

# Impianto Cocleare e Risonanza Magnetica

Silvano Vitale

*ASL Lecce. Ospedale V. Fazzi. U.O. Otorinolaringoiatria*

*silvanovitale@pec.it*

## Abstract

Obiettivo del presente lavoro è quello di porre l'attenzione su alcune problematiche che coinvolgono i soggetti portatori di dispositivi impiantati come gli impianti cocleari. In particolare viene sottolineato l'aspetto relativo alla esecuzione di una Risonanza Magnetica che può essere controindicata in questi soggetti se non vengono rispettate alcune accortezze. E' altresì molto importante che la ricerca possa progredire verso l'implementazione di materiali sempre più biocompatibili e verso nuove forme di impianto cocleare.

## ***RISONANZA MAGNETICA NUCLEARE***

Il Premio Nobel per la Fisica 1952 è stato assegnato congiuntamente a Felix Bloch e Edward Mills Purcell per i loro studi sulla scoperta del principio della Risonanza Magnetica Nucleare (RMN). La RMN è una tecnica di indagine sulla materia, basata sulla misura della precessione dello spin di protoni o di altri nuclei dotati di momento magnetico, quando sono sottoposti ad un campo magnetico. Fu Raymond Damadian nel 1971 a dimostrare, con esperimenti su cavie da laboratorio, che i tempi di rilassamento magnetico-nucleari dei tessuti sani erano differenti da quelli dei tessuti tumorali, stimolando così i ricercatori a prendere in considerazione la Risonanza Magnetica (RM) come strumento per la rivelazione delle malattie. La Risonanza Magnetica per Imaging (MRI) è basata sui principi della RMN ed è una tecnica utilizzata principalmente in campo medico, per

produrre immagini ad alta definizione dell'interno del corpo umano. L'MRI è nata inizialmente come tecnica di imaging tomografico, in grado di produrre l'immagine di un sottile strato del corpo umano a partire dal segnale RMN. Con il termine imaging tomografico si fa riferimento ad una tecnica in grado di produrre un risultato, in un certo senso, equivalente all'eliminazione dell'anatomia localizzata al di sopra e al di sotto della sezione in esame. Successivamente la tecnica ha trovato applicazione anche nell'imaging volumetrico. Il 1992 è l'anno di inizio dello sviluppo dell'MRI funzionale (fMRI), una tecnica che permette di costruire una mappa delle funzioni delle varie regioni del cervello umano.

La tecnologia per eseguire una RM si distingue in base all'intensità del campo magnetico che può variare da pochi decimi di tesla fino a 1.5, 3 ed anche 7 e più tesla. Questo parametro è chiamato TESLA (T) da Nikola Tesla, ingegnere serbo e genio

dimenticato ed è l'unità di misura derivata dal sistema internazionale, utilizzata per misurare l'induzione magnetica, ossia la densità del flusso magnetico.

Le immagini di RM si possono ottenere nei vari piani (assiale, coronale, sagittale) e hanno dimensioni che possono andare da 256x256 pixel (immagini cardiache) fino a 1024x1024 pixel (immagini cerebrali ad alta risoluzione). Questo comporta che particolari di 1 mm sono al limite della visibilità ma la RM consente di differenziare due tessuti fra loro, sia sani che patologici.

La RM è quindi diventata, per la medicina, una indagine diagnostica imprescindibile. L'utilizzo della MRI è di grandissimo supporto sia in fase diagnostica che di monitoraggio di trattamenti di numerose situazioni cliniche come:

- anomalie cerebrali, del midollo spinale e altre parti del corpo
- tumori
- patologie delle articolazioni
- problemi cardiaci
- malattie degli organi addominali e pelvici
- studio di organi di senso come l'orecchio
- etc.

Per valutare i rischi e le controindicazioni alla MRI è equivalente a comprendere i problemi di sicurezza all'uso della MRI. Rischi connessi con la RM possono essere attribuiti a uno o una combinazione dei tre principali meccanismi del sistema:

1. *Forti campi magnetici statici.* Come conseguenza di interazioni ferromagnetiche, un dispositivo può essere mosso, ruotato, dislocato o spinto verso il magnete. Cosiddetto effetto proiettile. In questo modo corpi metallici, schegge, clip vascolari, impianti cocleari possono andare incontro a questo effetto. Inoltre il forte campo magnetico può anche

alterare la funzionalità della maggior parte dei devices impiantati.

2. *Gradienti di campo magnetico pulsato* che possono indurre correnti elettriche responsabili di stimolazioni neuromuscolari.
3. *Campi a radiofrequenza pulsata.* Il loro principale effetto è termogenico che può agire su devices metallici (come pacemaker e impianti cocleari) determinando un surriscaldamento locale. Oppure si potrebbero generare correnti elettriche lungo i cavi, responsabili ad esempio di aritmie cardiache.

Quindi, il magnete può causare, durante l'esame, malfunzionamento o riscaldamento di dispositivi medici impiantati che contengono metallo come riportato nella tabella sottostante:

<p>If any of the following is checked, evaluation of the individual risk has to be performed <b>before</b> the MRI examination</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▶ Aneurysm clip(s)</li> <li>▶ Any metallic fragment or foreign body</li> <li>▶ Coronary and peripheral artery stents</li> <li>▶ Aortic stent graft</li> <li>▶ Prosthetic heart valves and annuloplasty rings</li> <li>▶ Cardiac occluder devices</li> <li>▶ Vena cava filters and embolisation coils</li> <li>▶ Haemodynamic monitoring and temporary pacing devices, eg, Swan-Ganz catheter</li> <li>▶ Haemodynamic support devices</li> <li>▶ Cardiac pacemaker</li> <li>▶ Implanted cardioverter-defibrillator (ICD)</li> <li>▶ Retained transvenous pacemaker and defibrillator leads</li> <li>▶ Electronic implant or device, eg, insulin pump or other infusion pump</li> <li>▶ Permanent contraceptive devices, diaphragm, or pessary</li> <li>▶ Cochlear, otologic, or other ear implant</li> <li>▶ Neurostimulation system</li> <li>▶ Shunt (spinal or intraventricular)</li> <li>▶ Vascular access port and/or catheter</li> <li>▶ Tissue expander (eg, breast)</li> <li>▶ Joint replacement (eg, hip, knee, etc)</li> <li>▶ Any type of prosthesis (eg, eye, penile, etc)</li> <li>▶ Tattoo or permanent makeup</li> <li>▶ Known claustrophobia</li> <li>▶ Body piercing jewellery</li> <li>▶ Hearing aid</li> <li>▶ Renal insufficiency</li> <li>▶ Known/possible pregnancy or breast feeding</li> </ul> <p>Modified from: Shellock FG, Crues JV. MR procedures: biologic effects, safety, and patient care. <i>Radiology</i> 2004;232:635-52.]</p>
---

**Tabella 1. Esempio di check list con potenziali controindicazioni a MRI**

Se quindi la MRI è diventata una modalità di studio per immagini da cui la medicina attualmente non può prescindere, è assolutamente necessario un continuo update sulla sicurezza correlata alla sua esecuzione. Pertanto è mandatorio, prima di sottoporre un paziente a MRI, dare seguito

ad una qualificata check list di informazioni finalizzate alla eliminazione dei rischi.

## **IMPIANTI COCLEARI**

Gli impianti cocleari (IC) sono dispositivi utilizzati per il trattamento dei soggetti affetti da ipoacusia grave-profonda. Fanno parte del campo delle protesi neurobioniche. Essi



Figura 1. Impianto cocleare parte esterna (processore suono)

funzionano stimolando direttamente, elettricamente il nervo acustico. L'IC è costituito da due parti. Una esterna all'organismo ed una interna. La parte esterna è rimovibile e viene accoppiata con la parte interna (impiantata) mediante un magnete (calamita). Attraverso questo contatto è possibile veicolare informazioni acustiche dalla parte esterna a quella interna, la quale provvede ad inviare impulsi elettrici al nervo acustico e quindi alle aeree uditive del sistema nervoso centrale generandosi così un sensazione acustica. L'IC è costituito da un complesso elettrico e componenti metalliche e/o ceramiche.

I requisiti dei materiali per un impianto cocleare variano notevolmente per quanto riguarda i singoli componenti. I vari materiali utilizzati devono rispondere ai criteri della biocompatibilità. L'involucro esterno, che ospita saldamente l'elettronica, deve essere stabile e a tenuta di fluido. Questo è un aspetto non insignificante in termini di garanzia del dispositivo per un funzionamento a lungo termine. I materiali utilizzati includono titanio e ceramiche. La componente elettrodica è costituita da silicone, platino, iridio 90/10 con isolante in

teflon. I quattro materiali che possono entrare in contatto con il corpo umano sono pertanto: silicone, platino, titanio e ceramica. Un componente importante di un IC è un piccolo magnete che è inserito nella parte interna di un IC che, come già detto in precedenza, ha il compito di mettere in contatto la parte esterna dell'impianto (processore del suono) con la parete interna (ricevitore-stimolatore).

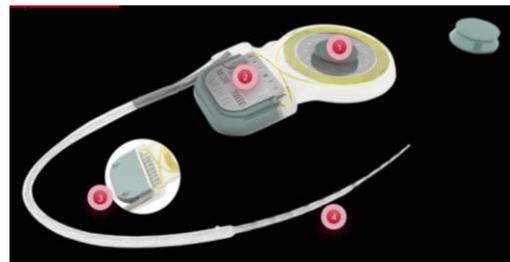


Figura 2. Parte interna di un impianto cocleare; 1 = magnete

## **IMPIANTI COCLEARI e MRI**

Il numero dei soggetti portatori di impianto cocleare è sempre più in aumento e ciò fa sì che la compatibilità fra MRI e impianti cocleari sia un tema sempre più rilevante. I vari dispositivi in commercio vengono testati per valutare gli aspetti indispensabili per eseguire una MRI in sicurezza. In generale è importante saper quale dispositivo è stato impiantato e le caratteristiche della RMN che si utilizza ed in particolare l'intensità del campo magnetico (tesla). I campi magnetici prodotti dalla RM possono generare forze responsabili di danni ai tessuti; dislocazione, torsione, smagnetizzazione del magnete, cambio di polarità dell'IC. Il magnete dell'impianto crea, inoltre, artefatti nelle scansioni cerebrali con riduzione del valore diagnostico della MRI. In questo senso un IC è una controindicazione relativa alla RMN. Da tutto ciò ne consegue che i soggetti portatori di IC non dovrebbero accedere nei locali in cui è collocato lo scanner per la RMN. Gli IC in commercio consentono, tuttavia, la esecuzione di RM senza rimozione del magnete, con adozione di accortezze come la

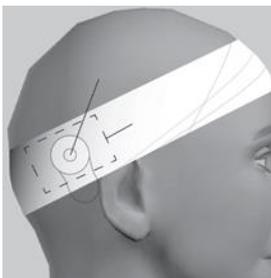


Figura 3. Fasciatura testa per esecuzione RMN con IC

fasciatura della testa. Di contro i costruttori di macchine per RM sostengono che non è possibile sottoporre a scansione i soggetti impiantati. Questa è, però, una precauzione generale. Un aspetto importante è quello di conoscere il tasso di assorbimento specifico o SAR (*Specific Absorption Rate*) che esprime la misura della percentuale di energia elettromagnetica assorbita dal corpo umano quando questo viene esposto all'azione di un campo elettromagnetico a radiofrequenza. In letteratura è possibile evincere come alcune aziende abbiano rilevato con test non clinici, come da standard American Society for Testing and Materials (ASTM F2182), che gli impianti valutati potevano essere sottoposti in tutta sicurezza a scansioni di 15 minuti in campi magnetici statici di 0,2 T, 1,5 T e 3,0 T per un coefficiente massimo di assorbimento specifico (SAR) per la testa di 1 W/kg; provocando un aumento della temperatura misurata, inferiore a 2 °C per un SAR locale massimo di 1 W/kg. Può essere molto utile tenere presente i contenuti del sito *MRIsafety.com* che è il sito ufficiale dell' INSTITUTE FOR MAGNETIC RESONANCE SAFETY, EDUCATION, AND RESEARCH, che fornisce informazioni fondamentali per la esecuzione in sicurezza di una MRI come la tabella di seguito riportata:

Object	Status	Strength	Reference	Safety Info
Alpha (M) Magnetic Implant, Bone Conduction Hearing System Saphono, Inc. www.saphono.com	Conditional 1	1.5, 3		Cochlear Implants
Cochlear Implant, Nucleus, Various Models Cochlear Corporation, www.cochlear.com	Conditional 1	1.5		Cochlear Implants - Nucleus Cochlear Implants, Cochlear Corporation
Cochlear Implant HRas 50K Cochlear Implant Advanced Bionics Corporation Sylmar, CA	Conditional 1	0.3		Cochlear Implant, HRas 50K Cochlear Implant, HRas 50K ADVANTAGE Cochlear Implant, Advanced Bionics Corporation
Cochlear Implant HRas 50K Cochlear Implant Advanced Bionics Corporation Sylmar, CA	Conditional 1	1.5		Cochlear Implant, HRas 50K Cochlear Implant, HRas 50K ADVANTAGE Cochlear Implant, Advanced Bionics Corporation
Esteem hearing implant Envoy Medical www.envoymedical.com	Unsafe 1	1.5		Cochlear Implants
HRas 50K ADVANTAGE Cochlear Implant Advanced Bionics www.advancedbionics.com	Conditional 1	1.5		Cochlear Implant, HRas 50K Cochlear Implant, HRas 50K ADVANTAGE Cochlear Implant, Advanced Bionics Corporation
MED-EL COMBI 40+ Cochlear Implant System MED-EL Corporation, www.medel.com	Conditional 1	0.2	98 http://www.medel.com	Cochlear Implants, MED-EL Corporation
MED-EL COMBI 40+ Cochlear Implant System MED-EL Corporation, www.medel.com	Conditional 1	0.2	98 http://www.medel.com	Cochlear Implants, MED-EL Corporation

MED-EL COMBI 40+ Cochlear Implant System MED-EL Corporation, www.medel.com	Conditional 1	0.2	98 http://www.medel.com	Cochlear Implants, MED-EL Corporation
MED-EL CONCERT or CONCERT PFI Cochlear Implant Med-EL, www.medel.com	Conditional 1	0.2, 1.5	98 http://www.medel.com	Cochlear Implants, MED-EL Corporation
MED-EL BONATA Cochlear Implant Med-EL, www.medel.com	Conditional 1	0.2, 1.5	98 http://www.medel.com	Cochlear Implants, MED-EL Corporation
Nucleus 22 Cochlear Implant With removable magnet Cochlear Corporation, www.cochlear.com	Conditional 1	1.5		Cochlear Implants - Nucleus Cochlear Implants, Cochlear Corporation
Nucleus 22 Cochlear Implant Without removable magnet Cochlear Corporation, www.cochlear.com	Unsafe 1	1.5		Cochlear Implants - Nucleus Cochlear Implants, Cochlear Corporation
Nucleus 24 Series Cochlear Implant Cochlear Corporation, www.cochlear.com	Conditional 1	1.5		Cochlear Implants - Nucleus Cochlear Implants, Cochlear Corporation
Nucleus Cochlear Implants, Various Models Cochlear Corporation, www.cochlear.com	Conditional 1	1.5		Cochlear Implants - Nucleus Cochlear Implants, Cochlear Corporation
Nucleus Freedom Cochlear Implant Cochlear Corporation, www.cochlear.com	Conditional 1	1.5		Cochlear Implants
Pulsar Cochlear Implant PULSARC100 MED-EL, www.Medel.com	Conditional 1	0.2, 1.5	98 http://www.medel.com	Cochlear Implants, MED-EL Corporation

Tab. 2. Raccomandazioni per RMN in sicurezza

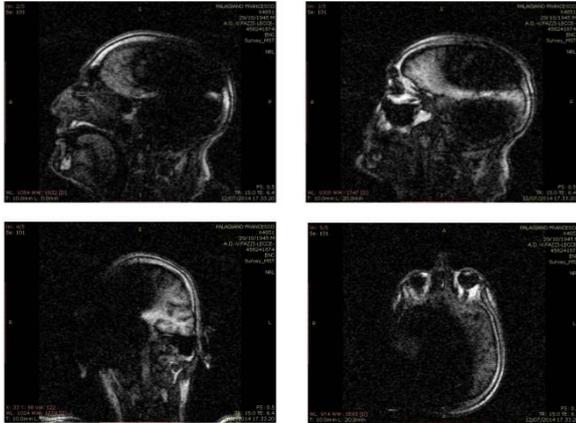
Come si può leggere vi è la colonna *status* che riporta le informazioni relative ai risultati delle prove (interazioni del campo magnetico) condotte sul dispositivo. Vengono quindi indicate le condizioni (*conditional*) per cui la esecuzione della MRI è sicura o no. La condizione 5 è la più frequente e si riferisce al concetto che la MRI, per quello specifico dispositivo, può essere eseguita solo seguendo le linee guida-raccomandazioni del produttore. Va anche ricordato che vi sono differenti linee guida nei vari paesi.

## ARTEFATTI MRI NEGLI IMPIANTI COCLEARI

Nel corso delle pagine precedenti è stato discusso il problema della sicurezza della esecuzione di MRI in soggetti portatori di IC. Un altro aspetto molto importante è relativo al fatto che la presenza di un IC con il suo magnete compromette, in modo determinante, il valore diagnostico della MRI cerebrale per gli artefatti che si determinano. Nelle vicinanze dell'impianto cocleare l'azione della risonanza magnetica viene schermata, con conseguente perdita di informazioni diagnostiche. Quando il magnete è in sede, la schermatura delle immagini può estendersi fino a 12 cm di distanza dall'impianto durante la scansione a 1,5 tesla per 2 minuti. La schermatura si dimezza se viene rimosso il magnete. Di seguito vengono presentate immagini di RM cerebrale di un soggetto portatore di IC ed

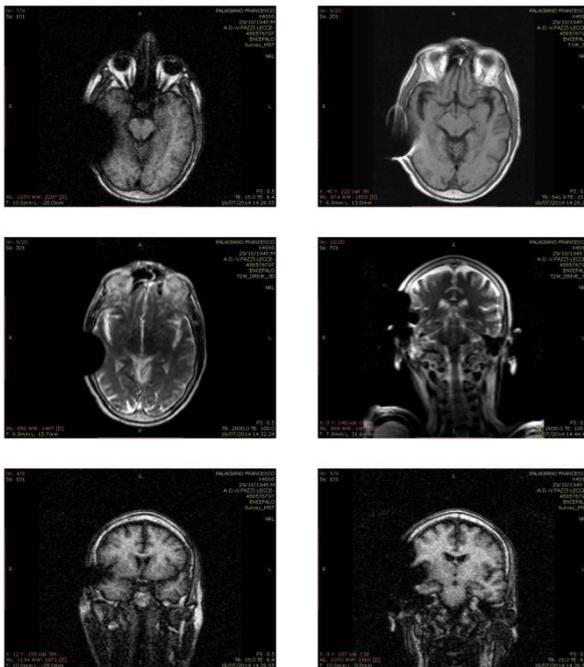
esecuzione con magnete in situ e dopo rimozione del magnete:

*MRI CEREBRALE CON IC E MAGNETE IN SITU*



**Fig. 4. RMN cerebrale con IC e magnete in situ**

*MRI CEREBRALE CON IC E MAGNETE RIMOSSO*



**Fig. 5. RMN cerebrale con IC e magnete rimosso**

Le immagini sopra riportate attestano, con notevole evidenza, quanto sia importante l'effetto mascherante che il magnete determina sui tessuti cerebrali.

**CONCLUSIONI**

La MRI è una indagine diagnostica importantissima nella pratica medica. Nel

mondo sono sempre più numerosi i soggetti portatori di impianti cocleari; il numero stimato attuale è di circa 300.000. Eseguendo una MRI i soggetti portatori di IC vengono sottoposti a significative forze elettromagnetiche responsabili di eventi avversi, quali spostamento del magnete, cambiamenti di polarità, dolore ed riduzione dei risultati attesi dall'imaging. La Food and Drug Administration ha approvato alcune RM per i pazienti con impianti cocleari in casi specifici. Alcuni impianti hanno magneti estraibili, nel qual caso deve essere rimosso. Altri pazienti dovrebbero utilizzare fasciature della testa mentre eseguono una RM. Pertanto, i pazienti con impianti cocleari che si sottopongono a risonanza magnetica devono essere attentamente monitorati e devono essere adottate misure per ridurre al minimo il rischio di eventi avversi. La esecuzione di MRI in questi soggetti deve rispondere a requisiti ben precisi dettati da raccomandazioni delle varie aziende produttrici e che possono variare nei vari paesi. E' necessario conoscere le circostanze che consentono di eseguirla in condizioni di sicurezza. La esecuzione di MRI in soggetti con IC è quindi una controindicazione relativa che può essere aggirata, nel caso di RMN che non superino 1,5 tesla, con accorgimenti come la fasciatura della testa. Tuttavia la presenza del magnete può inficiare il valore della procedura per l'effetto schermante che può avere sui tessuti e quindi si può rendere necessario rimuovere il magnete, anche nel caso di magneti cosiddetti autoallineanti. A tal fine è importante ricordare che la testa dei pazienti, durante l'esecuzione di RMN, deve essere posizionata il più possibile parallela al principale campo magnetico dello scanner e quindi non deve essere mossa lateralmente durante l'esame.

Emerge la necessità di impianti cocleari che non interferiscono con la esecuzione di RM e quindi è utile pensare alla realizzazione di nuovi biomateriali o diversa ingegnerizzazione di questi dispositivi. L'accento potrà essere posto sul

miglioramento della biocompatibilità ottimizzando l'interfaccia nervo-elettrodo, riduzione delle dimensioni, aumento di numero dei canali che possano essere stimolati singolarmente, indipendentemente l'uno dall'altro ed infine giungere alla realizzazione di un impianto cocleare tutto impiantabile.

Ritengo infine utile ricordare un tema di grande importanza come quello di valutare il comportamento dei dispositivi medici impiantati (AIMD) in risposta a trasmettitori di campi elettromagnetici, in considerazione dei numerosi sistemi di telecomunicazione e la nostra mancanza di conoscenza circa l'impatto di questi campi. Il notevole aumento dell'uso delle radiofrequenze nella vita quotidiana sta sempre più esponendo i portatori di AIMD a campi elettromagnetici superiori a 3V/m. Una singola esposizione può essere sufficiente per disturbare il funzionamento dei dispositivi con un impatto fisiologico dannoso sul portatore.

## **Bibliografia**

- [1] Broomfield SJ, et al. Cochlear implants and magnetic resonance scans: A case report and review. *Cochlear Implants Int* 2013;14:51-5.
- [2] Chou H-K, et al. Absence of radiofrequency heating from auditory implants during magnetic resonance imaging. *Bioelectromagnetics* 1995;16:307-316.
- [3] Deneuve S, et al. Cochlear implant magnet displacement during magnetic resonance imaging. *Otol Neurotol*. 2008;29:789-190.
- [4] Dubrulle F, et al. Cochlear implant with a non-removable magnet: preliminary research at 3-T MRI. *Eur Radiol* 2013;23:1510-8.
- [5] Gubbels SP, McMenomey SO. Safety study of the Cochlear Nucleus 24 device with internal magnet in the 1.5 Tesla magnetic resonance imaging scanner. *Laryngoscope*. 2006;116:865-71.
- [6] Heller JW, et al. Evaluation of MRI compatibility of the modified nucleus multi-channel auditory brainstem and cochlear implants. *Am J Otol* 1996;17:724-729.
- [7] Jeon JH, et al. Reversing the polarity of a cochlear implant magnet after magnetic resonance imaging. *Auris Nasus Larynx*. 2012;39:415-7.
- [8] Kim JH, et al. Magnetic resonance imaging compatibility of the polymer-based cochlear implant. *Clin Exp Otorhinolaryngol*. 2012;5:S19-23.
- [9] Majdani O, Rau TS, Gotz F, et al. Artifacts caused by cochlear implants with non-removable magnets in 3T MRI: phantom and cadaveric studies. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2009;266:1885-90
- [10] Majdani O, et al. Demagnetization of cochlear implants and temperature changes in 3.0T MRI environment. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2008;139:833-9.
- [11] Migirov L, et al. Magnet removal and reinsertion in a cochlear implant recipient undergoing brain MRI. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2013;75:1-5.
- [12] Nospes S, et al. Magnetic resonance imaging in patients with magnetic hearing implants: Overview and procedural management.] *Radiologe* 2013 [Epub ahead of print].
- [13] Ouayoun M, et al. Nuclear magnetic resonance and cochlear implant. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 1997;114:65-70.
- [14] Shellock FG. *Magnetic Resonance Procedures: Health Effects and Safety*. CRC Press, LLC, Boca Raton, FL, 2001.
- [15] Teissl C, Kremser C, Hochmair ES, Hochmair-Desoyer IJ. Cochlear implants: *in vitro* investigation of electromagnetic interference at MR imaging-compatibility and safety aspects. *Radiology* 1998;208:700-708.

- [16] Teissl C, Kremser C, Hochmair ES, Hochmair-Desoyer IJ. Magnetic resonance imaging and cochlear implants: compatibility and safety aspects. *J Magn Reson Imag* 1999;9:26-38.
- [17] [www.advancedbionics.com](http://www.advancedbionics.com)
- [18] [www.cochlear.com](http://www.cochlear.com)
- [19] [www.medel.com](http://www.medel.com)
- [20] [www.medel.com/us/isi-cochlear-implant-systems/](http://www.medel.com/us/isi-cochlear-implant-systems/)
- [21] Heller JW, Brackmann DE, Tucci DL, et al. Evaluation of MRI compatibility of the modified nucleus multichannel auditory brainstem and cochlear implants. *Am J Otol* 1996;17:724Y9.
- [22] Portnoy WM, Mattucci K. Cochlear implants as a contraindication to magnetic resonance imaging. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1991;100:195Y7.
- [23] Chou CK, McDougall JA, Can KW. Absence of radiofrequency heating from auditory implants during magnetic resonance imaging. *Bioelectromagnetics* 1995;16:307Y16.
- [24] Graham J, Lynch C, Weber B, et al. The magnetless Clarion cochlear implant in a patient with neurofibromatosis 2. *J Laryngol Otol* 1999;113:458Y63.
- [25] Teissl C, Kremser C, Hochmair ES, et al. Magnetic resonance imaging and cochlear implants: compatibility and safety aspects. *J Magn Reson Imaging* 1999;9:26Y38.
- [26] Weber BP, Goldring JE, Santogrossi T, et al. Magnetic resonance imaging compatibility testing of the Clarion 1.2 cochlear implant. *Am J Otol* 1998;19:584Y90.
- [27] Poetker DM, Wackym PA, Yoganandan N, et al. Biomechanical strength of reconstruction plates when used for medial support of MED-EL cochlear implants: implications for diagnostic MRI. *ORL J Otorhinolaryngol Relat Spec* 2006;68:77Y82.
- [28] Sonnenburg RE, Wackym PA, Yoganandan N, et al. Biophysics of cochlear implant/MRI interactions emphasizing bone biomechanical properties. *Laryngoscope* 2002;112:1720Y5.
- [29] Wackym PA, Michel MA, Prost RW, et al. Effect of magnetic resonance imaging on internal magnet strength in MED-EL Combi 40+ cochlear implants. *Laryngoscope* 2004;114:1355Y61.
- [30] Gubbels SP, McMenomey SO. Safety study of the Cochlear Nucleus 24 device with internal magnet in the 1.5 tesla magnetic resonance imaging scanner. *Laryngoscope* 2006;116:865Y71.
- [31] Majdani O, Leinung M, Rau T, et al. Demagnetization of cochlear implants and temperature changes in 3.0T MRI environment. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2008;139:833Y9.
- [32] Youssefzadeh S, Baumgartner W, Dorffner R, et al. MR compatibility of Med El cochlear implants: clinical testing at 1.0 T. *J Comput Assist Tomogr* 1998;22:346Y50.
- [33] Baumgartner WD, Youssefzadeh S, Hamzavi J, et al. Clinical application of magnetic resonance imaging in 30 cochlear implant patients. *Otol Neurotol* 2001;22:818Y22.
- [34] Schmerber S, Reyt E, Lavieille JP. Is magnetic resonance imaging still a contraindication in cochlear-implanted patients? *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2003;260:293Y4.
- [35] Deneuve S, Loundon N, Leboulanger N, et al. Cochlear implant magnet displacement during magnetic resonance imaging. *Otol Neurotol* 2008;29:789Y90.
- [36] Yun JM, Colburn MW, Antonelli PJ. Cochlear implant magnet displacement with minor head trauma. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2005;133:275Y7.
- [37] Mickelson JI, Kozak FK. Magnet dislodgement in cochlear implantation: correction utilizing a lasso technique. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2008;72:1071Y6.
- [38] Kissil JL, Blakeley JO, Ferner RE, et al. What's new in neurofibromatosis?

Proceedings from the 2009 NF  
Conference: new frontiers. Am J Med  
Genet A 2010;152A:269Y83.

- [39] Martine Hours, M.D., PH.D., Inès  
Khati, M.SC., Joel Hamelin, PH.D.  
Interference Between Active Implanted  
Medical Devices and Electromagnetic  
Field Emitting Devices Is Rare but Real.  
Results of an Incidence Study in a  
Population of Physicians in France. Pacing  
Clin Electrophysiol. 2014;37(3):290-296.
- [40] Azadarmaki R, Tubbs R, Chen DA,  
Shellock FG. MRI information for  
commonly used otologic implants: review  
and update. Otolaryngol Head Neck  
Surg. 2014 Apr;150(4):512-9.
- [41] Nospes S<sup>1</sup>, Mann W, Keilmann A.  
Magnetic resonance imaging in patients  
with magnetic hearing implants: overview  
and procedural management.  
Radiologe. 2013 Nov;53(11):1026-32.
- [42] Stephen J Broomfield, Melville Da  
Cruz, William P R Gibson  
Cochlear implants and magnetic  
resonance scans: A case report and  
review. Cochlear Implants International  
Volume: 14 Issue: 1, Jan 2013, pp. 51 - 55
- [43] Kathryn Doyle . May Be Too Painful  
With Cochlear Implants SOURCE:  
<http://bit.ly/1viBhHC>,  
<http://bit.ly/1vJUq6U>  
JAMA Otolaryngol Head Neck Surg 2014.