

授与番号

甲第 1824 号

論文内容の要旨

Quantification of metal-induced susceptibility artifacts associated with ultrahigh-field magnetic resonance imaging of spinal implants

(脊椎インプラントの超高磁場 MRI における金属アーチファクトの定量的検討)
(千葉佑介, 村上秀樹, 佐々木真理, 遠藤寛興, 山部大輔, 金野大地, 土井田稔)
(JOR Spine 16 巻 2 号, 2019 年 8 月掲載)

I. 研究目的

近年の脊椎手術における金属インプラントの役割は大きく、手術成績の向上に大きな貢献をもたらしている。一方、このような金属インプラントを使用した術後患者の MRI 検査においては、検査中の金属インプラントによる安全性の問題や画像アーチファクト発生などの課題が生じる。現在の臨床においては 1.5 Tesla (T) や 3T の magnetic resonance imaging (MRI) が多く使用されているが、MRI の静磁場強度があがる程、空間分解能が増し画質の向上をもたらすため、近い将来 7T 超高磁場 MRI が臨床導入される可能性がある。そこで本研究では、7-T MRI で使用される撮像シーケンスを用いて脊椎インプラントに対するアーチファクトを定量化し、アーチファクトの各シーケンスの差異および減弱方法を検討することを目的とした。

II. 研究対象ならび方法

American Society for Testing and Materials (ASTM) が定めるガイドラインに基づいて撮像および計測を施行した。測定装置は GE 社製の 7.0 T Discovery MR 950 および、Nova Medical 社製の Quadrature transmission and thirty-two channels receiver head coil を使用した。測定対象は、長さ 50 mm、径 5.5 mm と 6.0 mm の純チタンおよびチタン合金、コバルトクロムのロッドをとした。ベジタブルオイルを満たしたアクリル製内に対象物を設置し、以下の 5 つのシーケンスで撮像し、発生したアーチファクトの距離と体積比を測定した。

撮像シーケンスは、3D T1 強調 spoiled gradient echo (3D T1 SPGR), 3D T2* 強調 SPGR (3D T2* SPGR), 3D T2 強調 fast spin echo (3D T2 FSE), zero echo time (ZTE), diffusion 強調 echo-planar imaging (DWI) とした。周波数エンコード方向は上下・前後方向とした。

III. 研究結果

材質別のアーチファクトの距離は、純チタンとチタン合金がコバルトクロムと比較し有意に小さかった ($p < 0.01$, Wilcoxon signed rank test with Bonferroni correction). 純チタンとチタン合金には差はなかった ($p = 1.00$, Wilcoxon signed rank test with Bonferroni correction). 径別では、純チタンで径 5.5mm より径 6.0mm が有意におおきかった ($p < 0.05$, Wilcoxon signed rank test) が、チタン合金、コバルトクロムでは差はなかった ($p = 0.067, 0.103$, Wilcoxon signed rank test). 周波数方向で差はなかった ($p = 0.071-0.936$, Wilcoxon signed rank test). 設置方向別では、チタン合金では静磁場方向に対して垂直に設置時の方が、水平に設置したときよりアーチファクトが大きかった ($p < 0.05$, Wilcoxon signed rank test) が、純チタン、コバルトクロムでは差はなかった ($p = 0.112, 0.086$ Wilcoxon signed rank test). シークエンス別では、純チタンとチタン合金では、 $ZTE = 3D T2 FSE < 3D T1 SPGR < 3D T2* SPGR$ であった (Steel-Dwass test). コバルトクロムでは、 $ZTE < 3D T2 FSE$, $ZTE < 3D T1 SPGR$ であったが、 $3D T2 FSE$ と $3D T1 SPGR$ で有意差はなかった (Steel-Dwass test).

アーチファクトの体積比は純チタン、チタン合金がコバルトクロムと比較し有意に小さかった. ($p < 0.01$, Wilcoxon signed rank test with Bonferroni correction). 純チタンとチタン合金には差はなかった ($p = 1.00$, Wilcoxon signed rank test with Bonferroni correction). 径別では、いずれの金属でも有意差はなかった ($p = 0.182-0.836$, Wilcoxon signed rank test). 周波数別でいずれの金属も有意差はなかった ($p = 0.326-717$, Wilcoxon signed rank test). 設置方向別では、全ての材質で、静磁場方向に対して垂直にロッドを設置した方がアーチファクトは小さかった ($p < 0.01$, Wilcoxon signed rank test). シークエンス別では、シークエンス別では、純チタンとチタン合金では ZTE と $3D T2 FSE$, $3D T2 FSE$ と $3D T1 SPGR$ 間に有意差はなかったが、 ZTE は $3D T1 SPGR$ より有意にアーチファクトは小さかった. また、 $3D T2* SPGR$ は他のシークエンスと比較して有意にアーチファクトが大きかった. コバルトクロムでは、 ZTE は、 $3D T1 SPGR$, $3D T2 FSE$ より有意にアーチファクトが小さく、 $3D T1 SPGR$, $3D T2 FSE$ 間に有意差はなかった. $3D T2* SPGR$ はアーチファクトが撮像範囲を超え、計測困難だった (Steel-Dwass test).

IV. 結 語

現在臨床的に撮像が行われている 3T までの MRI と比較し、7-T MRI 金属アーティファクトは一般的に大きい傾向があるものの、撮像条件によっては減弱が可能であった.特に ZTE はアーティファクト低減に有効で、今後臨床応用される中で有用な方法と考える.

論文審査の結果の要旨

論文審査担当者

主査 教授 有賀 久哲 (放射線腫瘍学科)

副査 教授 西村 行秀 (リハビリテーション医学科)

副査 教授 土井田 稔 (整形外科科学講座)

脊椎手術における金属インプラントの有用性が確立する中で、金属アーティファクトのMRI画像に対する影響は臨床的課題である。金属アーティファクトは磁場強度に依存することが知られているが、超高磁場7T MRIにおける金属インプラントの影響は検討されていない。本研究論文は、臨床で使用頻度の高い材質を対象に、ASTMに準じた手法で7T MRIにおけるアーティファクトを定量評価した論文である。高磁場環境を考慮した独自のファントムの作成や、アーティファクト軽減に対する試みも行われている。7T MRIにおける金属アーティファクトは材質、撮像条件、金属設置方向等により有意な影響が観察された。新規に検討された撮像法ゼロ・エコータイム法 (ZTE) はアーティファクトの低減に有効であった。

本論文は、7T MRIにおける金属アーティファクトの特質を定量的に評価し、その制御法の開発に役立つ有益な知見を示した研究といえる。学位に値する論文である。

試験・試問の結果の要旨

脊椎インプラントの意義、超高磁場MRIの特性、金属アーティファクト等について試問を行い、適切な解答を得た。学位に値する学識を有していると考えられる。

参考論文

- 1) 剣道中に生じた骨化アキレス腱断裂の3例 (千葉佑介 他3名と共著) 日本足の外科学会雑誌, 37巻, 1号 (2016) : p359-362
- 2) 脊椎圧迫骨折を景気に診断された小児急性リンパ性白血病の1例 (菊地将 他3名と共著) 東日本整形災害外科学会雑誌, 28巻 (2016) : 428-431