

## MRI の安全性—体内埋め込み装置あるいは金属について—

畑 雄一

東京慈恵会医科大学放射線医学講座

### はじめに

MRI が臨床医学に応用されて以来既に 20 年弱となり、その有用性は広く知られている。MRI は電離放射線を用いず、また静磁場、RF パルス、傾斜磁場などに関する厚生省基準も十分過ぎるほどの安全域をもって基準値が設定されており、安全性の高い画像診断法という印象が強いが、一方で MRI による事故は少なからず報告されており、MRI を扱う者は安全性について不断の努力をもって学ぶ必要がある。MRI の安全性に関しては、表 1 に示すように様々な点に関して考慮されねばならない。この中で患者に重なる損傷を引き起こす可能性の最も高いのは、体内に埋め込まれたり周囲に置かれた電磁的あるいは機械的装置、金属の問題で

ある。本稿では過去に報告された事故例を中心に、MRI の安全性について払うべき注意を述べることとする。

### 体内埋め込み装置

医療目的で体内に埋め込まれ電磁的、機械的に作動する装置には、心臓ペースメーカー、埋め込み型除細動器、人工内耳、神経刺激装置、埋め込み型の薬剤注入装置など多種のものがあり、今後の医学の発展によって更に様々な装置が出現すると予測される。これらの装置が MRI によって受ける影響に関しては次のような点が考えられる。

1. 強い磁場における装置に働く直接的な牽引力
2. 静磁場による一時的あるいは永久的な装置機能の改変
3. 傾斜磁場変動によって導線に生じる熱の発生
4. RF パルスや傾斜磁場変動によって導線に生ずる電位差、電流

既に良く知られているところではあるが、このような装置が体内に留置された患者は、MR 装置の電磁場が体内装置の作用を妨げ患者に障害をもたらす可能性があるため、MRI 検査を行ってはならない。

ペースメーカーのように刺激電極およびその

表 1. MRI の安全性に関して考慮すべき点

静磁場の生物学的作用
RF パルスの生物学的作用
傾斜磁場の生物学的作用
妊婦や胎児への影響
騒音の聴覚に及ぼす影響
閉所恐怖症など精神的影響
造影剤の安全性
体内金属の安全性
体内電子機器などの安全性
検査前スクリーニング法
検査中のモニタリング

キーワード magnetic resonance imaging (MRI), safety, magnetically activated implants, metallic implants

導線が使用される場合などで、電極、導線が単独で体内に埋め込まれている場合にも、RFパルスなどの電磁誘導作用により導線に電流を生じるため、埋め込み装置に準じてMRIの禁忌であると言われていた<sup>1)</sup>。しかし最近 Hartnellらは<sup>2)</sup>心外膜ペースティングワイヤを留置された51例に対し1.0あるいは1.5T装置を用いたMRIを行っても、不整脈その他の問題は生じなかったと報告している。彼らの報告ではこの種の導線に生じる電流は高くても80  $\mu$ Aに過ぎず、心室細動の閾値(心筋梗塞症例などでは通常より低いながらも10 mA)に比し十分に低いと考察している。

## 体内金属

### 1) 磁性体金属

体内金属の問題は第一にそれが強磁性体(ferromagnetism)であった場合に、MRIの静磁場によって強い牽引力を受けることである。特に強磁性体金属が神経組織や重要な血管の近傍に位置している場合に、その危険性は一層増大する。特に問題となるのは動脈瘤クリップでありクリップの逸脱や脳損傷を引き起こすに足りる力が加わり<sup>3)</sup>、強磁性体クリップは現在でもなおMRIの絶対禁忌である。現在までに動脈瘤クリップによる死亡事故は1例の報告が知られているが、残念ながらそれはMRIの安全性のため非磁性体クリップが広く用いられるようになってからのものであった。

【事故報告1】<sup>4)</sup>患者は74歳女性。MRIを依頼されたが、以前に他の施設で動脈瘤クリッピングを施行された既応があったため、危険性について説明し替わりにCTを受けるように勧めた。しかし主治医および患者家族のたつての要請があり、MRIの適応につき再検討することとなった。脳外科の執刀医に連絡をとったところ、右中大脳動脈の動脈瘤に対しYasargil

のクリップを用いたとの返事があった。文献上<sup>4)</sup>もこのクリップは1.89Tの装置まで安全との記載があったためMRIを行うこととした。

MRIは1.5T装置で行ったが、患者がコイル開口部から4フィート(1.2 m)の距離まで近付いたところで、突然の頭痛を訴えたため急いで検査室外のストレッチャーへ誘導した。その後も患者の容体は急速に悪化し、緊急CTで手術を行った側の右シルビウス裂に著明なクモ膜下出血が認められた。

患者の家族は外科的治療を望まず、患者はMRIを行った翌日に死亡した。剖検により摘出されたクリップを1.5T装置により試験したところ、コイル開口部より6 ft (1.8 m)の距離で強く牽引された。その後の調査でこのクリップはYasargil型ではなく、他社の磁性体クリップであることが判明した。

このような事故報告から、Kanalら<sup>6)</sup>は次のような安全性に対するガイドラインを提案しているが、動脈瘤クリップに限らず体内金属の問題に対する一般的な考え方として現在でも示唆に富んだものである。

- 1) すべての製造業者は磁性体クリップの製造を中止するか、あるいは磁性体クリップに警告ラベルを添付すべきである。
- 2) すべての製造業者は動脈瘤クリップその他について、MRI適合性についてのデータを公表すべきである。
- 3) 病院の在庫となっているクリップなどについてはMRI適合性について試験し、強磁性体であれば破棄する、あるいは少なくとも患者に使用しないよう抜き取るべきである。
- 4) 強磁性体クリップを用いた患者にはMRIを受けた場合の危険性について十分に教育し、警告を与えるべきである。
- 5) 臨床医(特に外科医、脳外科医、神経専門医)に対し、強磁性体金属の危険性を

1999年3月24日受理

別刷請求先 〒105-8461 東京都港区西新橋3-25-8 東京慈恵会医科大学放射線医学講座 畑 雄一

教育する必要がある。

- 6) すべての医療機関は体内金属の安全指針を見直し、広く放射線技師、看護婦、放射線科医などに徹底する必要がある。

これらの中でも Kanal らは放射線科医が MRI の環境下で起こり得る危険性を正確に理解することが最も重要であると力説している。

動脈瘤クリップに関しては、最近 *Radiology* 誌上において大きな論争があったことは記憶に新しい。発端は Kanal らの 1996 年の論文<sup>7)</sup>であり、彼らは以下のような実験を行った。非磁性体クリップとして報告されている 1,791 個 (Yasargil 1,765 個, Sugita 11 個, Perneczky 15 個) を平面ガラスの上に載せて MRI のボア内に入れ、静止時および振動時(ガラスの縁を指で叩く)におけるクリップの動きを親察したところ、振動時に少数 (56 個) で回転運動を呈するものがあった。非磁性体とされながらこのような結果が得られた理由を Kanal らは、搬入後の取り扱い、保存状態、再滅菌などによりクリップの磁性にわずかな磁性の変化を生じたのではないかと推測した。更に MRI によって慎重に検査したクリップ、あるいは既に MRI を経験し安全であった患者を除き、現在のところいかなる MRI 装置、いかなる動脈瘤クリップ症例でも一般に MRI 検査を行うべきではないと結論している。

この論文に対して 1997 年の *Radiology* 誌上で “Devil’s advocate” と題する論争がなされ、脳外科医の Dujovny らはサンプルの選択が恣意的であり、クリップの置かれた磁場強度、振動回数や間隔などの記載がなく科学的とはいえないと反論した<sup>8)</sup>。また放射線科医の Fleckenstein らは実験におけるわずかなクリップの動きをもって直ちに生体内において血管に危険なトルクを与えるという根拠はなく、Kanal らの結論は MRI 検査に過剰な制限を設けるものだと論じた。これに対し Kanal らは一定の科学的手続きにより実験を行ったとはしたものの、動脈瘤クリップの安全性についての考え方に関

しては、非磁性体クリップという理由で自動的に MRI の適応とされることに警告を発したのであって、動脈瘤クリップが MRI の絶対禁忌と考えているのではないと、やや主張を後退させている。

動脈瘤クリップを含め治療目的で体内に留置する金属製品、あるいは弾丸などの体内異物となり得るものの磁性については、Shellock らが製品名、製造会社、MRI で牽引力が加わったかどうか、検討した MRI 装置ごとに浩瀚な表をまとめて 2 編のレビュー論文にまとめている<sup>9),10)</sup>。またその内容は幾つかの成書<sup>11),12)</sup>にも転載されているので、コピーを座右に置き参照すると良い。

動脈瘤クリップ以外で比較的質問される機会の多いものに心臓の人工弁がある。人工弁の中には磁性体を材料としたものがあるが、その場合にも心拍動に打ち勝って弁の異常動作を起こすほどの力は掛からず安全と考えられている<sup>13),14)</sup>。Interventional radiology の進歩によって血管内コイルやフィルター、ステントなどが留置される機会が増えているが、これらの中にも磁性体のものがある。MRI を行うにはそれらが血管内で安定するまで留置後 6 週間待つ必要がある<sup>15)</sup>。またその場合にもコイルやステントなどが安定した位置に適切に留置されているか、周囲に重要臓器がないかなどの検討を行わねばならない。整形外科で用いられる金属材料はほとんどが非磁性体であること、組織に安定して固定されていることから、通常は MRI を行うことに問題はない。

磁性体金属は言うまでもなく、体内に留置されたものだけでなく体外のものにも十分な注意を払う必要がある。MRI 検査室内には決して持ち込んではならない。Boutin らの全米 207 施設に対するアンケート調査<sup>16)</sup>で最も重大な障害を引き起こした例は、酸素ボンベが飛来し患者の顔面を強打したものであった。また磁性体金属は砂囊など意外なところに潜んでいる場合もあり<sup>7)</sup>、余計なものは検査室に持ち込まな

い注意が必要である。

## 2) 体内異物

この場合も異物が強磁性体金属である場合は問題であり、特に金属作業の職業歴や外傷の既往のある患者で危険性がある。しかし金属異物を発見しても、一般にその金属が強磁性体であるかどうかを判定することは困難である。したがって通常は強磁性体金属と考えて対処すべきである。金属性異物が重大な損傷を引き起こした症例については以下のような報告がある。

【事故報告2】<sup>18)</sup> 患者は63歳男性。転移性脳腫瘍を疑われてMRIが行われた。MRIの前に行われたCTにおいて左眼球の強膜後縁に高濃度領域が認められたが、第二次世界大戦に従軍しバターンで日本軍の捕虜となり寄生虫疾患に罹患した既応を有しており、また以前の眼科的診察でも網膜にglial band等の異常が見られ、寄生虫による陳旧性肉芽と診断されていたところから石灰化と考えられた。MRIは0.35T装置で施行され、撮像終了後ベッドを引き出したとき患者は左眼に引っ張られる感覚、閃光、更に急激な視力低下を訴えた。検査したところ硝子体出血が認められ、またMRIでは左眼球に強磁性体によるアーチファクトを生じていた。

事故後の調査で患者は板金あるいは旋盤作業の職業歴があり、常時保護グラスをかけずに作業し金属屑がたびたび顔面に当たっていたが、そのために医療機関に受診するほどの傷害はなかったとのことであった。患者は4週間後転移性腫瘍のため死亡し、剖検において左眼球の硝子体出血とともに視神経乳頭近傍に2×3.5mmの錆びた鉄片が発見された。本例はMRIにより重大な傷害が発生した最初の報告であった。

強磁性体金属異物の危険性は、その大きさ、形、MRIの静磁場強度、異物の存在部位などに関係する。大きさに関しては幾つかの報告<sup>19),20)</sup>があるが、Williamsら<sup>19)</sup>によれば0.1×0.1×0.1mmから3.0×1.0×1.0mmまで

の大きさの金属片を2.0T装置で検討したところ、3.0×1.0×1.0mmの金属片のみが回転したと報告している。金属異物に対する検出感度は単純撮影で0.1×0.1×0.1mm以上と考えられ、スライス厚3mmのCTで0.15mm以上とされ、いずれもMRI前スクリーニングとしては十分な性能と考えてよい。米国におけるアンケート調査<sup>16)</sup>では金属作業の職業歴、外傷の既往歴のある患者に対して93%の施設がスクリーニング検査を行っていると回答しており、単純撮影を行っている施設が85%、CTを行っている施設が41%であり、31%の施設では単純撮影とCT両方行っている。

## 3) 非磁性体金属

非磁性体金属の場合は、高速にスイッチングを繰り返す傾斜磁場やRFパルスによって引き起こされる誘導起電力が問題となり得る。特に線材の金属がループ(コイル)を形成している場合はコイルの面積、巻き数に応じてより強い起電力を生じる。また線材でなくとも渦電流が無視し得ない場合がある。渦電流とは伝導体を通過する磁束密度が変化した場合、その磁束密度の変化を軽減するような方向の同心円状の電流が流れる現象をいう。MRIのポア内でアルミ板が制動のかかった倒れ方をしたり、MRIのベッドを移動させたときベルトのバックルに引っ張られる力を感じるのは渦電流のためである。渦電流もまた金属を通過する磁束密度の変化率に応じて発生するため、金属の体積が大きいほど強い電流を発生する。また複数の金属が互いに接近して体内に存在する場合には、金属間の相互作用(アース効果)により高い電位差を生じる可能性がある<sup>21)</sup>。

体内の金属が神経や心臓、筋肉など電氣的に活性の高い組織に存在する場合には、MRIにより金属に発生する電流により直接の刺激を受ける可能性がある。しかし既にペースメーカーの項で述べたように、体外ペースメーカーを使用した後体内に留置された刺激電極の導線程度では、ループを形成していない限り一般には闊

値を超えるほどの電流が生じるとは考え難いようである。

また金属に発生した電流は最終的には熱エネルギーに変換され、理論的には過大な熱量により熱傷を生じる可能性がある。金属に発生する熱量を正確に測定することは必ずしも容易ではないが、少なくとも動脈瘤クリップ、心臓の人工弁、血管内コイル程度の大きさの金属では、1.5T 装置であっても温度上昇はたかだか 0.2～0.4°C にすぎず危険性を危惧するほどのものではない<sup>22)～24)</sup>。一方で金属における熱の発生の問題は金属が体表面に接しているときにも全く同様の危険性があり、1994 年に報告された全米のアンケート調査では、最も高頻度に発生した MRI の事故はこのような場合の熱傷である。次の報告は体表に接した金属により生じた熱傷の典型例である。

【事故報告 3】<sup>25)</sup> 患者は 59 歳女性。1.5T 装置で胸椎の MRI が施行された。検査中の安静が保たれないため全身麻酔下で検査され、心拍および酸素飽和度のモニタリングのため pulse oximeter が用いられプローブが手指に装着された。検査後回復室において、患者がプローブのおかれた手指に疼痛を訴えたため観察したところⅢ度の熱傷が発見され、皮膚移植による治療が行われた。

Pulse oximeter に故障はなくプローブ表面の被覆にも傷はなく、ボランティアによる再検査でも手指に熱感が生じなかった。したがって oximeter から手指プローブへのケーブルが誤ってループを形成しており、傾斜磁場あるいは RF パルスにより過大な電流を生じたことが原因と推測された。

以上の事故報告において筆者の Sherlock は次のように勧告している。1) モニタリングを行う場合には、MRI の環境下でその装置を使用することは訓練された者のみが扱うべきである。2) モニタリング装置のケーブル類は決してループを作ってはならない。3) 正常に作動しないモニタリング装置は直ちに取り外すべき

である。

RF パルスや傾斜磁場の変動によって生じる誘導起電力は何も金属に限ったことではなく、伝導体であれば同様の現象が発現する。次に記す報告例は、人体もまた伝導体であることから生じたまれな事象である。

【事項報告 4】<sup>26)</sup> 患者は 43 歳男性。4 年前に行われた左大腿上部の脂肪肉腫に対する手術の経過観察を目的として MRI が施行された。過去に 2 度の MRI が、他の施設で行われている。検査は 1.5T 装置を用い、下着、靴下、シャツを着用し、全身コイルにより大腿上部を中心として広い範囲で撮像された。主として spin echo (SE) 法を用いて計 11 回の撮像を行い、総検査時間は 53 分であったが患者は苦痛を訴えることもなかった。検査終了後、放射線治療医が両側下腿の内側にⅢ度の熱傷を発見した。患者に改めて聞いたところ、検査中同部に温感が徐々に増強したものの、疼痛と言えるものではなかったとの返答であった。

直後の調査では MRI 装置に問題はなく、また撮像シーケンスの SAR も基準内のものであった。更に、その後の調査で全身用コイルにおける金属製留め金が破損していることが判明したが、事故との因果関係はないと考えられた。単純撮影あるいは X 線透視でも原因となる体内金属はなかった。患者の体型は患側の大腿が萎縮している一方で、下腿筋が著明に肥大していた。下腿筋の肥大は手術および放射線治療後に下肢の筋力を増強するため、重量挙げに励んだためと患者は説明した。改めて MRI 検査時と同様の仰臥位をとらせたところ、熱傷を生じたのと全く同じ部位で両側下腿内側が接していた。すなわち特異な体型のため両側下肢は下腿内側でのみ接し、骨盤部、両側下肢による大きなループが形成され、MRI 撮像時に人体は伝導体であるためコイルとして作用し誘導起電力を生じたことは十分あり得ることである。また下腿内側では接触抵抗がありジュール熱が発生したが、その熱量は過大なものではなかつ

たものの、検査時間が長かったため患者が気付かないまま低温熱傷に至ったものと推測された。

### 最 後 に

以上事故報告例を中心にMRIの安全性に関して述べた。拙文が改めてこの問題に関し再確認する機縁となれば幸いである。MRIの安全性に関しては既に多数の報告がありそれぞれが大いに参考になるが、多くは1980年代あるいは1990年代初頭に報告されており、ときには比較的低磁場の機種で検討されたものもある。言うまでもなく静磁場、RFパルス、傾斜磁場が強力であればあるほど体内埋め込み装置や体内外の金属の危険性は高く、過去の報告を単純に適用できない場合もある。最近ではEPI等の撮像シーケンスの発達に伴い、高磁場装置でRFパルス、傾斜磁場強度が強化した装置が増加しつつあり、特にこの点について強調しておきたい。

### 文 献

- 1) Shellock FG, Kanal E : Policies, guidelines and recommendations for MR imaging safety and patient management. SMRI Safety Committee. J Magn Reson Imaging 1991 ; 1 ; 97-101
- 2) Hartnell GG, Spence L, Hughes LA, et al.: Safety of MR imaging in patients who have retained metallic material after cardiac surgery. AJR 1997 ; 168 : 1157-1159
- 3) New PF, Rosen BR, Brady TJ, et al.: Potential hazards and artifacts of ferromagnetic and non-ferromagnetic surgical and dental materials and devices in nuclear magnetic resonance imaging. Radiology 1983 ; 147 ; 139-148
- 4) Klucznik RP, Carrier DA, Pyka R, et al.: Placement of a ferromagnetic intracerebral aneurysm clip in a magnetic field with a fatal outcome. Radiology 1993 ; 187 : 855-856
- 5) Shellock FG, Swengros-Curtis J : MR imaging

and biomedical implants, materials and devices : an updated review. Radiology 1991 ; 180 ; 541-550

- 6) Kanal E, Shellock FG : MR imaging of patients with intracranial aneurysm clips. Radiology 1993 ; 187 ; 612-614
- 7) Kanal E, Shellock FG, Lewin JS : Aneurysm clip testing for ferromagnetic properties : clip variability issues. Radiology 1996 ; 200 ; 576-578
- 8) Dujovny M, Gundamraj NR, Alp MS et al.: Aneurysm clip testing for ferromagnetic properties : clip variability issues. Radiology 1997 ; 202 ; 637-639
- 9) Fleckenstein JL, Purdy PD, Mendelsohn DB, et al.: Aneurysm clip testing for ferromagnetic properties : clip variability issues. Radiology 1997 ; 202 ; 640-642
- 10) Shellock FG, Morisoli S, Kanal E : MR imaging and biomedical implants, materials and devices : 1993 update. Radiology 1993 ; 189 ; 587-599
- 11) Shellock FG. Safety. In : Stark DD, Bradley WG, eds. Magnetic Resonance Imaging. 2nd ed. St. Louis, USA : Mosby-Year Book, 1992 : 522-545
- 12) Shellock FG, Kanal E. Bioeffects and safety of MR procedures. In : Edelman RR, Hasselink JR, Zlatkin MB, eds. Clinical Magnetic Resonance Imaging. 2nd ed. Philadelphia, USA : W. B. Saunders, 1996 : 391-434
- 13) Soulen RL, Budinger TF, Higgins GB : Magnetic resonance imaging of prosthetic heart valves. Radiology 1985 ; 154 : 705-707
- 14) Randall PA, Kohman LJ, Scalzetti EM, et al.: Magnetic resonance imaging of prosthetic cardiac valves *in vitro* and *in vivo*. Am J Cardiol 1988 ; 62 : 973-976
- 15) Teitelbaum GP, Bradley WG, Klein BD : MR imaging artifacts, ferromagnetism, and magnetic torque of intravascular filters, stents, and coils. Radiology 1988 ; 166 ; 657-664
- 16) Boutin RD, Briggs JE, Williamson MR : Injuries associated with MR imaging : survey of safety records and method used to screen patients for metallic foreign bodies before imaging. AJR 1994 ; 162 : 189-194
- 17) Mani RL : Potential hazard of metal-filled sandbags in MR imaging (letter). Radiology 1992 :

- 182 ; 286-287
- 18) Kelly WM, Paglen PG, Pearson A, et al.: Ferromagnetism of intraocular foreign body causes unilateral blindness after MR study. AJNR 1986 ; 7 : 243-245
- 19) Wiliams S, Char DH, Dillon WP, et al.: Ferrous intraocular foreign bodies and magnetic resonance imaging. Am J Ophthalmol 1988 ; 105 : 398-401
- 20) Kelsey CA, King JN, Keck GM, et al.: Ocular hazard of metallic fragments during MR imaging at 0.06T. Radiology 1991 : 180 ; 282-283
- 21) Davis PL, Crooks L, Arakawa M, et al.: Potential hazards in NMR imaging : heating effects of changing magnetic fields and RF fields on small metallic implants. AJR 1981 ; 137 : 857-860
- 22) Shellock FG, Morisoli SM : *EX vivo* evaluation of ferromagnetism, heating and artifacts produced by heart valve prosthesis exposed to a 1.5T MR system. JMRI 1994 : 4 ; 756-758
- 23) Shellock FG, Detrick MS, Brandt-Zawadski MN : MR compatibility of Guglielmi detachable coils. Radiology 1997 : 203 ; 568-570
- 24) Shellock FG, Shellock VJ : Spetzler titanium aneurysm clips : comatibility at MR imaging. Radiology 1998 : 206 ; 838-841
- 25) Shellock FG : Severe burn of the finger caused by using a pulse oximeter during MR imaging (letter). AJR 1989 ; 153 : 1105
- 26) Knopp MV, Essig M, Debus J, et al.: Unusual burns of the lower extremities caused by a closed conducting loop in a patient at MR imaging. Radiology 1996 ; 200 : 572-575

## **Safety of MR Imaging: Magnetically Activated or Metallic Implants**

Yuichi HATA

*Department of Radiology, The Jikei University School of Medicine  
3-25-8 Nishishinbashi, Minato-ku, Tokyo 105-8461*

Various factors influence the risk of performing a magnetic resonance (MR) procedure. Among them the possible interaction between a magnetically activated implant or a metallic implant and the magnetic field of an MR imager is a very important safety consideration in clinical MR imaging because several case reports of severe clinical accidents have been published. In this paper investigations about the potential risks and hazards of MR imaging for a patients with the implant were reviewed and summarized.

The majority of magnetically activated implants and devices, such as cardiac pacemakers, are considered to be hazardous to patients undergoing an MR procedure. The associated risks of scanning patients with cardiac pacemakers include possible of movement, reed switch closure of damage, programming change, electromagnetic interference, and induced currents in lead wires.

Magnetic resonance imaging should be carefully operated for a patient with a ferromagnetic implant, material, or device because of the risks associated with movement and/or dislodgment of the object. These factors should be carefully considered before subjecting a patient with a ferromagnetic object to an MR procedure, particularly if it is located in a potentially dangerous area of the body, such as near a vital neural, vascular or soft-tissue structure where movement or dislodgment could injure the patient. Other possible hazards of metallic materials include the induction of electric current, and excessive heating. The excessive heating is particularly dangerous when a conducting loop is inadvertently created between some conductor-such as electrocardiographic monitoring or gating leads, pletysmographic gating wire or finger tip attachments, or surface coils-and the skin.

Radiologists or technologists performing MR examinations need to be acutely aware of the potential risks and hazards associated with MR environments. The more we are aware of such potential risks and hazards of the MR environment, the more we will be able to ensure the safety of patients undergoing MR imaging.