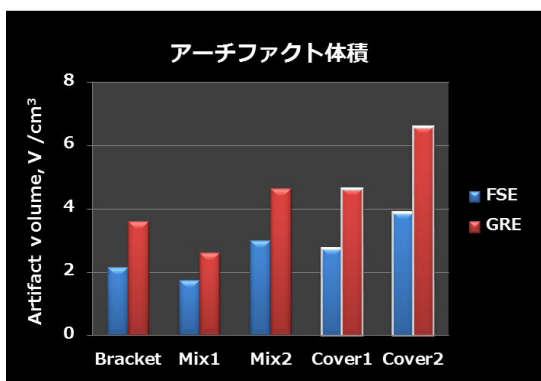
(2) MRI 撮像結果

得られた MR 画像および3Dレンダリングの例 (FSE) を以下に示す。反磁性被覆材の使用により、複合試料では、アーチファクトの形状・発生方向が中和されていた。なお、FSE, GRE とともに同様の傾向が認められた。



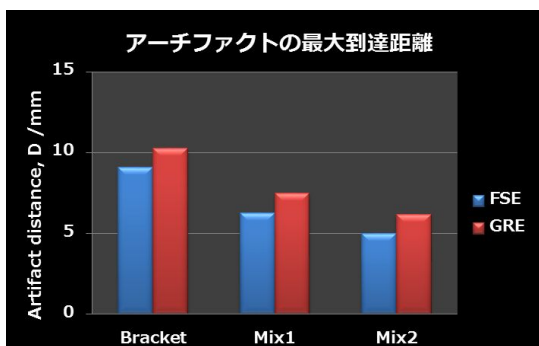
(3)反磁性被覆材のアーチファクト低減効果 体積による評価

アーチファクト体積を以下に示す。反磁性被覆材の使用により、複合試料1ではブラケット単独と比較し、アーチファクト体積に減少が認められた。一方、複合試料2では、被覆材の大型化に伴い、ブラケット単独よりも大きなアーチファクト体積を示した。



距離による評価

アーチファクトの静磁場方向への最大到達距離を以下に示す。反磁性被覆材の使用により、アーチファクトの到達距離に減少が認められた。被覆材の量が多い複合試料2では、より大きな減少が得られた。



まとめ

の結果から、反磁性被覆材は、対象物のアーチファクトを完全に除去することは不可能であるものの、その大きさを低減し、静磁場方向への到達距離を減少し得ることが明らかとなった。すなわち臨床においても、診断上重要な顎関節や脳領域へアーチファクトが及ぶことを防止できる可能性が示唆された。

(4)今後の展望

本研究により、常磁性・反磁性材料の複合化は二次的であってもアーチファクトの低減に有効であることが認められた。今後はより臨床的な実験系(ブラケットを歯列形状に排列したものを被覆するなど)へと移行し、反磁性被覆材の有効性を再度検証するとともに、ステンレス性の歯科装置にも対応できるよう、反磁性を強化したいと考えている。

<引用文献>

1. Elison J et al. Influence of common orthodontic appliances on the diagnostic quality of cranial magnetic resonance images. Am J Orthod Dentofacial Orthop 134:563-72 (2008)
2. Imai H et al. Three-dimensional quantification of susceptibility artifacts from various metals in magnetic resonance images. Acta Biomaterialia 9:8433-8439 (2013)
3. Brice Chauvel et al. Cancellation of metal-induced MRI artifacts with dual-component paramagnetic and diamagnetic material:mathematical modelization and experimental verification. JMIR 6:936-938 (1996)
4. Gao Y et al. Reduction of artifact of metallic implant in magnetic resonance imaging by combining paramagnetic and diamagnetic materials. J Appl Phys 107: 09B323 1-3 (2010).

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 0件)

[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

今井 治樹 (IMAI, Haruki)
東京医科歯科大学・歯学部附属病院・医員
研究者番号：80735837

(2)研究分担者 ()
研究者番号：

(3)連携研究者 ()
研究者番号：