

MRT-Sicherheit: Ein Magnetfeld, das unter die Haut geht

Teil 3: Das Gradientenmagnetfeld

Autorin: Dorina Petersen, freiberufliche MTRA

Sicherheitsfragen rund um die MRT werden seit Jahrzehnten kontrovers diskutiert. Die MRT ist bezogen auf hochgradig sicherheitsrelevante Zwischenfälle ein sicheres Verfahren, vorausgesetzt die potenziellen Gefahren sind bekannt. In diesem letzten Teil unserer Serie geht es um das Gradientenmagnetfeld und seine Gefahren.

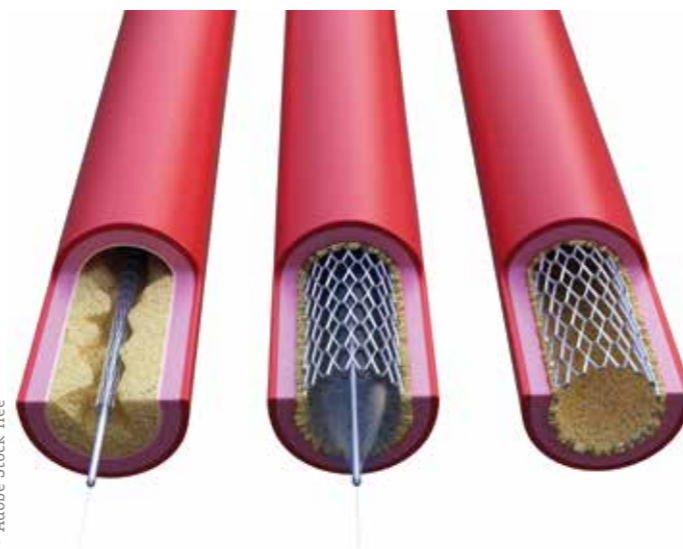
Zwischenfälle geschehen am häufigsten wegen Fehlinformationen und -interpretationen zu Gefahren. Implantate sind dabei ein besonderes Risiko. Die Gründe:

- fehlendes Wissen der Patient:innen zu ihren Implantaten,
- Verwechslungen der eingesetzten medizinischen Geräte,
- Unsicherheiten zum Implantations-Zeitpunkt, der implantierenden Einrichtung sowie erfolgten MRT-Untersuchungen nach Implantation.

Aus Gründen der Patientensicherheit sollten allen beteiligten Berufsgruppen die Anziehungskräfte metallischer Objekte oder Legierungen von Implantaten, die im Zusammenhang mit induzierten Strömen in Leitmedien bei Körperkontakt der Patient:innen entstehen können, bekannt sein.

Gradientenspulen zur Erzeugung des Magnetfeldes

Gradientenspulen sind als notwendiger Bestandteil des MRT in den Wänden des Scanners in Form von Drahtschleifen oder dünnen, leitfähigen Platten eingebaut und somit für den Anwender nicht sichtbar. Sie werden zur räumlichen Kodierung benötigt. In Verbindung mit dem statischen Magnetfeld beeinflussen sie das Magnetfeld in Z-Richtung zu (Bz), was zu Schwankungen von weniger als 1% des Gesamtmagnetfeldes führt. Während einer MRT-Untersuchung werden die Gradienten häufig ein- und ausgeschaltet (zeitlich verändertes Magnetfeld), um in Patient:innen ein elektrisches Feld zu erzeugen. Das kann ebenfalls zu einer Stimulation peripherer Nerven mit nachfolgenden Problemen führen. Daher existieren Schwellenwerte, die nicht überschritten werden dürfen, um das Auftreten derartiger Zwischenfälle bei Normalbetrieb des MRT zu verhindern.



Stent zum Einsatz in Gefäßen (passives Implantat)

Implantate und implantierbare Geräte im MRT – Probleme und Lösungen

Mit Inkrafttreten der neuen EU-Medizinprodukteverordnung (MDR) müssen seit Mai 2020 für alle Implantate verpflichtende MRT-Kennzeichnungen erfolgen. Alle Implantate bzw. implantierbaren medizinischen Geräte, die metallische Komponenten wie Titan enthalten, werden auf Hochfrequenz induzierte Erwärmung, Bildartefakte, Anziehung und Drehmoment getestet und gekennzeichnet, unabhängig vom Ferromagnetismus.

Passive Implantate

Ist ein metallisches Objekt ein „passives Implantat“, können Patient:innen meist trotz „frischer“ Operation untersucht werden. „Passive Implantate“ haben keine elektrisch oder magnetisch aktivierten Komponenten, die die Funktionsweise des Implantats beeinflussen,

oder sie bestehen aus nichtferromagnetischem Material und haben häufig mechanische Funktionen. Dazu gehören Gelenkersatz, Wirbelsäulenimplantate, Stents, künstliche Herzklappen aus biologischem Gewebe oder Aneurysma Clips. Obwohl Aneurysma-Clips seit 1980 normalerweise kein Edelstahl mehr enthalten, sind sie weiterhin Bestandteil vieler MRT-Sicherheitsbelehrungen und gelten häufig als bedingte Kontraindikation.

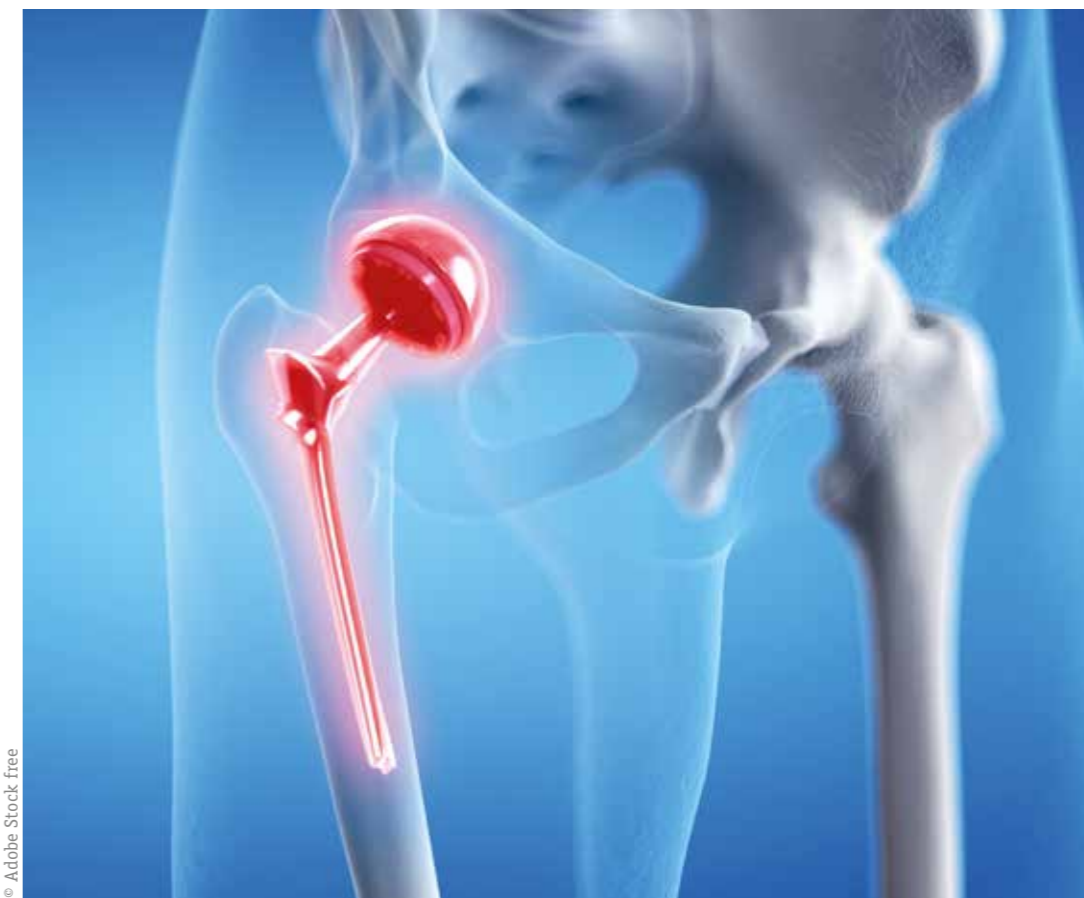
Bedingt sichere Implantate

Zu bedingt sicheren Implantaten mit „schwach magnetischen Eigenschaften“ zählen z. B. spezifische Stents, Filter, intravasculäre und intrakavitäre Spulen, die ins Gewebe einwachsen müssen. Sie erfordern ggf. eine empfohlene Wartezeit von mindestens sechs Wochen. Patient:innen mit im Körper fixierten Implantaten wie z. B. orthopädischen Schrauben und Platten können ohne Wartezeit untersucht werden. Die verwendeten Materialien sind rostfreier Stahl, Titan und Titanlegierungen sowie Keramik. Eine notwendige Wartezeit entsteht hauptsächlich aufgrund von Wundheilungsstörungen.

Herzschrittmacher und Kardioverter-Defibrillatoren

Zu beachten ist generell, dass unabhängig vom Implantat Informationen zu allen Komponenten vorliegen bzw. eingeholt werden sollten. Auch muss die Länge der Prothese bezogen auf die Feldstärke beachtet werden. Herzschrittmacher (Pacemaker, PM) und implantierbare Kardioverter-Defibrillatoren (ICD) sind medizinische Geräte zur Aufrechterhaltung der Lebensqualität verbunden mit einer Morbiditätsreduktion. PM und ICD sind derzeit „noch“ relative Kontraindikationen, wobei moderne PM verschiedene Modi haben und vor und nach der MRT-Untersuchung durch Kardiolog:innen entsprechend angepasst werden sollten. Probleme während einer MRT-Untersuchung mit bedingt sicheren PM können sein:

- Übermäßige Erwärmung der Leitungen: Der Austausch alter PM-Aggregate umfasst nicht regelhaft den Tausch der Sonden. Die Aggregate sind dann MRT bedingt sicher, die alten Sonden stellen jedoch ein Risiko dar!



Beispiel eines im Körper fixierten Implantats

- Elektromagnetische Störungen am Gerät: Diese können eine gestörte Datenerfassung oder ein fälschliches Auslösen des Geräts verursachen.
- Beschädigung des Implantats
- Bewegungen oder Vibrieren des Implantats oder der Sonden

Eine Senkung der Risiken der MRT-Untersuchung ist möglich durch:

- schriftliche und mündliche Aufklärung der Patient:innen mit gesonderter Erläuterung möglicher Risiken, die sich auf das Implantat beziehen,
- Hinzuziehen von Kardiolog:innen zur Einschätzung des Nutzen-Risiko-Verhältnisses sowie ggf. deren Anwesenheit während der Untersuchung,
- Modifikation der PM-Programmierung (vor MRT) sowie Kontrolle der Funktion (nach MRT) zur Vermeidung von Schäden am PM und Sicherstellung der Funktionsfähigkeit,
- kontinuierliche Überwachung der Patient:innen während der Untersuchung mittels wiederkehrender Kommunikation über die Gegensprechanlage, Vitalparameterkontrolle, Defibrillator, etc.,
- Patienteninstruktion in Bezug auf mögliche Missempfindungen und deren Meldung,
- Aktualisierungsanfragen der Sicherheitsinformationen beim Implantat-Hersteller zur Gewährleistung

der Patientensicherheit sowie der Einsatzmöglichkeit des MRT.

Es ist und bleibt ein Risiko und für MTRA ein mulmiges Gefühl, wenn Implantate im MRT untersucht werden. Egal, wie viel MTRA im Alltag zu tun haben: Die MRT-Sicherheit sollten sie niemals aus den Augen verlieren. Es gibt eine Vielzahl von Implantaten. Es ist nie verkehrt, einmal mehr nachzufragen und nachzuschauen.

Die Lautstärke des Gradienten

An das Klopfen erinnern sich die meisten Menschen, die bereits im MRT waren. Deshalb folgt auf die Frage nach vorangegangenen MRT-Untersuchungen häufig die Gegenfrage „Das ist die, die so laut klopft, oder?“ Die lauten Klopfgeräusche entstehen durch die Bewegung und Vibration der Gradientenspulen, wobei die Änderungen des Gradienten (Anstiegszeit, Anstiegs-geschwindigkeit) durch

- die Modifizierung der MRT-Bildgebungsparameter,
- die Wahl der Sequenz,
- die Stärke des Magnetfeldes,
- die räumliche Beschaffenheit und
- die Isolation

eine Lautstärkenvariation des Klopfens bewirken. Dabei verstärken eine Reduzierung der Schichtdicke, des FoV, der TR und der TE das Klopfen.



Herzschrittmacher als implantiertes medizinisches Gerät

Zu den lautesten MRT-Sequenzen gehören Pulssequenzen mit gleichzeitiger Anregung mehrerer Gradienten (z. B. 3D MPRAGE, EPI). Physikalische Eigenschaften des MRT-Systems wie z. B. spezielle Schallisolierungen, das Material und die Konstruktion von Spulen und Stützkonstruktionen beeinflussen die Schallübertragung des Klopfens und seine Wahrnehmung durch Patient:innen und Personal. Damit gehen Probleme wie erschwerte Gespräche, Angst, vorübergehender Hörverlust bis zu dauerhaften Hörschäden einher. Besonders zu schützende Patientengruppen sind:

- verwirrte, demente Patient:innen, die sich nicht adäquat zur Lautstärke äußern können,
- vorgeschädigte Patient:innen wie z. B. Höreräteträger:innen,
- Kinder, vor allem Neugeborene,
- psychisch erkrankte und sedierte Patient:innen, deren Empfindlichkeit des Gehörs sich möglicherweise durch bestimmte Medikamente steigert.

Lärmempfinden ist individuell

Menschen empfinden Schall unterschiedlich, abhängig von der Lautstärke, den Schallreflexionseigenschaften der Umgebung sowie individuellen Eigenschaften wie z. B. einer Hypakusis. So kann z. B. bei Konzertveranstaltungen das Lautheitsempfinden von „angenehm“ bis „viel zu laut“ variieren. Gleiches gilt für das Lärmempfinden bei der MRT. Offene MRT-Systeme haben häufig wegen ihrer Bauart geringere Lautstärkepegel. Grund sind kleinere Feldstärken mit reduzierten Schallreflexionen. Unterschiedliche Reflexionen des Spitzenschallpegels können eine dauerhafte Hörschädigung verursachen, so dass ein korrekt sitzender Gehörschutz obligat ist. Für die Schallreflexion und den wirksamen Schallpegel sind relevant:

- die Lage der Patient:innen in der Röhre,
- die Körpergröße der Patient:innen,
- die Länge der Bohrung,
- die Anwesenheit von weiteren Personen sowie Objekten im Scannerraum.

Maßnahmen zum Gehörschutz

Im Normalfall sind Patient:innen allein im Scannerraum. In Einzelfällen ist jedoch die Anwesenheit von Personal oder Angehörigen notwendig, um Patient:innen z. B. zu beruhigen. Der Geräuschpegel am Ein- bzw. Ausgang der Bohrung beträgt ca. 100-130 dB(A). Dieser Pegel schädigt das Gehör, wenn kein Gehörschutz getragen wird. Daher müssen alle Personen, die sich im Untersuchungsraum aufhalten, während des Scans einen Gehörschutz verwenden. Ohrstöpsel oder Kopfhörer sind passive Gehörschutzmittel. Ohrstöpsel erreichen bei richtiger Anwendung eine ausreichende Pegelreduktion von 10-30 dB(A), allerdings machen sie auch die menschliche Stimme



Beispiel für zum Einsatz kommende passive Gehörschutz-Varianten



schwer verständlich. Bei Untersuchungen mit Atemkommandos werden daher Kopfhörer verwendet, die korrekt angelegt werden müssen. Auch die Größe muss passen. Sitzt ein Kopfhörer inkorrekt, weil z. B. der Kopf eines Kindes zu klein ist, ist es grob fahrlässig, einen nicht passenden Gehörschutz wissentlich anzuwenden. Gleiches gilt für die Verwendung von nicht passenden oder inkorrekt eingebrachten Ohrstöpseln. Daher ist zu beachten:

- ggf. beide Möglichkeiten anbieten, Ohrstöpsel und Kopfhörer,
- beim Einsetzen von Ohrstöpseln die Ohrmuschel greifen und nach hinten oben ziehen, um das Einsetzen zu erleichtern,
- Ohrstöpsel mittels Klebeband am Ohr fixieren, um das Herausfallen zu verhindern,
- beschädigten Gehörschutz entsorgen und nicht verwenden,
- Tragen des Gehörschutzes während der Arbeit im Scannerraum, auch bei Tätigkeiten von kurzer Dauer, da die Lärm-Expositionsdauer die Entstehung einer Hörschädigung beeinflusst. Leitsatz: „Je weniger Lärmeinwirkung, desto besser fürs Gehör.“
- Reduktion des Geräuschpegels durch Verwendung einer Schaumstoffunterlage oder Decke, insbesondere für Untersuchungen von Neugeborenen und Kleinkindern.

Geräuschinduzierte MRT-Sequenzen

Neue Kopfhörer-Generationen können Hintergrundgeräusche unterdrücken und somit auch das Klopfen des MRT. Sie sind ein aktiver Gehörschutz. Dabei analysiert der Kopfhörer die Geräusche und erzeugt Antiphasentöne zur Unterdrückung. Ein weiterer aktiver Gehörschutz ist, geräuschreduzierte MRT-Sequenzen zu verwenden. Je nach Untersuchungssetting kann mit starken Gradienten und hoher Slew Rate gearbeitet werden.

Die Gradientenstärke wird in Millitesla pro Meter (mT/m) angegeben und liegt bei 1,5 – 3 Tesla Scannern im Maximal von 30-45 mT/m pro Achse. Die Anstiegs-

zeit des Gradienten wird in Millisekunden gemessen und beträgt meist zwischen 0,1-0,3 ms. Die Anstiegszeit bis zur maximalen Gradientenstärke (Anstiegs-geschwindigkeit bzw. Slew Rate) wird in Tesla pro Meter pro Sekunde (T/m/s) gemessen und ist die Geschwindigkeit, mit der ein Gradient ein- und ausgeschaltet wird. Die Slew-Rate hat Einfluss auf die minimal erreichbare TR und TE der Sequenzen sowie auf den Echoabstand in schnellen SE-Sequenzen. Es gibt folgende Möglichkeiten zur Anpassung:

- Reduktion der Lautstärke durch die Verwendung von SE-Sequenzen anstelle von EPI oder GRE-Sequenzen,
- Reduzierung der Gradienten, z. B. von 3D auf 2D mit niedriger Gradientenamplitude wechseln,
- Reduzierung der Anstiegsrate (Slew-Rate) des Gradienten,
- Verwendung von parallelen Bildgebungstechniken wie SENSE (reduzierte k-Raum Abtastung und Senkung des Geräuschpegels um 10-15 dB/dt bei ggf. reduzierter Bildqualität),
- Nutzung der Softwareoptionen einiger Hersteller, um Grenzwerte einzustellen.

Literatur:
mri-safety.com
Essentials of MRI Safety von Donald W. McRobbie
Einstelltechnik und Protokolle im MRT Dorina Petersen