

NORMAS DE SEGURIDAD PARA EL USO DE RESONANCIA MAGNETICA EN PACIENTES CON DISPOSITIVOS CARDIOVASCULARES

SILVINA V. WALDMAN¹, HUGO GRANCELLI¹, BETTINA YAMAN², HERNAN COHEN ARAZI¹

¹Servicio de Cardiología, ²Servicio de Imágenes, FLENI, Buenos Aires

Resumen Se realizó una reunión de expertos para establecer normas para el abordaje de pacientes con dispositivos cardiovasculares cuando requieran la realización de una resonancia magnética (RM) en los escenarios clínicos más frecuentes, definiendo si la realización de la RM es segura, insegura o condicional.

Palabras clave: seguridad, dispositivos cardiovasculares, resonancia magnética

Abstract *Safety standards for the use of magnetic resonance in patients with cardiovascular devices.* We conducted a meeting of experts to establish rules for the management of patients with cardiovascular devices when they require a magnetic resonance imaging (MRI) study in the most common clinical scenarios, defining whether the study is safe, unsafe or conditional.

Key words: safety, cardiovascular devices, magnetic resonance

Los avances en las técnicas de resonancia magnética (RM) en las últimas dos décadas la convirtieron en un método diagnóstico ampliamente utilizado y en expansión. Por un lado, provee excelente resolución espacial y análisis multiplanar, y por otro, evita la exposición a la radiación ionizante, el riesgo de procedimientos invasivos o medios de contraste nefrotóxicos. Sin embargo, un alto número de pacientes con enfermedad cardiovascular requieren dispositivos ferromagnéticos permanentes o temporarios, lo que plantea la necesidad de conocer las indicaciones y los riesgos de este estudio en esta población¹.

Se calcula que más de dos tercios de los pacientes con dispositivos cardiovasculares podrían requerir una RM en su evolución; sin embargo, en la mayoría de los casos existen otros métodos diagnósticos alternativos¹⁻⁵. Existe todavía confusión y controversia con respecto a qué pacientes con dispositivos cardiovasculares se les puede realizar una RM.

Se realizó una reunión de expertos para discutir las indicaciones y contraindicaciones de la RM en diferentes escenarios de la cardiología. El objetivo fue establecer las normas para el abordaje de pacientes con dispositivos cardiovasculares y la seguridad de realizar una RM en los escenarios clínicos más frecuentes.

La reunión de expertos de cada especialidad, se llevó a cabo en las áreas de cardiología clínica, imágenes, cirugía cardiovascular, cirugía vascular, cardiología intervencionista, clínica médica y neurología vascular de un centro de Buenos Aires. Se les envió un manual explicando los pasos a seguir durante la reunión y el material bibliográfico publicado en revistas de referencia^{1, 12-14}. Se dividió a los participantes en 4 mesas redondas, asignándose un coordinador, y un especialista en resonancia magnética en cada una.

Previamente, los coordinadores se reunieron para unificar criterios en la sistemática de trabajo durante el evento y se confeccionó una plantilla para clasificar homogéneamente los escenarios clínicos en seguro, inseguro y condicional, de acuerdo a la bibliografía publicada.

Las mesas de trabajo quedaron conformadas de la siguiente manera:

- Hemodinamia y terapéutica por cateterismo
- Intervencionismo vascular periférico
- Cirugía cardiovascular
- Electrofisiología

Se definió como seguro un dispositivo que no presenta ningún tipo de riesgo para la realización de una RM. Incluye dispositivos no conductores, no metálicos, no ferromagnéticos.

Se definió como condicional a aquel que no representa una amenaza al ambiente del resonador dentro de determinadas circunstancias. Las condiciones que determinan lo condicional son el campo magnético, la localización, configuraciones específicas del dispositivo y tiempo desde el implante.

Recibido: 20-IV-2010

Aceptado: 26-VIII-2010

Dirección postal: Dr. Hernán Cohen Arazi, Departamento de Cardiología, FLENI, Montañeses 2325, 1428 Buenos Aires, Argentina
Fax: (54-11) 5777 3209 e-mail: carazi@fleni.org.ar

Se definió como inseguro a aquel dispositivo que no puede ser sometido a RM en ninguna circunstancia clínica.

Consideraciones técnicas

Los riesgos asociados con la RM⁹⁻¹² generalmente se relacionan con tres características del método:

1. El campo magnético estático
2. La radiofrecuencia
3. El gradiente de campos magnéticos

Campos magnéticos estáticos

Los resonadores más utilizados en la actualidad poseen una fuerza de 1.5 a 3 teslas (T), lo que correspondería a 30 000-60 000 veces el campo magnético de la tierra. El mayor riesgo asociado con el campo magnético es la atracción de materiales ferromagnéticos. Como resultado, el dispositivo con material ferromagnético puede ser rotado, desplazado, o atraído con efecto "proyectil" hacia el generador. Es importante destacar que a mayor tesla, mayor atracción de materiales ferromagnéticos. La función del dispositivo también puede alterarse como resultado del campo magnético⁸⁻¹¹.

Radiofrecuencia

Durante el estudio de RM, la energía por radiofrecuencia es pulsada al organismo para generar la imagen. El cuerpo absorbe parte de esa energía, lo que aumenta la temperatura corporal, habitualmente menor a un grado centígrado. Algunos dispositivos metálicos pueden concentrar parte de esta energía, produciendo un aumento local de temperatura excesivo. Esto es significativo en dispositivos con material conductor en su diseño. Es importante destacar que, asociado al aumento de la temperatura, también la radiofrecuencia puede inducir corrientes eléctricas, con la capacidad de inducir arritmias^{1, 10}.

Gradiente de campos magnéticos

Los gradientes del campo magnético son los cambios que crean los gradientes a través del tiempo, medidos en teslas por segundo y están involucrados en la adquisición de imágenes en la RM. A pesar de que los gradientes poseen una fuerza magnética menor al campo magnético estático, el cambio rápido a través del tiempo puede inducir corrientes eléctricas en materiales conductores, y de esta forma, activar terminaciones nerviosas, células miocárdicas, etc. A pesar de que los equipos utilizados en la práctica clínica operan a niveles que no alcanzan los umbrales de excitación de los cardiomiocitos, los gradientes están involucrados en la inducción de corriente eléctrica en cables o material electromagnético^{1, 8, 11}.

Hemodinamia y terapéutica por cateterismo

En la actualidad, la mayoría de los *stents* coronarios poseen nitinol o acero inoxidable (316LS) en su composición. Existen sin embargo, algunos que poseen cantidades variables de platino, aleación con cobalto, oro, u otros materiales. Por lo tanto poseen características no ferromagnéticas o débilmente ferromagnéticas¹⁵.

La implantación del *stent* contra el vaso, provee anclaje inmediato para el mismo. Tradicionalmente se cree que son necesarios entre 6 y 8 semanas adicionales para permitir la endotelización. Sin embargo, no existen datos clínicos suficientes que apoyen esta teoría¹⁶.

Los estudios conducidos con resonadores de 1.5 T, sugieren que no existe exceso de riesgo de trombosis aguda o tardía luego de un estudio¹⁵.

Recientemente, se han realizado estudios *in vivo* en los *stents* liberadores de drogas como *Cypher*[®] (*Johnson & Johnson/Cordis*), *Taxus Express*[®] (*Boston Scientific*), *Taxus Liberté*[®] (*Boston Scientific*), y *Endeavor*[®] (*Medtronic*). Estos estudios demostraron ausencia de interacción ferromagnética en resonador 3 T que pudiera ser un riesgo para la migración del *stent*, ni riesgo de aumento significativo de temperatura. Finalmente, evaluaciones retrospectivas no han demostrado aumento de eventos clínicos en el seguimiento¹⁷⁻¹⁹. Por lo tanto, se definió que con *stents* coronarios es segura la realización de una RM en resonadores de 1.5 y 3 T, en todo paciente al cual se le realizó un implante de *stent* convencional o liberador de drogas, inmediatamente desde el implante del mismo.

Los dispositivos para cierre percutáneo de foramen oval permeable y comunicación interauricular están fabricados con nitinol, titanio, acero inoxidable y material no metálico. En distintos estudios de los dispositivos con resonadores 1.5 y 3 T, no se evidenció aumento de la temperatura, migración o rotación de ellos^{20, 21}. En la reunión se concluyó que la realización de una resonancia con un resonador de 1.5 T, en un paciente al que se le realizó un cierre percutáneo de un foramen oval permeable o comunicación interauricular es segura a partir de las 48 horas. Es condicional antes de las 48 horas y en resonadores 3 T si se trata de dispositivos tipo *Amplatzer*[®]. Sin embargo, se sugiere, evaluar la ecuación riesgo-beneficio y postergar la realización por un periodo de 6 semanas en pacientes con enfermedades crónicas.

Si bien los catéteres cardiovasculares para monitoreo hemodinámico de la arteria pulmonar —como el catéter de Swan Ganz—, no poseen componentes ferromagnéticos, incorporan material conductor. La realización de la RM puede inducir aumento de la temperatura con lesiones por calentamiento, y alteración de su funcionamiento²². En conclusión, la realización de una RM en pacientes con monitoreo hemodinámico es insegura, por termolesiones o alteración del funcionamiento del catéter.

Los dispositivos para sostén hemodinámico como el balón de contrapulsación intraaórtico poseen una cantidad variable de material ferromagnético, partes móviles y componentes eléctricos. Si bien no existen estudios para evaluar la seguridad de la realización de RM, se considera que el dispositivo se vería afectado con los campos magnéticos durante el estudio, y por lo tanto se considera que la realización de una RM es insegura con balón de contrapulsación intraaórtica, ya que éste posee material ferromagnético en su interior que puede aumentar la temperatura o migrar.

Para el reemplazo valvular aórtico percutáneo, una RM es segura en un paciente al que se le realizó un reemplazo percutáneo aórtico a partir de las 6 semanas. Antes de ello se considera condicional, dependiendo de la necesidad clínica y de la información para el tratamiento que este método diagnóstico pueda proveer, aceptándose su realización en los casos en que no pueda ser evaluado por otro método.

Dispositivos en intervenciones vasculares periféricas

Como se describió en la sección de *stents* coronarios, la mayoría de los *stents* vasculares también están compuestos por nitinol o acero inoxidable. Por lo tanto, en su mayoría presentan características ferromagnéticas débiles o son no ferromagnéticos. En el caso de *stents* renales y periféricos, es condicional la realización de una resonancia dentro de los 30 días de realizado el procedimiento. Esta categoría depende del tipo de *stent* implantado, y de la indicación de seguridad del fabricante. A partir de los 30 días es un procedimiento seguro con resonadores 1.5 T.

De la misma forma, los *stents* carotídeos utilizados en la actualidad también están sintetizados por nitinol y por lo tanto son débilmente ferromagnéticos. La implantación del *stent* contra el vaso provee anclaje inmediato para el mismo^{15, 16}. Con respecto a los pacientes a los que se les realizó una angioplastia carotídea o intracerebral, la realización de RM es condicional hasta los 30 días de realizado el procedimiento. Esto significa que el equipo debe conocer el tipo de *stent* implantado y verificar la seguridad según la indicación del fabricante. A partir de los 30 días es un procedimiento seguro con resonadores 1.5 T.

La mayoría de las endoprótesis aórticas, pero no todas, están fabricadas con material no ferromagnético o levemente ferromagnético. Un estudio *ex vivo* con resonadores 3 T, demostró que la mayoría de las endoprótesis poseían propiedades no ferromagnéticas o ligeramente ferromagnéticas, con la excepción de los *stents EndoFit*[®] (*Endomed Inc*). Hasta la fecha, diversos estudios retrospectivos publicados no han informado eventos clínicos asociados a la realización de la RM²³⁻²⁵.

Sin embargo, estudios utilizando *Zenith AAA endovascular graft*[®] (*Cook*) con resonadores de 1.5 T mostraron

importante rotación y deflexión del dispositivo²⁴. Se definió que es insegura la realización de una RM en resonadores de 1.5 y 3 T en todo paciente al cual se le realizó un implante de endoprótesis aórtica, dentro de los 30 días de realizado el procedimiento. A partir del primer mes es condicional, dependiendo del tipo de endoprótesis implantada, ya que la prótesis *Zenith*[®] AAA *endovascular graft* (*Cook*[®]), sólo puede ser resonada a partir de los 4 meses con resonadores 1.5 T.

Los filtros de vena cava inferior (VCI) están fabricados con materiales no ferromagnéticos o ligeramente ferromagnéticos. Se considera que a partir de las 4-6 semanas, el filtro se encuentra incorporado de forma segura, por lo que la posibilidad de migración del mismo es mínima con la realización de una RM de 1.5 T²⁶.

Estudios de implante de filtros de VCI y RM en animales y humanos, no han comunicado complicaciones clínicas. Existen estudios que proponen la colocación del filtro con control por resonancia magnética²⁷. Es seguro realizar una RM de 1.5 o 3 T en pacientes con filtros de VCI, aun de forma inmediata.

Dispositivos en cirugía cardiovascular

Los alambres de cerclaje esternal están fabricados en su mayoría con acero inoxidable o aleaciones similares. Los cables epicárdicos para marcapaseo transitorio poseen capacidad conductora, pudiendo potencialmente inducir arritmias o aumento de temperatura local. La RM, por lo tanto, es segura en cualquier momento del posoperatorio y en el seguimiento alejado de cirugía cardíaca que posea sutura esternal con alambres. En el caso de pacientes con cables de marcapasos epicárdicos transitorios, la RM se considera condicional durante los primeros días del postoperatorio. Se deberá evaluar la posibilidad de postergar la RM hasta que exista evidencia de ausencia de conducción eléctrica por los cables, o extraerlos antes del estudio. Transcurrido este plazo, la RM se considera segura aun con cables retenidos. No deben introducirse los generadores externos en el campo magnético en ningún caso.

Las prótesis valvulares cardíacas están fabricadas con distintos materiales. Las válvulas mecánicas contienen titanio, carbón pirólico, cromo – cobalto y nitinol²⁸⁻³¹. Las válvulas biológicas están compuestas principalmente por material no metálico (usualmente tejido porcino o pericardio bovino); dependiendo del modelo pueden contener distinta cantidad de metal en su anillo. Ciertos anillos de anuloplastia no contienen material metálico, mientras otros están fabricados con titanio, cromo-cobalto, acero inoxidable, entre otros²⁹.

Se han realizado múltiples estudios para determinar la seguridad al realizar una RM de 1.5 T en pacientes que cursan el post operatorio de reemplazo o plástica valvular. Se determinó que las fuerzas ejercidas por el campo

magnético son menores que las ejercidas por la gravedad y el flujo pulsátil, y si la válvula está correctamente posicionada no existe riesgo con campos magnéticos menores de 4.7 T³⁰.

Respecto al aumento de temperatura inducido por materiales conductores de las válvulas o anillos, son menores a 1 °C, principalmente por la disipación de la temperatura debido a las características del flujo sanguíneo. Estudios *in vivo* en resonadores 1.5 y 3 T no han demostrado disfunción de las válvulas mecánicas por interacción electromagnética con los platillos³².

En los pacientes con prótesis valvulares mecánicas formalmente evaluadas y sin evidencias de contraindicaciones para el estudio, la RM (1.5 T – 3 T) es considerada segura en cualquier momento post implante. En aquellos pacientes con prótesis mecánicas que posean material débilmente ferromagnético, la RM es considerada condicional y debería evaluarse caso por caso la necesidad de realizar el estudio en cualquier momento post implante, de acuerdo a la indicación clínica y ausencia de otro método diagnóstico alternativo.

En los pacientes con prótesis valvulares biológicas o anillos de valvuloplastia formalmente evaluadas y sin evidencias de contraindicaciones para el estudio, la RM (1.5 T – 3 T) es considerada segura en cualquier momento post implante. En aquellos pacientes con prótesis biológicas o anillos de valvuloplastia que posean material débilmente ferromagnético, la RM es considerada condicional y debería evaluarse caso por caso la necesidad de realizar el estudio en cualquier momento post implante, de acuerdo a la indicación clínica y en ausencia de otro método diagnóstico alternativo.

La mayoría de las prótesis mecánicas y biológicas y los anillos de anuloplastia son considerados seguros. Algunos modelos de prótesis y anillos pueden contener material débilmente ferromagnético; por este motivo se debe evaluar cada caso en particular y considerar las recomendaciones del fabricante (www.MRIsafety.com).

Las prótesis de aorta ascendente no contienen material ferromagnético por lo que la RM se considera segura en cualquier momento del post operatorio

Electrofisiología

Los marcapasos o cardiodesfibriladores implantables poseen en su conformación materiales con cantidad variable de elementos ferromagnéticos, así como sistemas eléctricos complejos y cables en contacto con la superficie miocárdica. Por lo tanto, existe el riesgo de migración, alteración en la programación, marcapaseo asincrónico, activación de terapias antitaquicárdicas, inhibición de la función de marcapasos, así como la inducción de corrientes eléctricas con aumento local de temperatura y estimulación cardíaca³³⁻³⁶. Estos factores

pueden traer aparejado secuelas clínicas como cambios en los umbrales del dispositivo, disfunción del mismo, arritmias o incluso muerte.

Un estudio de pequeñas dimensiones y con resonadores de 0.8 – 2 T demostró que el 40% de los marcapasos sufrieron cambios en la programación, y el 10% presentó eventos clínicos adversos³⁷.

Se considera que la RM es insegura en pacientes que son dependientes del marcapasos. En aquellos pacientes que teniendo un marcapasos definitivo no sean dependientes del mismo, la realización del estudio es condicional. En este caso, debe consultarse en el listado de marcapasos para definir la seguridad de la RM. El estudio debe ser realizado bajo estrictas normas protocolizadas: asegurar que el paciente no es dependiente del marcapasos, tener disponible un equipo técnico para reajustar los parámetros del marcapasos y utilizar equipos 1.5 T. Ninguna empresa fabricante de equipos apoya actualmente la realización de una RM en estos pacientes.

La realización de una RM es insegura en los casos de pacientes con implante de un desfibrilador, ya que no existe suficiente información en la actualidad.

Se establece como insegura la realización de una RM en pacientes a los que se les realizó el implante de un resincronizador.

La realización de una RM en un paciente con marcapasos transitorio es insegura, ya que poseen material ferromagnético registrándose elevación de temperatura local y desplazamiento de los catéteres. El generador del marcapasos no puede ser introducido al resonador lo que imposibilita el estudio en los casos en que el paciente es dependiente del dispositivo.

En conclusión, deben considerarse los riesgos asociados a la RM en determinados dispositivos cardiovasculares, debe completarse un exhaustivo cuestionario previo a la realización del estudio. La mayoría de las complicaciones asociadas al procedimiento se deben a una falla en la pesquisa de contraindicaciones. Por este motivo se recomienda la entrega al paciente de tarjetas que expresen el grado de seguridad de realizar la RM según el dispositivo implantado.

Es importante destacar que en las circunstancias en las que existe duda sobre la seguridad del estudio, el examen debe de ser diferido o considerarse métodos alternativos de diagnóstico.

Las presentes normas, no reemplazan las guías de seguridad para cada dispositivo cardiovascular, que se encuentran disponibles en sus manuales de referencia, y paginas *web* como www.mrisafety.com o www.revisemri.com

Agradecimientos: Los autores manifiestan su reconocimiento por el asesoramiento recibido, a los siguientes especialistas:

Hemodinamia y terapéutica por cateterismo: Néstor Wainsztein, Eduardo Magariños, Germán Solioz, Horacio Faella, Martín Koresky, Germán Henestrosa.

Intervenciones vasculares periféricas: Sergio Garrido, Javier Moschini, Gerardo Ferrario, Mariano Giorgi, Juan I. Muñiz, Mario Embón, Laura Falcón, Sebastián Lezcano.

Cirugía cardiovascular: Walter Rodríguez, Flavio Sánchez, Alejandro Iturralde, Amalia Elizari, Javier Celada.

Electrofisiología: Santiago Miriuka, Mauricio Abello, José Molledo, Matías Pérez Rovira, Rosana Poggio, Ricardo Delorme.

Conflictos de interés: No existen conflictos financieros o personales que hayan influenciado este trabajo.

Bibliografía

- Levine GN, Gomes SA, Arai AE, et al. Safety of magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular devices: An American Heart Association Scientific Statement From the Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology, and the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention: Endorsed by the American College of Cardiology Foundation, the North American Society for Cardiac Imaging, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance *Circulation* 116: 2878-91.
- Stamou SC, Hill PC, Dangas G, et al. Stroke After Coronary Artery Bypass : Incidence, Predictors, and Clinical Outcome. *Stroke* 32: 1508-13.
- Axelrod DA, Stanley JC, Upchurch GR, et al. Risk for stroke after elective noncarotid vascular surgery. *J Vasc Surg* 2004; 67-72, DOI: 10.1016/j.jvs.2003.08.028.
- Eckstein HH, Ringleb P, Allenberg JR, et al. Results of the stent-protected angioplasty versus carotid endarterectomy (SPACE) study to treat symptomatic stenoses at 2 years: a multinational, prospective, randomised trial. *Lancet Neurol* 2008; 7: 893-902.
- Levy EI, Mocco J, Samuelson RM, Ecker RD, Jahromi BS, L. Hopkins N. Optimal treatment of carotid artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2008: 979-85.
- Shellock FG, Crues JV. MR procedures: biologic effects, safety, and patient care. *Radiology* 2004; 232: 635-52.
- Kanal E, Borgstede JP, Barkovich AJ, et al. American College of Radiology. American College of Radiology white paper on MR safety: 2004 update and revisions. *Am J Roentgenol* 2004; 182: 1111-4.
- Schaefer DJ, Bourland JD, Nyenhuis JA. Review of patient safety in time-varying gradient fields. *J Magn Reson Imaging* 2000; 12: 20-9.
- Sawyer-Glover AM, Shellock FG. Pre-MRI procedure screening: recommendations and safety considerations for biomedical implants and devices. *J Magn Reson Imaging* 2000; 12: 510.
- Schaefer DJ. Safety aspects of radiofrequency power deposition in magnetic resonance. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1998; 6: 775-89.
- Shellock FG. Biomedical implants and devices: assessment of magnetic field interactions with a 3.0-Tesla MR system. *J Magn Reson Imaging* 2002; 16: 721-32.
- Ahmed S, Shellock FG. Magnetic resonance imaging safety: implications for cardiovascular patients. *J Cardiovasc Magn Reson* 2001; 3: 171-82.
- Roguin A, Zviman MM, Meininger GR, et al. Modern pacemaker and implantable cardioverter/defibrillator systems can be magnetic resonance imaging safe: In vitro and in vivo assessment of safety and function at 1.5 T. *Circulation* 2004; 110: 475-82.
- Prasad SK, Pennel DJ. Safety of cardiovascular magnetic resonance in patients with cardiovascular implants and devices. *Heart* 2004; 90: 1241-4.
- Gerber TC, Fasseas P, Lennon RJ, et al. Clinical safety of magnetic resonance imaging early after coronary artery stent placement. *J Am Coll Cardiol* 2003; 42: 1295-.
- Porto I, Selvanayagam J, Ashar V, Neubauer S, Banning AP. Safety of magnetic resonance imaging one to three days after bare metal and drug-eluting stent implantation. *Am J Cardiol* 2005; 96: 366-8.
- Shellock FG, Forder JR. Drug eluting coronary stent: in vitro evaluation of magnetic resonance safety at 3 Tesla. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2005; 7: 415-9.
- Boston Scientific's TAXUS Express2 paclitaxel-eluting stent system first drug-eluting stent to receive FDA approval allowing immediate MRI exams [press release]. Natick, Mass: Boston Scientific; April 5, 2005. En: http://www.ptca.org/press_rel/20050405pr_boston.html. consultado el 29/08/2006.
- Shellock FG. MR safety at 3Tesla: bare metal and drug eluting coronary artery stents. *Signals* 2005; 53: 26-7.
- Shellock FG, Valencerina S. Septal repair implants: evaluation of MRI safety at 3-Tesla. *J Magn Reson Imaging* 2005; 23:1021-5.
- Aga Medical Corporation. Amplatzer* Septal Occluder. A patient's Guide. En: http://www.amplatzer.com/portals/aga/uploaded_docs/PatientGuides/MM00310_AMPLATZER_Septal_Occluder_Patient_Guide_English.pdf.
- Shellock FG, Shellock VJ. Cardiovascular catheters and accessories: ex vivo testing of ferromagnetism, heating, and artifacts associated with MRI. *J Magn Reson Imaging* 1998; 8: 1338-42.
- Pitton MB, Schweitzer H, Herber S, et al. MRI versus helical CT for endoleak detection after endovascular aneurysm repair. *Am J Roentgenol*. 2005; 185: 1275-81.
- Zenith stent graft. Cook Medical Web site. En: <http://zenithstentgraft.com/physicians/US/aAAA/PDF/MRInfoAAA.pdf>; consultado el 12/12/2006.
- van der Laan MJ, Bartels LW, Bakker CJ, Viergever MA, Blankensteijn JD. Suitability of 7 aortic stent-graft models for MRI-based surveillance. *J Endovasc Ther* 2004; 11: 366-71.
- Kiproff PM, Deeb ZL, Contractor FM, Khoury MB. Magnetic resonance characteristics of the LGM vena cava filter: technical note. *Cardiovasc Intervent Radiol* 1991; 14: 254-5.
- Bucker A, Neuerburg JM, Adam GB, et al. Real-time MR guidance for inferior vena cava filter placement in an animal model. *J Vasc Interv Radiol* 2001; 12: 753-6.
- Soulen RL, Budinger TF, Higgins CB. Magnetic resonance imaging of prosthetic heart valves. *Radiology* 1985; 154: 705-7.
- Pruefer D, Kalden P, Schreiber W, et al. In vitro investigation of prosthetic heart valves in magnetic resonance imaging: evaluation of potential hazards. *J Heart Valve Dis* 2001; 10: 410-4.
- Randall PA, Kohman LJ, Scalzetti EM, Szeverenyi NM, Panicek DM. Magnetic resonance imaging of prosthetic cardiac valves in vitro and in vivo. *Am J Cardiol* 1988; 62: 973-6.
- Khambadkone S, Coats L, Taylor A, et al. Percutaneous pulmonary valve implantation in humans: results in 59 consecutive patients. *Circulation* 2005; 112: 1189-97.
- Dempsey MF, Condon B. Thermal injuries associated with MRI. *Clin Radiol* 2001; 56: 457-65.
- Achenbach S, Moshage W, Diem B, Bieberle T, Schibgilla V, Bachmann K. Effects of magnetic resonance imaging on cardiac pacemakers and electrodes. *Am Heart J* 1997; 134: 467-73.
- Kalin R, Stanton MS. Current clinical issues for MRI scanning of pacemaker and defibrillator patients. *Pacing Clin Electrophysiol* 2005; 28: 326-8.
- Smith JM. Industry viewpoint: Guidant: pacemakers, ICDs, and MRI. *Pacing Clin Electrophysiol* 2005; 28: 264.
- Faris OP, Shein MJ. Government viewpoint: U.S. Food & Drug Administration: pacemakers, ICDs and MRI. *Pacing Clin Electrophysiol* 2005; 28: 268-9.
- Martin ET, Coman JA, Shellock FG, Pulling CC, Fair R, Jenkins K. Magnetic resonance imaging and cardiac pacemaker safety at 1.5-Tesla. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43: 1315-24.