

Der Radiologe

Zeitschrift für diagnostische und interventionelle Radiologie,
Radioonkologie, Nuklearmedizin

Organ des Berufsverbandes der Deutschen Radiologen e.V. (BDR)

Elektronischer Sonderdruck für

S. Nospes

Ein Service von Springer Medizin

Radiologe 2013 · 53:1026–1032 · DOI 10.1007/s00117-013-2570-x

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

S. Nospes · W. Mann · A. Keilmann

Magnetresonanztomographie bei Patienten mit magnetversorgten Hörimplantaten

Überblick und prozedurales Management

Diese PDF-Datei darf ausschließlich für nichtkommerzielle Zwecke verwendet werden und ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen – hierzu zählen auch soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Austauschplattformen.

Magnetresonanztomographie bei Patienten mit magnetversorgten Hörimplantaten

Überblick und prozedurales Management

Seit 1984 [18] werden in Deutschland hörgeschädigte Patienten immer häufiger mit einem oder 2 Cochlear implants (CI) und innerhalb der letzten 15 Jahre auch mit anderen Hörimplantaten mit transkutaner Magnetfixierung oder einer transkutan magnetfixierten Energieversorgung (Hirnstamm-, Mittelohr-, Knochenleitungsimplantate) versorgt. Nach vertraulichen Firmenangaben und Angaben des Verbands der Universitätsklinik Deutschlands e. V. [33] schätzen die Autoren die Anzahl der jährlich durchgeführten CI auf 3500. Bestandteil dieser Implantate ist ein in das Implantat integrierter Magnet. Aufgrund gerätetechnischer Weiterentwicklungen, Verbesserungen in der Operationstechnik und sich dadurch verbessernden Hörerfolgen ist mit einer weiteren Ausweitung der medizinischen Indikationen zur Implantation von derartigen Hörimplantaten und damit mit einer steigenden Anzahl dieser Patienten zu rechnen. So können inzwischen auch Patienten mit ausgeprägten Hochtonabfällen, einseitiger Hörrestigkeit, chronischer Otitis media, Gehörgangs- und Mittelohrfehlbildungen, Aplasie oder Schädigungen des N. acusticus von diesen Methoden profitieren [2, 4, 6, 7, 26].

Viele dieser Patienten werden im Laufe ihres Lebens Erkrankungen, z. B. Bandscheibenvorfälle, Schlaganfälle oder maligne Erkrankungen, erleiden oder leiden bereits an Erkrankungen, beispielsweise an einer Neurofibromatose Typ II oder einem Hydrozephalus [16, 23], die eine Indikation zur magnetresonanztomographischen Diagnostik (MRT) bedingen können.

Vor einer CI- oder Hirnstammimplantatversorgung sind eine MRT-Schädeluntersuchung und eine Dünnschichtcomputertomographie der Felsenbeine im Rahmen der präoperativen Basisdiagnostik durchzuführen [1, 2, 10, 14, 37]. Neben der Differenzialdiagnostik der Hörstörungsursache (Akustikusneurinom, Hörnervenaplasie) dient die präoperative MRT-Diagnostik auch der Sicherung oder dem Ausschluss anderer intrakranieller Erkrankungen, z. B. von Marklagererkrankungen, Hirnsubstanzdefekten oder intrakraniellen Tumoren [19, 22]. Liegen bekannte Komorbiditäten wie eine Neurofibromatose Typ II vor, welche üblicher Weise regelmäßige MRT-Schädeluntersuchungen erfordern, ist vor einer Versorgung mit einem CI oder einem Hörimplantat mit implantiertem Magneten interdisziplinär mit den behandelnden Neurologen/Neurochirurgen abzuklären, ob und wann unter diesen Umständen eine derartige Versorgung zu planen ist und wie die weitere postoperative interdisziplinäre Nachsorge erfolgen soll.

Hörimplantatmethoden mit implantierten Magneten

Hirnstammimplantate

Hirnstammimplantate bestehen aus einem am Hirnstamm über den für die akustische Verarbeitung zuständigen Hirnstammarealen implantierten Elektrodenträger, welcher ähnlich wie beim Cochlear implant an einen elektronischen Implantatschaltkreis und eine Empfängerspule angeschlossen und an einen implan-

tierten Magneten gekoppelt ist. Der externe Geräteteil besteht aus einem Sprachprozessor mit Mikrofon(en), einer Elektronik für die digitale Sprachsignalverarbeitung, einem Batteriefach mit Batterien/Akku und einer externen Sendespule mit dem externen Magneten. Die Energieversorgung erfolgt vollständig von außen über die Batterien oder Akkus des Sprachprozessors.

Cochlear implant

Cochlear implants (■ **Abb. 1**) bestehen aus einem implantierbaren Teil und einem externen retroaurikulär positionierten Sprachprozessor mit einer Übertragungsspule. Das Implantat selbst besteht aus den intracochleär positionierten an einem Elektrodenträger fixierten Elektroden, dem elektronischen Implantat-Schaltkreis mit der subkutan liegenden Empfängerspule für die eingehenden elektromagnetischen Signale und einem der transkutanen Fixierung der Sprachprozessorspule dienenden Magneten sowie je nach Hersteller noch einer zusätzlichen unterhalb der benachbarten Muskulatur positionierten Neutralelektrode. Der wie ein konventionelles HdO-Hörgerät abnehmbare oder ohne Fixierung an der Ohrmuschel tragbare Sprachprozessor besteht aus Mikrofon(en), einer Elektronik für die digitale Sprachsignalverarbeitung, einem Batteriefach mit Batterien/Akku und einer externen Sendespule mit einem externen Magneten zur transkutanen Fixierung der Sendespule über der implantierten Empfängerspule. Die CI-Energieversorgung erfolgt vollständig

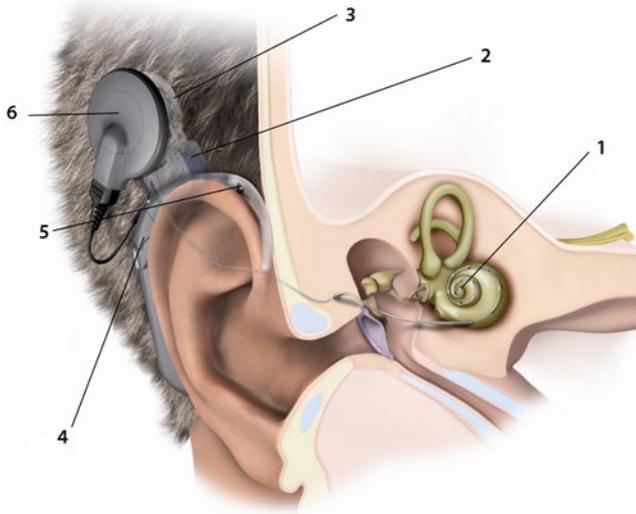


Abb. 1 ◀ Cochlear implant mit 1 Elektroden, 2 subkutan liegendem Implantatgehäuse mit Implantatschaltkreis, 3 Empfängerspule mit implantiertem Magneten, 4 Sprachprozessor mit Batteriefach, 5 Mikrofon, 6 Sendespule mit externem Magneten. (Graphik ©Med-El, mit freundl. Genehmigung)

von außen über die Batterien oder Akkus des Sprachprozessors oder bei Säuglingen über ein mit dem Sprachprozessor über Kabelanbindung verbundenes separates an der Kleidung des Kindes fixierbares Batteriefach.

Mittelohrhörgeräte

Bei diesen Hörgeräten wird ein Schwingungsgeber in das Mittelohr entweder angekoppelt an die Gehörknöchelchenkette oder aber angekoppelt an das runde Fenster implantiert. Die transkutane Fixierung der Sendespule des externen Hörgeräteeils bei den teilimplantierbaren Hörsystemen Vibrant-Soundbridge® (Fa. Med-El) und Esteem® (ältere Modelle, Fa. Envoymedical) bzw. die transkutane Fixierung der für die Aufladung des Akkus beim vollimplantierbaren Hörgerät Carina® (Fa. Cochlear) notwendigen Sendespulen erfolgt jeweils über einen implantierten Magneten. Beim Hörgerät Carina® und bei den neueren Esteem®-Modellen sind alle zusätzlichen Hörgeräteeile (subkutanes Mikrofon, Verstärker, Akku) implantiert. Die externen Hörgeräteeile der Hörsysteme Vibrant-Soundbridge® und Esteem® (ältere Modelle) beinhalten Mikrofone, den Verstärker und die Energieversorgung (Batteriefach, Batterien) sowie jeweils eine Sendespule und werden hinter dem Ohr ohne Fixierung an der Ohrmuschel getragen.

Knochenleitungshörgeräte

Hierbei handelt es sich um teilimplantierbare Hörgeräte. Der implantierte Hörgeräteeil wird in ein gefrästes Knochenbett eingepasst und dort mit Schrauben fixiert. Bestandteil des implantierten Hörgeräteeils ist bei beiden Herstellern ein interner Magnet zur transkutanen Fixierung des externen Hörgeräteeils. Bei der Bonebridge® (Med-El) wird die Schwingung durch den implantierten Floating Mass Transducer (FMT), der von außen gesteuert wird, erzeugt. Beim Otomag®/Sophono Alpha 2® (Sophono) wird die Schwingung transkutan übertragen. Der externe Hörgeräteeil wird jeweils retroaurikulär im Bereich des behaarten Kopfs positioniert und besteht aus einem externen Magneten zur transkutanen Fixierung, einem Mikrofon, der Hörgeräteelektronik mit der Energieversorgung (Batteriefach) und beim Otomag® einem Schwingungserzeuger.

Magnetresonanztomographie (MRT)

In der Umgebung der MRT-Geräte (im so genannten Sicherheitsbereich) werden ferromagnetische Metallmaterialien, beispielsweise in Herzschrittmachern, Cochlear implants, Hörgeräten oder Metallclips, und andere sich im Untersuchungsmagnetfeld befindende Alltagsgegenstände ausgeprägten magnetischen Energiefeldern ausgesetzt, was zur mechanischen

Anziehung, Drehung, Kollisionen, Störung der elektronischen Steuerungssysteme, Erhitzung, Verdampfung von Gasen oder biologischen Interaktionen führen kann [17]. Neben zahlreichen Alltagsgegenständen sind deshalb auch viele Medizinprodukte im Sicherheitsbereich und bei der MRT-Untersuchung nicht zugelassen. Im Sicherheitsbereich zugelassene Produkte werden zuvor einer differenzierten Prüfung unterzogen.

Wechselwirkungen zwischen Hörimplantaten und MRT

Entmagnetisierung

In-vitro-Untersuchungen mit 0,2-, 0,3, 1,0- und 1,5-T-Geräten innerhalb des MRT-Scanners und auch im MRT-Sicherheitsbereich zeigten Demagnetisierungen des implantierten Magneten wechselnden Ausmaßes abhängig von der Orientierung des Magnetfeldes zum Implantat [15, 33, 38]. Wenn im Anschluss eine ausreichende transkutane Fixierung der externen Sendespule durch die Entmagnetisierung nicht mehr möglich sein sollte, kann eine Fixierung mit Haarklammern oder Toupetkleber oder über spezielle Halteplatten versucht werden. Entmagnetisierungen geringeren Ausmaßes können durch Einsatz eines stärkeren Magneten in die externe Sendespule ausgeglichen werden [34]. Wenn eine Demagnetisierung einen operativen Cochlear-implant-Wechsel erfordern würde, kann zwar in der Regel eine ebenso gute Hörsituation postoperativ erwartet werden [11], eine postoperative Verschlechterung ist aber nicht sicher auszuschließen.

Andere Autoren fanden unter Einhaltung bestimmter Untersuchungsbedingungen keine signifikanten Demagnetisierungen des implantierten Magneten bei 0,2–1,5 T magnetischer Feldstärke und analysierten in In-vitro-Experimenten die günstigste Positionierung des Implantats und des Patienten im Magnetfeld des Scanners während der Untersuchung im Hinblick auf eine Minimierung des Demagnetisierungsrisikos und der Artefakte bei der Schädel-MRT [12, 29, 35]. Eine zunehmende Demagnetisierung des Magneten in der Folge wiederholter MRT-Untersuchungen ist nicht sicher auszuschließen. Bei der 3-T-MRT sind auch bei

S. Nospes · W. Mann · A. Keilmann

Magnetresonanztomographie bei Patienten mit magnetversorgten Hörimplantaten. Überblick und prozedurales Management

Zusammenfassung

Hintergrund. In Deutschland werden jährlich ca. 3500 hörgeschädigte Patienten aller Altersgruppen mit meist teilimplantierten magnetversorgten Hörimplantaten operativ versorgt. Gleichzeitig ist eine Zunahme magnetresonanztomographischer Untersuchungen (MRT) zu verzeichnen. Bei der Indikationsstellung zur MRT-Untersuchung und bei deren Durchführung sind produktspezifische Verbote, Einschränkungen und Sicherheitsmaßnahmen zu beachten.

Methoden. Dieser Artikel basiert auf den verbindlichen Sicherheitsvorschriften zur MRT-Untersuchung der jeweiligen Implantat-Hersteller und auf einer selektiven Literaturrecherche in PubMed mit den Suchbegriffen „MRI compatibility“/„MRI safety“ + „cochlea implant“/„auditory brainstem implant“/„Bonebridge“/„Carina“/„Esteem“/„Otomag“/„Sophono alpha“/„Vibrant Soundbridge“. Einbezogen wurden alle unter diesen Stichworten aufgefundenen 20 Artikel, die sich mit der MRT-Kompatibilität der oben genannten Hörimplantate mit Magnetimplantation beschäftigten. Außerdem wurden die in diesen Veröf-

fentlichungen genannten Literaturangaben recherchiert.

Ergebnisse. Die bei der MRT-Untersuchung notwendigen hohen elektromagnetischen Feldstärken können zu Störungen der Implantatfunktion oder zur Dislokation des Implantats bzw. des implantierten Magneten führen. Nicht zur MRT-Untersuchung zugelassen sind die älteren Cochlear implants (CI) der Fa. Advanced Bionics/bzw. deren neuere CI bei Belassen des implantierten Magneten, ältere CI der Fa. Cochlear sowie die Mittelohr-implantate Carina®/ältere Modelle Esteem® und Vibrant-Soundbridge®. Bei den anderen Implantaten ist hingegen eine Untersuchung im 0,2-, 1,0- oder 1,5-T-MRT, jedoch nur in Ausnahmen bei 3,0 T, möglich. Empfehlungen der Hersteller geben verbindliche Richtlinien zum MRT-Untersuchungsvorgang, insbesondere einen Kopfkompansionsverband vor. Bei der Lagerung des Patienten soll die Längsachse des Kopfes parallel zum Hauptmagnetfeld des Scanners, meist in Rückenlage mit gerade gehaltenem Kopf positioniert werden. Der Patient darf den Kopf während

der Untersuchung nicht zur Seite drehen. Implantatspezifische Artefakte bei der MRT-Schädel-Untersuchung und die dadurch eingeschränkte diagnostische Aussagefähigkeit sind bei der Indikationsstellung zur Untersuchung zu beachten.

Schlussfolgerungen. Eine MRT-Untersuchung sollte bei Patienten mit dafür zugelassenen Ohrimplantaten mit einem implantierten Magneten aufgrund möglicher Implantatschädigungen/-dislokationen und der im Schädel-MRT eingeschränkten Bildqualität nur bei strengster Indikationsstellung und in enger Absprache zwischen den die Untersuchung veranlassenden Ärzten, dem den Patienten betreuenden otologischen Team und dem Radiologen erfolgen. Zuvor sind alle anderen alternativen diagnostischen Möglichkeiten auszuschöpfen.

Schlüsselwörter

MRT-Kompatibilität · Cochlear implant · Akustisches Hirnstammimplantat · Aktive Ohrimplantate · Implantatspezifische Artefakte

Magnetic resonance imaging in patients with magnetic hearing implants. Overview and procedural management

Abstract

Background. Every year in Germany approximately 3,500 patients receive a cochlear implant or other hearing implants with an implantable magnet. At the same time more and more patients are examined by magnetic resonance imaging (MRI). For the indications and execution of this imaging modality a number of restrictions and safety measures have to be considered.

Methods. This article is based on the restrictions of the manufacturers and a selective literature search in PubMed using the following keywords: MRI compatibility/MRI safety + cochlea implant/auditory brainstem implant/Bonebridge/Carina/Esteem/Otomag/Sophono alpha/Vibrant Soundbridge. We included all 20 publications of this search concerning the MRI compatibility of the hearing implants complemented by papers cited in the primary articles.

Results. High electromagnetic field intensities as used in MRI can cause malfunction and dislocation of the implant or the magnet in the device. Older cochlear implants (CI) and the current CIs produced by Advanced bionics without explanation of the magnet, some CI models produced by the company Cochlear and the middle ear implants Carina®/Esteem® (older models) and Vibrant-Soundbridge® are not approved for MRI examinations. Other hearing prostheses are approved for 0.2 T, 1.0 T or 1.5 T MRI and in exceptional circumstances 3 T MRI. Recommendations of the manufacturers have to be followed, notably wearing a head bandage during the imaging procedure. The longitudinal axis of the patient's head has to be positioned parallel to the main magnetic field of the scanner. The patient may not move the head laterally during the examination. Possible artefacts

and the reduced validity of the results of skull MRI have to be considered when evaluating the indications for the examination.

Conclusion. For patients wearing hearing implants with an implantable magnet the indications for MRI in devices with MRI certification should be rigorously restricted. Possible defects/dislocation of the implants may occur and the quality of the skull MRI images is reduced. A close contact between the radiologist and the implanting team is required. Other diagnostic procedure options should be exhausted before employing MRI.

Keywords

Magnetic resonance imaging compatibility · Cochlear implant · Auditory brainstem implant · Active ear implants · Implant-specific artefacts

neueren CI-Modellen Demagnetisierungen des Magneten abhängig vom Winkel zwischen Magnetfeld des CI-Magneten und des MRT möglich [20]. Deshalb wird gegenwärtig von Herstellern der zur MRT zugelassenen CI-Modelle die MRT-Feldstärke bei Belassen des inneren Magneten auf eine Feldstärke von maximal 1,5 T begrenzt.

Dislokationen

Durch das Magnetfeld könnten das Implantat oder der implantierte Magnet disloziert werden [12, 34, 38, 40]. Eine ausreichende knöcherne Unterfütterung des Implantats von 0,3–0,6 mm wird vorausgesetzt, um Dislokationen nach intrakraniell vorzubeugen [27]. Bei der Vibrant Soundbridge® können Dislokationen des Implantats mit dem Magneten zu Schmerzen und Verletzungen des Implantatbetts und Dislokationen des FMT zu Verletzungen der Gehörknöchelchenkette oder eventuell auch benachbarter Strukturen (Trommelfell, ovales und rundes Fenster) führen [36]. In einer Studie mit 13 Patienten mit Vibrant Soundbridge® benötigten 2 Patienten eine transtympanale Reposition des FMT [31].

Zur Vermeidung einer Dislokation des gesamten Implantats nach außen werden zusätzlich zur optimalen Positionierung des Patienten während der MRT-Untersuchung neben einer ausreichend langen postoperativen narbigen Stabilisierung des Implantats zirkuläre Kompressionsverbände empfohlen [12, 17]. Einzelfallberichte beschreiben jedoch Schmerzen und Hautreizungen über dem Implantat und Dislokationen von bei der MRT-Untersuchung belassenen CI-Magneten trotz eines Kompressionsverbandes: Bei einem 8-jährigen mit einem Freedom Contour Nucleus® CI (Fa. Cochlear) versorgten Kind führte eine 1,5-T-Schädel-MRT zur Magnetdislokation und starken Schmerzen bei der Untersuchung [8]. Sechs Monate zuvor war dieser Magnet bereits zur Durchführung einer vorherigen MRT-Schädeluntersuchung explantiert und replantiert worden. Der dislozierte Magnet wurde erneut explantiert und durch einen Titanplatzhalter ersetzt. Der Sprachprozessor konnte danach mittels einer speziellen Halteplatte auch ohne internen Magneten getragen werden. Bei einer an-

deren Patientin dislozierte ein Magnet bei einem Nucleus 512® (Fa. Cochlear [5]) bei einer 1,5-T-Schädel- und Wirbelsäulen-MRT-Untersuchung. Deswegen wurden vor einer weiteren MRT-Schädeluntersuchung die Magneten beider CI explantiert und durch Titanplatzhalter ersetzt. Nach Reimplantation der Magneten zeigten sich keine Funktionsverluste beider CI.

Ferromagnetische Wechselwirkungen

Durch ferromagnetische Wechselwirkungen induzierte Stromspannungen an den implantierten Elektroden und im Implantatschaltkreis während der MRT-Scans können möglicherweise zu Störungen der Implantatfunktion führen. Nach Angaben der Firma Med-El dürfen bei CI- und Hirnstammimplantatträgern nur statische Magnetfelder und Sequenzen des „normal operating mode“ verwendet werden. Elektromagnetisch induzierte akustische Wahrnehmungen (Klicken/Piepsen) können jedoch trotzdem auftreten. Wesentliche in die Umgebung abgeleitete elektrische Spannungen wurden nicht nachgewiesen [13, 15]. Erwärmungen in der Umgebung des Implantats werden in verschiedenen Studien bis zu einer Untersuchungsfeldstärke von 1,5 T als nicht gefährlich angesehen [13, 34, 35, 38]. Von der Firma Cochlear sind Angaben über die maximalen spezifischen Absorptionsraten am Kopf während der MRT-Untersuchung für die verschiedenen Implantatmodelle zu erhalten. Inzwischen liegen Beobachtungsstudien in Serien von bis zu 30 Patienten mit verschiedenen CI-Implantaten vor, bei denen je nach Studie nach einer 0,2-, 1-, 1,5-T-MRT mit oder auch ohne Kompressionsverband keine CI-Funktionsstörungen und keine unangenehmen akustischen oder schmerzhaften Missempfindungen beschrieben wurden [3, 25, 35].

Artefakte in der MRT-Untersuchung

CI-bedingte Artefakte in der MRT-Schädeluntersuchung führen zu erheblichen Einschränkungen der Bildqualität. In-vitro- und In-vivo-MRT-Schädelversuche mit CI verschiedener Hersteller (teilweise an Leichenimplantaten oder aber mit Fixierung des CI auf der äußeren Haut eines Probanden) ergaben je nach CI-

Modell und abhängig davon, ob der interne Magnet entfernt oder belassen wurde, 1–11 cm große Artefaktschatten in der Umgebung des Magneten mit Verdeckung der dort liegenden intrakraniellen Strukturen durch Distorsionen der Spinechosignale [13, 21, 24, 34, 38]. Auch bei In-vivo-Untersuchungen an CI-Patienten ist ein wesentlicher Teil der dem implantierten Magneten benachbarten intrakraniellen Strukturen im MRT des Schädels nicht darstellbar [3, 5]. Ähnliche Artefakte wurden auch bei der MRT mit implantierter Vibrant Soundbridge gesehen [30]. Verminderungen der Artefakte durch die Wahl optimierter Kopfpositionen sind im Experiment beschrieben [35].

Alternativ wurden bei 11 Patienten auch näher an die Ohrmuschel implantierte magnetfreie CI mit einem speziellem HdO-Headset erprobt (Cochlear CLARION® Multi-Strategy, Studienmodell) und bzgl. der MRT-Verträglichkeit bei 0,3- und 1,5-T-Untersuchungen überprüft. Durch die verbliebenen ferromagnetischen Metallanteile ergaben sich jedoch auch hierbei 2–4,5 cm große Artefakte in der Umgebung des Implantats [39]. Zwei Hersteller bieten inzwischen CI mit passager explantierbaren Magneten an. Bei den anderen Herstellern müsste im Bedarfsfall das Gehäuse und damit auch der Magnet des Implantats unter Belassung des Elektrodenträgers als Platzhalter für eine zukünftige Reimplantation operativ entfernt werden. Jede operative Intervention ist jedoch mit dem Risiko einer Wundinfektion, eines Implantatversagens oder einer postoperativen Verschlechterung der CI-Funktion behaftet. Es bestehen nicht für alle CI-Modelle bzw. für die Produkte aller Hersteller TÜV oder FDA-Zulassungen zur MRT-Fähigkeit. Einige CI sind bis 1,5 T und bei passager explantiertem Magneten auch bis zu 3 T zur MRT-Untersuchung zugelassen (Hersteller Advanced Bionics: HiRes90k® und CI®; Hersteller Cochlear: Nucleus® 22 mit entfernbarem Magneten, CI422, Freedom™, Hybrid™, Nucleus® 24 [28, 32]).

Empfehlungen zum MRT-Untersuchungsablauf

Aufgrund von Firmenempfehlungen, Studienergebnissen und eigenen klinischen

Tab. 1 Kontakte der Hersteller

Hersteller	Kontakt
Advanced Bionics	Tel. +49 (0)711 51070 570 Fax +49 (0)711 51070 571 http://www.AdvancedBionics.de
Cochlear	Tel. +49 (0)511 542 770 Fax +49 (0)511 542 770 http://www.cochlear.com
Cochlear (vormals Otologics)	Tel. +49 (0)151 17425545 E-mail: adahhan@cochlear.com
Envoymedical	E-mail: info@envoymedical.de http://www.envoymedical.com/mri
Med-El	Tel. +49 (0)8151 7703 30 Fax +49 (0)8151 7703 83 E-mail: engineering@medel.de http://www.medel.de
Neurelec	Tel. +33 493951818 Fax +49 (0)681 9963 111 Fax +33 493953801 E-mail: contact@neurelec.com ; psarnes@neurelec.com
Sophono	Tel. +49 (0)1578 7833194 E-mail: matthias.herzig@sophono.com ; jim.kasic@sophono.com http://www.sophono.com

Erfahrungen können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Bei Patienten mit CI oder Hirnstammimplantaten können auch nach der Implantation ausgeprägte audiovisuelle Kommunikationsprobleme vorliegen. Einige Patienten verfügen über einen nur unzureichenden Lautsprach-, Lese- und/oder Schriftspracherwerb. Dies ist bei der Kommunikation mit diesen Patienten zu beachten, da deshalb auch Merkblätter und komplexere medizinische Sachverhalte eventuell nicht verstanden werden. Im Zweifelsfall ist der Patient vor Betreten des MRT-Kontrollbereichs körperlich auf das Vorhandensein eines CI oder eines Hirnstammimplantats zu untersuchen. Im Falle eines stark eingeschränkten Kommunikationsvermögens ist zur ärztlichen Behandlung ein Gebärdendolmetscher hinzuzuziehen (Info: <http://www.kestner.de/n/dolmetschen/dolmetschen-liste.htm>).
- Dem Implantatpass sind der Hersteller und die jeweilige Implantatmodellnummer/Seriennummer des Implantats zu entnehmen. Bei den Herstellern können Merkblätter zur MRT-Untersuchung mit differenzierten Sicherheitsmaßnahmen angefordert werden (Tab. 1). Bei einigen Im-

plantaten sind verbindlich Auskünfte des jeweiligen Herstellers zur MRT-Tauglichkeit und eine entsprechende Genehmigung des Herstellers einzuholen (Tab. 2). Bei den meisten Implantaten der Firma Cochlear kann in Zweifelsfällen das Implantatmodell an einer röntgendichten Beschriftung identifiziert werden. Es ist zu beachten, dass einzelne Patienten auf beiden Seiten auch mit verschiedenen Implantaten eines Herstellers oder verschiedener Hersteller versorgt sein können.

- MRT-Untersuchungen sollten aufgrund einer erhöhten Dislokationsgefahr des Implantats/des inneren Magneten aufgrund noch unzureichender postoperativer Vernarbungen nicht innerhalb der ersten 6 Monate nach der Implantation durchgeführt werden [34].
- Die Knochendicke unter dem Implantatmagneten muss mindestens 0,4 mm betragen, um Dislokationen nach intrakraniell vorzubeugen.
- Sämtliche externe Zubehörteile der Implantate sind vor der Untersuchung außerhalb des MRT-Sicherheitsbereichs abzulegen, um Veränderungen oder Schädigungen der Sprachprozessoren oder der externen Hörgeräteeile bzw. Entmagneti-

sierungen der Magneten der externen Spulen zu vermeiden [13]. Ohne die externen Zubehörteile können die Patienten mit dem Hörimplantat nichts mehr hören und damit auch verbale Anweisungen häufig nicht mehr verstehen.

- Patienten mit mechanisch geschädigten Implantaten mit Magnetausstattung dürfen nicht mit dem MRT untersucht werden, da es durch dislozierende Implantatteile zu unkalulierbaren Verletzungen kommen kann.
- Zur MRT-Untersuchung bei hierfür zugelassenen Implantaten mit 0,2- bis 1,5-T-Geräten ist bei Belassung des inneren Magneten ein zirkulärer Kopfkompansionsverband mit vollständiger Bedeckung der Implantate zur Stabilisierung des Hautlappens anzulegen [12]. Dieser Kompansionsverband kann mit einer straff, möglichst mit voller Dehnung, aber nicht schmerzhaft mindestens 3-mal um den Kopf gewickelten handelsüblichen elastischen Binde (Med-El, Fa. Cochlear) oder aber mit einer Kompansionsbandage Typ EAR BAND-IT® (Fa. Neurelec) durchgeführt werden. Bei Implantaten der Firma Cochlear soll der Verband noch durch eine Kunststoffplatte verstärkt werden. Ziehende oder leicht drückende, jedoch ungefährliche Missempfindungen sind auch mit Kompansionsverband möglich.
- Nach Angaben der Firma Med-El sollten nur MRT-Scanner mit statischen Magnetfeldern und nur Sequenzen des „normal operating mode“ verwendet werden. Bei der Lagerung des Patienten soll die Längsachse des Kopfs parallel zum Hauptmagnetfeld des Scanners positioniert werden. Dies geschieht meist in Rückenlage mit gerade gehaltenem Kopf [9]. Der Patient darf den Kopf während der Untersuchung nicht zur Seite drehen. Bei Untersuchungen der unteren Extremitäten wird empfohlen, den Patienten mit den Beinen voran in den Scanner zu schieben, um das Risiko einer Demagnetisierung des inneren Magneten zu minimieren.

Tab. 2 MRT-Zulassung für verschiedene Implantate, Herstellerangaben

Hersteller	Name des Implantats	MRT-Zulassung/magnetische Feldstärke
Knochenleitungshörgeräte		
Med-El	Bonebridge®	Zulassung bis 1,5 T
Sophono	Otomag®/Sophono Alpha 2®	FDA-Zulassung für 1,5 und 3 T ist beantragt
Mittelohrhörgeräte		
Cochlear (vormals Otologics)	Carina®	Keine Zulassung
Envoymedical	Esteem® Model 2001 Sound Processor Model 7002 oder 7004 Sensor Model 7502 oder 7504 Driver	Zulassung bis 3,0 T ist an <i>verpflichtende</i> im Merkblatt aufgeführte technische Bedingungen zur MRT-Untersuchungssituation gebunden
	Esteem® andere Modelle	Keine Zulassung
Med-El	Vibrant-Soundbridge®	Keine Zulassung MRT-Untersuchungen sollten gemäß Herstellerangabe nur in Ausnahme- bzw. Notsituationen bei 1,5 T durchgeführt werden Dislokationen des FMT und der Titanklemme sind möglich
Cochlear implants		
Advanced Bionics	HiRes90k® und C1®	Zulassung bei 0,3 und 1,5 T nur <i>nach zwingend vorgeschriebener</i> passagerer operativer Magnetentfernung Die Zulassung einer MRT-Untersuchung muss vorher für jeden Patienten beim Hersteller beantragt und genehmigt werden
	Andere CI	Keine Zulassung
Cochlear	CI512, CI513, C522, CI551 (ohne röntgendichte Beschriftung)	Zulassung bis zu 0,2 T unter Belassung des inneren Magneten (kein Kompressionsverband erforderlich)
	CI422, Freedom™, Hybrid™, Nucleus® 24 (mittleres röntgendichtes Zeichen: C, H, P, T, 2, 4, 5, 6, 7, 13)	Zulassung 0,2–1,5 T unter Belassung des inneren Magneten Zulassung bei 1,5–3 T nur <i>nach dann zwingend vorgeschriebener</i> passagerer operativer Magnetentfernung
	Nucleus® 22 mit entfernbar Magnet (mittleres röntgendichtes Zeichen: L, J)	Zulassung bis einschließlich 1,5 T nur <i>nach dann zwingend vorgeschriebener</i> passagerer operativer Magnetentfernung
	Nucleus® 22 ohne entfernbar Magnet (mittleres röntgendichtes Zeichen: Z)	Keine Zulassung
Med-El	Alle CI	Zulassung bei 0,2, 1,0 und 1,5 T unter Belassung des inneren Magneten mit Kompressionsverband Eine passagere operative Magnetentfernung ist bei allen CI dieses Herstellers <i>nicht</i> möglich >1,5 T keine Zulassung
Neurelec	Alle CI	Zulassung bei 1,5 T unter Belassung des inneren Magneten. Die Zulassung einer MRT-Untersuchung muss vorher für jeden Patienten beim Hersteller beantragt und genehmigt werden Eine passagere operative Magnetentfernung ist bei allen CI dieses Herstellers <i>nicht</i> möglich
Hirnstammimplantate		
Cochlear	ABI541 (ohne röntgendichte Beschriftung) ABI24M (mittleres röntgendichtes Zeichen: G)	Zulassung bis zu 0,2 T unter Belassung des inneren Magneten auch ohne Kompressionsverband Zulassung bis zu 0,2–1,5 T unter Belassung des inneren Magneten Bei 1,5–3 T nur <i>nach dann zwingend vorgeschriebener</i> passagerer operativer Magnetentfernung
Med-El	Alle Hirnstammimplantate	Zulassung bei 0,2, 1,0 und 1,5 T unter Belassung des inneren Magneten Eine passagere operative Magnetentfernung ist bei allen Hirnstammimplantaten dieses Herstellers <i>nicht</i> möglich >1,5 T keine Zulassung

FDA US Food and Drug Administration, FMT Floating Mass Transducer.

- Während der MRT-Untersuchung kann es bei Patienten mit CI oder Hirnstammimplantaten zu akustischen Wahrnehmungen kommen (Klicken und Piepstone). Eine entsprechende Aufklärung vor der Untersuchung ist erforderlich.
- Im Anschluss an die Untersuchung sollte eine technische Überprüfung der CI-Funktion in der die fortlaufende CI-Kontrollen durchführenden Einrichtung erfolgen.

Fazit für die Praxis

- Nicht alle Hörimplantate mit einem implantierten Magneten sind zur MRT-Untersuchung geeignet bzw. zugelassen.
- Eine MRT-Untersuchung sollte bei Patienten mit einem solchen zur MRT-Untersuchung zugelassenen Hörimplantat nur mit strengster Indikationsstellung erfolgen, weil Schädeligungen, selten auch Dislokationen des Implantats und Schmerzen beim Patienten möglich sind und Einschränkungen der Bildqualität beim Schädel-MRT vorliegen. Zuvor sind alle anderen in Frage kommenden alternativen diagnostischen Möglichkeiten auszuschöpfen.
- Im Falle einer geplanten MRT-Untersuchung sind in individueller Absprache mit dem jeweiligen Implantathersteller definierte technische Rahmenbedingungen und Sicherheitsmaßnahmen das jeweilige Implantat betreffend zu beachten.
- Nach der MRT-Untersuchung ist eine Überprüfung der Implantatfunktion durchzuführen.

Korrespondenzadresse

S. Nospes

SP Kommunikationsstörungen/HNO-Klinik,
Universitätsmedizin Mainz,
Langenbeckstr. 1, 55131 Mainz
sabine.nospes@unimedizin-mainz.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Die korrespondierende Autorin weist auf folgende Beziehungen hin: S. Nospes – 2010 Reisekostenerstattung Fa. Cochlear für eine Seminarteilnahme; A. Keilmann – Reisekosten und Forschungs-Drittmittel von MEDEL und Cochlear. W. Mann gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine Studien an Menschen oder Tieren.

Literatur

1. Aschendorff A (2011) Imaging in cochlear implant patients: GMS. *Curr Top Otorhinolaryngol Head Neck Surg* 10:Doc07. <http://www.egms.de/static/en/journals/cto/2012-10/oct000080.shtml>

2. AWMF-Leitlinie F017/071 – Langfassung (2012) Cochlea-Implantat Versorgung und zentral-auditorische Implantate. http://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/017-071I_S2k_Cochlea_Implant_Versorgung_2012-05_01.pdf
3. Baumgartner WD, Youssefzadeh S, Hamzavi J et al (2001) Cilical application of magnetic resonance imaging in 30 cochlear implant patients. *Otol Neurotol* 22:818–822
4. Briggs RJ, Brackmann DE, Baser ME, Hitselberger WE (1994) Comprehensive management of bilateral acoustic neuromas. Current perspectives. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 120:1307–1314
5. Broomfield S, Melville D, Gibson P (2013) Cochlear implants and magnetic resonance scans: a case report and review. *Cochlear Implants Int* 14(1):51–55
6. Colletti V, Fiorino F, Carner M et al (2002) Auditory brainstem implantation: the University of Verona experience. *Otolaryngol Head Neck Surg* 127:84–96
7. Cremers CW, O'Connor AF, Helms J (2010) International consensus on Vibrant Soundbridge® implantation in children and adolescents. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 74:1267–1269
8. Deneuve S, Loundon N, Leboulangier N et al (2008) Cochlear implant magnet displacement during magnetic resonance imaging. *Otol Neurotol* 29:789–790
9. Dubrulle F, Vincent C, Waroquaux A et al (2011) Recommandations pour la réalisation d'une IRM chez un patient porteur d'implant cochléaire. *J Radiol* 92:872–877
10. Durisin M, Bartling S, Arnoldner C et al (2010) Cochlear osteoneogenesis after meningitis in cochlear implant patients: a retrospective analysis. *Otol Neurotol* 31:1072–1078
11. Gosepath J, Lippert K, Keilmann A, Mann WJ (2009) Analysis of fifty-six cochlear implant device failures. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 71:142–147
12. Gubbels SP, McMenomey SO (2006) Safety study of the Cochlear Nucleus 24 device with internal magnet in 1,5 Tesla magnetic resonance imaging scanner. *Laryngoscope* 116:865–871
13. Heller JW, Brackmann DE, Tucci DL et al (1996) Evaluation of MRI compatibility of the modified nucleus multichannel auditory brainstem and cochlear implants. *Am J Otol* 17:724–729
14. Heman-Ackah SE, Roland JT, Haynes DS, Walzman SB (2012) Pediatric cochlear implantation: candidacy evaluation, medical and surgical considerations, and expanding criteria. *Otolaryngol Clin North Am* 45:41–67
15. Hochmair E (2001) Invited editorial MRI safety of Med-EL C40/C40 + cochlear implants. *Cochlear Implants Int* 2:98–114
16. Hoffmann RA, Kohan D, Cohen NL (1992) Cochlear implants in the management of bilateral acoustic neuromas. *Am J Otol* 13:525–528
17. Kanal E, Shellock FG, Talagala L (1990) Safety considerations in MR Imaging. *Radiology* 176:593–606
18. Lehnhardt E, Battmer RD, Nakahodo K, Laszig R (1986) Cochlear implants. *HNO* 34:271–279
19. Mackeith S, Joy R, Robinson P, Hajioff D (2012) Pre-operative imaging for cochlear implantation: magnetic resonance imaging, computed tomography, or both? *Cochlear Implants Int* 13:133–136
20. Majdani O, Leinung M, Rau T et al (2008) Demagnetization of cochlear implants and temperature changes in 3.0 T MRI environment. *Otolaryngol Head Neck Surg* 139:833–839
21. Majdani O, Rau TS, Götz F et al (2009) Artifacts caused by cochlear implants with non-removable magnets in 3 T MRI: phantom and cadaveric studies. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 266:1885–1890
22. Moon IJ, Kim EY, Park GY et al (2012) The clinical significance of preoperative brain magnetic resonance imaging in pediatric cochlear implant recipients. *Audiol Neurootol* 17:373–380
23. Odat HA, Piccirillo E, Sequino G et al (2011) Management strategy of vestibular schwannoma in neurofibromatosis type 2. *Otol Neurotol* 32:1163–1170
24. Risi F, Saldanha A, Leigh R, Gibson P (2004) Magnetic resonance imaging safety of Nucleus®24 cochlear implants at 3.0 T. *Intern Congr Ser* 1273:309–398
25. Schmerber S, Rey E, Lavielle J (2003) Is magnetic resonance imaging still a contraindication in cochlear-implanted patients? *Eur Arch Otorhinolaryngol* 260:293–294
26. Sennaroglu L, Colletti V, Manrique M (2011) Auditory brainstem implantation in children and Non-Neurofibromatosis type 2 patients: a consensus statement. *Otol Neurotol* 32:187–191
27. Sonnenburg R, Wackym P, Yoganandan N et al (2002) Biophysics of cochlear implant/MRI interactions emphasizing bone biomechanical properties. *Laryngoscope* 112:1720–1725
28. Tang Q, Yajun L (2012) MRI compatibility and safety of cochlear implants. *J Cent South Univ* 37. <http://www.csuimed.org>
29. Teissl C, Kremser C, Hochmair ES, Hochmair-Desoyer IJ (1998) Cochlear implants: in vitro investigation of electromagnetic interference at MR imaging-Compatibility and safety aspects. *Radiology* 208:700–708
30. Todt I, Seidl RO, Mutze S, Ernst A (2004) MRI scanning and incus fixation in vibrant soundbridge implantation. *Otol Neurotol* 25:969–972
31. Todt I, Wagner J, Goetze R et al (2011) MRI scanning in patients implanted with a vibrant soundbridge. *Laryngoscope* 121:1532–1535
32. Tognola G, Parazzini M, Sibella F et al (2007) Electromagnetic interference and cochlear implants. *Ann Ist Super Sanita* 43:241–247
33. Verband der Universitätsklinika Deutschlands e.V. (2012) Qualität Leben. http://www.uniklinika.de/vud.php/cat/309/title/Qualitaet_Leben. 4:16
34. Vincent C, Ruzza I, Vaneecloo FM, Dubrulle F (2008) Magnetic resonance imaging with the digisonic SP neurelec cochlear implant. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 265:1043–1046
35. Wackym PA, Michel MA, Probst RW et al (2004) Effect of magnetic resonance imaging on internal magnet strength in Med-El Combi 40+ cochlear implants. *Laryngoscope* 114:1355–1361
36. Wagner JH, Ernst A, Todt I (2011) Magnet resonance imaging safety of the Vibrant Soundbridge system: a review. *Otol Neurotol* 32:1040–1046
37. Warren FM, Wiggins RH, Pitt C et al (2010) Apparent cochlear nerve aplasia: to implant or not to implant? *Otol Neurotol* 31:1088–1094
38. Weber BP, Goldring JE, Santogrosso T et al (1998) Magnetic resonance imaging compatibility testing of the Clarion 1.2 cochlear implant. *Am J Otol* 19:584–590
39. Weber BP, Neuburger J, Goldring JE et al (1999) Clinical results of the Clarion magnetless cochlear implant. *Ann Otol Rhinol Laryngol(Suppl)* 177:22–26
40. Youssefzadeh S, Baumgartner W, Dorffner R et al (1998) MR compatibility of Med El cochlear implants: clinical testing at 1.0 T. *J Comput Assist Tomogr* 22:346–350