

論文内容の要旨

Assessment of magnetic field interactions and radiofrequency-radiation-induced heating on metallic spinal implants at 7 Tesla

(7TMRI における脊椎固定金属の安全性についての検討)

(月村悦子, 村上秀樹, 佐々木真理, 遠藤寛興, 山部大輔, 土井田稔)

(Journal of Orthopaedic Research 平成 28 年 10 月掲載)

I. 研究目的

脊椎インストルメンテーション手術は、脊椎側弯症に対する矯正固定法として 1962 年に Harrington instrumentation によって開発された。我が国では 1967 年に初めて臨床応用が行われ、数多くの新しいシステムの開発・臨床応用が行われた。これにより手術手技、脊椎固定金属は目覚ましい発展を遂げ、現在では、脊椎・脊髄外科領域の手術法の 1 つとしてなくてはならない存在となっている。

また、脊椎固定金属を有する患者でも磁気共鳴画像診断法 (MRI) 検査を実施可能である。それらの金属と MRI の安全性の問題は 3Tesla (T) あるいはそれ以下のものでは十分に検討されており、これらの研究では強磁性体材料から作られたものを除き、金属は、静磁場とラジオ周波数 (RF 波) によりそれぞれ最小限の牽引力と加熱効果を受けることが明らかになった。これらの結果によれば、ほとんどすべての金属は、MRI 検査に対して安全あるいは条件付きながら許容されるものと考えられている。しかし、近年臨床研究を目的に導入された超高磁場 7T-MRI では金属の安全性について検討しているものはほとんどない。

本研究の目的は、脊椎固定金属の磁力による吸引力と加熱効果を測定し、脊椎固定金属の安全性を検討することである。

II. 研究対象ならび方法

脊椎固定金属は、直径 5.5mm の純チタン、チタン合金、コバルトクロムの 3 種類のロッドを用い、長さは 5, 10, 15, 20cm までとした。

1. 偏向角

自作偏向度測定器に各種金属をつり下げ、垂線を 0° とし、マグネット軸へ牽引されたときの角度を偏向角として測定した。評価は、米国試験材料協会 (ASTM) の偏向角試験ガイドラインに基づいて施行した。計測位置は MRI 装置の磁場勾配が最大となる位置、つまり 7T ではアイソセンターからガンダリー内部 131 cm, 3T では 85 cm の位置で測定を行った。

2. RF 波による加熱効果

7T スキャナーを用いながら画像取得時の脊椎固定金属の温度変化を測定した。塩化ナトリウムとポリアクリル酸を用いて作成した人体等価ゲルファントムに、各種金属を設置し、温度計プローブの先端を金属に固定して測定した。計測は金属の両端、中心、さらに対照として金属より 5cm 離れた位置の計 4 点で測定した。撮像シーケンスは、3D-FSE と 3D-

bGRE の 2 種類で撮像した。また金属設置して撮影後、金属を抜去し、同条件で再度撮影した。

III. 研究結果

1. 偏向角

7T で 5.0-21.0° , 3T で 1.0-6.3° であり、前者は後者よりも有意に大きかった。材料別では、コバルトクロムの偏向角(7T で 17.8-21.0° および 3T で 5.0-6.3°)は、純チタン、チタン合金ロッドより有意に大きかった。また、20 cmの長さのロッドが、7Tにおいて最大の偏向角を示したが、異なる長さのロッドと比較では有意差は認めなかった。これらの結果より、純チタン、チタン合金は 7T では偏向角が 8 度未満であり、3T より有意に大きかったものの、重力と比較した場合、7T におけるこれらの金属の静磁場での牽引力は最小であった。対照的に、コバルトクロムの偏向角は 18-21° であり純チタンやチタン合金より有意に大きかったが、その偏向角は 45° 未満で重力より小さかった。ゆえに 3 種類の金属すべてが ASTM 規格に沿って安全であると考えられた。

2. RF 波による加熱効果

3D-FSE では 15 分の撮像において、ロッドの最大温度上昇は 0.7-1.0°C で、金属抜去後の同位置での温度上昇(0.4-1.1°C)より有意に大きかった。しかし、これらは金属より離れた位置、つまり対照点での温度上昇(0.3-1.1°C)とは有意な差は認めなかった。一方、3D-bGRE ではロッドの温度上昇(0.6-1.0°C)は、金属抜去後の温度上昇(0.4-0.9°C)や対照点の温度上昇(0.3-0.9°C)と比較しても有意差は認めなかった。本研究では、撮像時間を 15 分間に設定し、より worst case を想定して加熱効果を検討した。対照群とインプラント上の温度上昇の差は 0-0.2°C であり、脊椎固定金属による加熱効果は 7T でも最小限であることを示している。

IV. 結 語

ASTM ガイドラインに従い 7TMRI スキャナーを用いて、脊椎固定材料の静磁場での牽引力と MRI 撮像中の加熱効果について検討した。これらの脊椎固定金属の静磁場内での牽引力や RF 波による加熱効果は最小限であり、7T でも安全に MRI 検査を施行可能であることが示唆された。

論文審査の結果の要旨

論文審査担当者

主査 教授 阿部 貴弥 (泌尿器科学講座)

副査 講師 加藤 健一 (放射線医学講座)

副査 准教授 古町 克郎 (整形外科科学講座)

現在の脊椎・脊髄外科領域の手術においては、脊椎固定のための金属インプラントは不可欠なものであるが、磁気共鳴画像診断法 (MRI) による静磁場とラジオ周波数により牽引力と加熱効果を生じる。これまでに 3Tesla (T) までの MRI 装置において安全性が研究され、安全または条件付きながら許容されている。近年超高磁場 7T MRI が臨床応用されたが、金属インプラントの安全性は不明である。本研究本論文は、3T および 7T の条件化において米国材料試験協会のガイドラインに準じ偏向角測定器による偏向角測定と温度変化を検討し、7T MRI が臨床応用されたが、金属インプラントの安全性は不明である。評価したコバルトクロム、純チタン、チタン合金の金属インプラントにおいて、偏向角は 45 度未満でありまた加熱効果も 1.0 度以下であり、7T MRI 検査において金属インプラントの安全性を初めて示した論文である。

本論文は、7T MRI 検査における金属インプラントの安全性を評価した基礎研究であり、今後の臨床において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

7T MRI が各種金属インプラに及ぼす影響について、偏向角と加熱効果の面から評価を行い、その研究方法、研究結果の解釈、実際の臨床との比較など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える。

参考論文

- 1) American Society for Testing and Materials (ASTM) F2052-06. Standard test method for measurement of magnetically induced displacement force on passive implants in the magnetic resonance environment. West Conshohocken, PA, 2006.
- 2) American Society for Testing and Materials (ASTM) International F2182-11a. Standard test method for measurement of radio frequency induced heating on or near passive implants during magnetic resonance imaging. West Conshohocken, PA, 2011.