

ACTUALIZACIÓN

Seguridad del paciente en Resonancia Magnética



P. Fraga Rivas*, J. de Miguel Criado, L. García del Salto Lorente,
L. Gutiérrez Velasco y P. Quintana Valcarcel

Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Universitario del Henares, Unidad Central de Radiodiagnóstico,
Universidad Francisco de Vitoria, Madrid, España

Recibido el 12 de octubre de 2022; aceptado el 29 de enero de 2023

Disponible en Internet el 24 de marzo de 2023

PALABRAS CLAVE

Imagen por resonancia magnética;
Campos magnéticos;
Dispositivos cardiovasculares electrónico;
Seguridad del paciente;
Marpasos;
Medios de contraste;
Temperatura;
Quemaduras

Resumen El uso de campos magnéticos estáticos, gradientes de campo y ondas de radiofrecuencia suponen un reto de seguridad diferente a otras modalidades de imagen. Cada vez más centros trabajan con equipos de 3,0 T que presentan mayores riesgos para el paciente frente a los de 1,5 T.

Hay una necesidad de actualización para el personal de radiología que le permita entender los riesgos y disminuirlos, pues pueden producirse incidentes graves e incluso mortales.

El objetivo de este trabajo es presentar una revisión y actualización de los riesgos a los que se ven sometidos los pacientes durante la realización de un estudio de resonancia magnética.

© 2023 SERAM. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Magnetic resonance imaging;
Magnetic fields;
Cardiac implantable electronic device;
Patient safety;
Pacemaker;
Contrast media;
Temperature;
Burns

Patient safety in magnetic resonance imaging

Abstract Image acquisition involves the use of static magnetic fields, field gradients and radio-frequency waves. These elements make the MRI a different modality. More and more centers work with 3.0 T equipment that present higher risks for the patient, compared to those of 1.5 T.

Therefore, there is a need for updating for radiology staff that allows them to understand the risks and reduce them, since serious and even fatal incidents can occur.

The objective of this work is to present a review and update of the risks to which patients are subjected during the performance of a magnetic resonance imaging study.

© 2023 SERAM. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: patricia.fraga@salud.madrid.org (P. Fraga Rivas).

Introducción

La resonancia magnética (RM) es una modalidad diagnóstica cuyas indicaciones clínicas han aumentado en los últimos años, fundamentalmente por su evolución tecnológica¹. Los equipos 3,0T, frente a los de 1,5T, proporcionan una mejor calidad de imagen porque el aumento del campo magnético mejora la relación señal-ruido y ese incremento de señal se puede transformar en un mayor detalle (aumento de la resolución espacial) y una adquisición más rápida (aumento de la resolución temporal)²⁻⁴.

Como desventajas, son más susceptibles al movimiento y flujo, producen una exposición a campos magnéticos estáticos más elevados, un mayor calentamiento de los tejidos, y un incremento del ruido^{3,4}. Aunque los incidentes relacionados con la RM son numerosos, los graves son escasos⁵.

Con los equipos de 3,0T algunos conceptos de seguridad cambian respecto a los equipos de menor campo magnético. Algunos elementos considerados previamente seguros en equipos de 1,5T pueden no serlo en equipos de 3,0T⁶. El personal implicado en la realización de la RM debe conocer todas aquellas situaciones de especial atención que pudieran comprometer la seguridad del paciente¹.

El objetivo de este trabajo es presentar el mapa de riesgo de la RM. Para ello se dividirá la cronología en 3 partes: preprocedimiento, durante el procedimiento y posprocedimiento.

Preprocedimiento

Antes de realizar un estudio de RM, el facultativo y el radiólogo deben valorar el beneficio/riesgo de la misma, si los resultados van a modificar el manejo del paciente y si no puede ser sustituida por otra con información diagnóstica.

El consentimiento informado por escrito y firmado no es imprescindible en la mayoría de los estudios, aunque sí es necesario explicar al paciente los principales riesgos y beneficios de la prueba. Presentamos como ejemplo el consentimiento informado de nuestro centro con cuestionario de seguridad en la [figura 1](#).

A continuación, se van a repasar los diferentes subgrupos de población y escenarios que se pueden plantear antes de realizar la exploración.

Paciente pediátrico

Todos los criterios de seguridad para la población adulta deben aplicarse en este grupo de edad especialmente vulnerable por su ansiedad, inmadurez y su limitación para la comunicación. La ansiedad se ve minimizada con la presencia de un familiar en la sala de exploración, a quien previamente se le deben haber transmitido unas instrucciones básicas. Puede realizarse el estudio con sedación o anestesia con el mismo grado de seguridad con el que se haría en otras localizaciones del hospital¹. La mayor rapidez con la que pueden obtenerse los estudios realizados con equipos de 3,0T, en relación con la de los 1,5T, hace que sea una buena elección para disminuir el tiempo de sedación³.

Paciente embarazada

No se han demostrado efectos dañinos sobre la mujer gestante o sobre el feto, tras realizar una RM sin contraste^{7,8}. La realización de la prueba en el primer trimestre del embarazo no ha demostrado un riesgo mayor que en los otros trimestres⁸. Tampoco hay evidencia de efectos teratogénicos ni de daños acústicos al feto². Es recomendable asegurar que la prueba se debe hacer en ese momento, que no se puede demorar al posparto y que no puede ser sustituida por otra exploración como la ecografía. Se debe disponer de consentimientos informados específicos para estas pacientes. Se aconseja que los estudios en mujeres embarazadas se realicen en equipos de 1,5T dado el escaso número de estudios publicados sobre riesgo para la madre y el feto cuando se emplean equipos de 3,0T⁹. Existen estudios recientes en los que no se evidencia un incremento del riesgo sobre el feto en RM realizadas intraútero en equipos de 3,0T frente a los de 1,5T¹⁰.

Paciente con claustrofobia

El espacio físico donde se realiza la RM y la limitación de movimiento hace que haya pacientes que no toleren la introducción en la máquina o no puedan finalizar la prueba por claustrofobia. Se han publicado series en las que se producen un 25% de ansiedad moderada o severa, el 13,7% de ataques de pánico y hasta un 4% de estudios interrumpidos por ansiedad^{11,12}. El facultativo peticionario y el personal de radiología se deben implicar con una explicación más extensa que ayude al paciente a disminuir la ansiedad¹³. El uso de la RM abierta no siempre es la solución, por la limitación en el tipo y la calidad de estudios que realizan. Los nuevos equipos han aumentado el diámetro del *gantry* para disminuir la sensación de claustrofobia¹⁴. Se puede optar por la sedación/anestesia, cuando se disponga de personal adecuado y de equipos anestésicos compatibles con la RM. Otros centros optan por la terapia psicológica o el uso de ansiolíticos previo al procedimiento¹⁵. Cada centro debe disponer de un protocolo que valore el mejor modo de actuación en cada paciente¹⁶.

Pacientes con implantes metálicos y dispositivos implantados

En la actualidad se pueden realizar un alto número de estudios de RM a pacientes con elementos metálicos o dispositivos implantados. Hay implantes considerados seguros en equipos de 1,5T que no son aprobados, o de los que se desconoce su seguridad para 3,0T. Se han realizado pruebas hasta 1.800 objetos en 1,5T y algo más de 600 en 3,0T¹⁷. Los dispositivos deben ser evaluados por el fabricante y etiquetar su compatibilidad con la RM con diferentes iconos ([fig. 2](#)). Existen dos referentes en Internet sobre seguridad en RM (mrsafety.com y www.radiology.pitt.edu/mrrc-mri-safety.html)^{18,19}, que permiten la consulta de la compatibilidad de los dispositivos.

La International Comisión on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) establece los límites de ciertos parámetros con los que trabajar en RM para garantizar la seguridad

A

 Hospital del Henares SaludMadrid  Camino Labor s/n. Antigua carretera M-216 de San Fernando de Henares a Mejorada Km. 4,5		N.H.C.: Nombre y apellidos: Fecha de nacimiento: Sexo: CIP:	
CONSENTIMIENTO INFORMADO RESONANCIA MAGNÉTICA			

D./Dña.: con DNI/Pasaporte nº en calidad de paciente o, en su defecto con DNI/Pasaporte nº como Representante y/o Tutor del paciente, mayor de edad, en pleno uso de sus facultades mentales manifiesto que he sido informado de forma satisfactoria por el Dr/Dra. adscrito a la unidad de de los siguientes puntos: qué es, como se realiza, para qué sirve, los riesgos existentes, posibles molestias o complicaciones y alternativas al procedimiento.

¿Qué le vamos a hacer?

Usted va a ser sometido a una exploración de Resonancia Magnética, que no utiliza radiación, pero debe introducirse en un campo magnético producido por un gran imán. El ruido que se escucha durante la exploración indica que se están obteniendo datos en esos momentos, por lo que es necesario no moverse y seguir las indicaciones del personal cualificado. Con esta técnica, para observar con mayor claridad sus órganos internos y saber si presentan lesiones, puede ser necesaria la inyección de una sustancia (medio de contraste paramagnético o GADOLINIO) en una vena. La duración de la prueba es variable; de forma general dura aproximadamente 40 min.

DEBE INDICARNOS ANTES DE ENTRAR A LA SALA si:

Tiene fragmentos de metal introducidos en el cuerpo en accidentes (1)	SI/NO	Puede estar embarazada o está en periodo de lactancia (2)	SI/NO
Es portador de bombas de infusión de medicamentos o estimuladores (1)	SI/NO	Es asmático o tiene alergias graves (3)	SI/NO
Es portador de marcapasos (1)	SI/NO	Padece insuficiencia renal (4)	SI/NO
Lleva prótesis metálicas de cualquier tipo (1)	SI/NO	Es diabético (4)	SI/NO
Ha sido operado, especialmente del oído con prótesis (1): ¿De qué?:	SI/NO	Está en lista de espera de trasplante hepático o renal (4)	SI/NO
¿Cuándo?:		Le han administrado contraste previamente (4): Tipo:	SI/NO
		¿Cuándo?:	

¿Qué riesgos tiene?

Riesgos frecuentes pero poco graves	Riesgos infrecuentes pero graves
Ocurren en el 2-4% de los casos y consisten en náuseas, vómitos, dolores de cabeza, mareos, picores, sintomatología local de irritación o dolor en la zona de la punción.	Se dan en aproximadamente 1 de cada 450.000 personas a las que se administra contraste. En ellas se incluye dificultad respiratoria, alteraciones del ritmo cardíaco, convulsiones o pérdida de conciencia. Suelen corregirse con tratamiento adecuado, pero excepcionalmente puede poner en peligro la vida del paciente.

(1) Al introducirse en un campo magnético, cualquier objeto metálico puede verse afectado, fundamentalmente por movilización o calentamiento del mismo. Es por ello importante comunicar si es usted portador de marcapasos, prótesis, fragmentos de metralla, bombas de infusión de medicamentos o estimuladores, DIU, tatuajes u otros dispositivos metálicos. En el caso del marcapasos existe un riesgo de alteración de su funcionamiento que hace que la Resonancia Magnética esté contraindicada en la mayoría de los casos.

(2) Aunque no se ha demostrado que se produzcan daños sobre el feto, la mayoría de las guías recomiendan prudencia en el empleo de esta prueba en embarazadas.

La inyección en vena de este contraste tiene muy pocos riesgos. En la gran mayoría de los casos (más del 96%) esta inyección no produce molestia alguna, salvo la de la punción; excepcionalmente puede salirse de la vena provocando hinchazón y molestias locales.

(3) La posibilidad de una reacción, incluyendo reacciones graves, que comprometan la vida, deben considerarse siempre, especialmente en aquellos pacientes con hipersensibilidad clínica conocida o con antecedentes de asma u otras alteraciones respiratorias de tipo alérgico. Usted debe saber que no existe ninguna prueba previa que permita conocer en qué personas se va a producir una reacción.

(4) De forma excepcional se ha descrito un cuadro denominado Fibrosis Sistémica Nefrogénica (FSN), que consiste en el desarrollo de una intensa fibrosis de la piel que, ocasionalmente, puede afectar a otros órganos. La aparición se ha puesto en

Madrid, a Firma del Paciente / Representante y/o Tutor	Madrid, a Identificación y firma del médico que prescribe la prueba e informa al paciente	Madrid, a Identificación y firma del médico que realiza la prueba
Se deben firmar todas las páginas		C.80.12 Página 1 de 2

B

 Hospital del Henares SaludMadrid  Camino Labor s/n. Antigua carretera M-216 de San Fernando de Henares a Mejorada Km. 4,5		N.H.C.: Nombre y apellidos: Fecha de nacimiento: Sexo: CIP:	
CONSENTIMIENTO INFORMADO RESONANCIA MAGNÉTICA			

relación con el contraste utilizado y con la existencia de insuficiencia renal, si bien esta relación no está establecida con total seguridad. Su incidencia se ha estimado en 2,4% de las personas con enfermedad renal crónica estadio 5 (en diálisis). Es importante conocer si es usted diabético por el incremento del riesgo de insuficiencia renal crónica que conlleva. Aunque está en cuestión, se ha descrito una débil asociación entre ser receptor de trasplante hepático y el riesgo de desarrollar FSN. La alergia a contrastes basados en Gadolinio es una complicación grave, pero es excepcional (incidencia de 0,004-0,7%).

RIESGOS ESPECÍFICOS DE LA PERSONA:

¿Qué otras alternativas hay?

Aunque en casos concretos pueden existir otras opciones diagnósticas la información obtenida puede ser menor o incluso insuficiente. En ocasiones podrá realizarse la Resonancia Magnética prescindiendo del uso de contraste y en determinados pacientes con riesgo de FSN emplear contrastes con un riesgo menor. Usted puede optar por no realizarse la prueba, asumiendo las consecuencias de dicha decisión. Antes de firmar este documento, si desea más información o tiene cualquier duda, no tenga reparo en preguntarnos. Le atenderemos con mucho gusto.

Conforme a lo dispuesto en la LOPD 15/1999 de 13 de diciembre se informa que sus datos serán objeto de tratamientos e incorporados a ficheros de nuestra área de Atención Especializada con fines asistenciales, de gestión investigación científica y docencia. Solo podrán ser cedidos a organismos autorizados. Podrá ejercer el derecho a acceso, cancelación, rectificación y oposición en la Gerencia del Área.

REVOCACIÓN Dni/..... años de edad. Con domicilio en y D.N.I nº Dni/Dña..... de años de edad. (Nombre y dos apellidos) Con domicilio en y D.N.I nº En calidad de de (Representante legal, familiar o allegado) (Nombre y dos apellidos del paciente) REVOCO el consentimiento prestado en fecha y no deseo proseguir el tratamiento, que doy con esta fecha por finalizado. Fdo: El/la Médico Fdo: El Paciente Fdo: El representante legal, familiar o allegado		
--	--	--

Madrid, a Firma del Paciente / Representante y/o Tutor	Madrid, a Identificación y firma del médico que prescribe la prueba e informa al paciente	Madrid, a Identificación y firma del médico que realiza la prueba
Se deben firmar todas las páginas		C.80.12 Página 2 de 2

Figura 1 Ejemplo de consentimiento informado de nuestro centro con cuestionario de seguridad.

RM seguro	Objeto que no presenta ningún tipo de riesgo para la realización de una RM. Incluyen material no conductor, no metálico, no ferromagnético.
RM condicional	Objeto que ha demostrado que no entraña riesgos en un ambiente específico de RM, con unas condiciones específicas de uso. Las condiciones que definen lo condicional incluyen , la fuerza del campo magnético, el gradiente magnético, campos de radiofrecuencia y el SAR.
RM NO seguro	Objeto que no puede ser sometido a RM en ninguna circunstancia clínica. Incluyen objetos ferromagnéticos.

Figura 2 Clasificación de objetos según su seguridad en la RM e icono que representa esa compatibilidad. RM: resonancia magnética; SAR: Specific Absorption Rate.

del paciente²⁰: campo magnético estático, intensidad de los gradientes, depósito calórico por radiofrecuencia (Specific Absorption Rate [SAR]) y nivel de sonido. En el caso de pacientes con implantes metálicos y dispositivos, los valores que influyen especialmente son:

- Campos magnéticos estáticos potentes (B0): hacen que un objeto pueda moverse, rotar o acelerarse hacia el imán (efecto misil).
- Gradientes de campo magnético: pueden ocasionar corrientes eléctricas y una estimulación neuromuscular.
- Campos de radiofrecuencia: condicionan calentamiento y producen quemaduras. La Food and Drug Administration (FDA) y la ICNIRP limita el incremento de temperatura a menos de 1 °C con un SAR de 4.0 W/kg en el cuerpo completo, en un tiempo máximo de exploración de 30 min²¹. El incremento del SAR conduce a una dilatación de los vasos sanguíneos, un incremento de la sudoración, y el riesgo de quemaduras. Por tanto, se debe tener una mayor precaución en pacientes con fiebre y evitar las mantas, escayolas y ropa que aumenten la temperatura corporal. Se debe garantizar el funcionamiento del sistema de ventilación, intercalar secuencias de SAR elevado con otras de SAR más reducido y considerar el uso de equipos de 1,5 T frente a 3,0 T en casos concretos^{22,23}.

Ante la presencia de un dispositivo se debe evaluar el riesgo/beneficio específico prueba/paciente, obtener información fidedigna del dispositivo concreto, tiempo de implantación y recomendaciones del fabricante, retirarlos previa a la realización de la RM, si fuera posible y obtener un consentimiento informado que refleje el tipo de dispositivo y las posibles complicaciones. Se podrán realizar aquellas pruebas con dispositivos etiquetados de «RM seguro» o «RM condicional», siempre que los parámetros de su realización estén ajustados a las recomendaciones del fabricante.

Disponer de una RM previa no es garantía de seguridad, ya que se puede haber cambiado de equipo, área anatómica o tipo de secuencia y darse complicaciones que no ocurrieron en la RM anterior²³. Se consideran «no seguros» aquellos etiquetados como tal o de los que no se dispone de información del tipo o de las consideraciones del fabricante.

Si un elemento presenta una susceptibilidad magnética distinta de la de los tejidos circundantes altera la homogeneidad del campo magnético local y genera una pérdida de señal^{22,24}. Para disminuir los artefactos²⁴⁻²⁶ metálicos se puede disminuir el campo magnético (se producen menos artefactos en equipos de 1,5 T); aumentar el ancho de banda; disminuir el grosor de corte e incrementar la amplitud de gradiente y aumentar la matriz, lo que produce un descenso de la señal-ruido; las secuencias SE producen menos artefactos de susceptibilidad que las secuencias *gradient echo* (GRE) porque utilizan un pulso de secuencias de refase de los espines de 1.800 s, que no se incluyen en la segundas; utilizar secuencias *fast spin echo* (FSE) en lugar de GRE, *short T inversión recovery* (STIR) en lugar de secuencias con saturación grasa, *fast spoiled gradient echo* en lugar de *steady-state free precession* (SSFP) o utilizar secuencias específicas como *metal artefact reduction sequence* (MARS)²².

Dispositivos cardiovasculares

Dispositivos de estimulación cardíaca: marcapasos y desfibriladores automáticos implantables. Se estima que un 50-75% de los pacientes con dispositivos de estimulación cardíaca (DEC) requerirá al menos una RM a lo largo de su vida²⁷. Se han publicado documentos de consenso²⁸⁻³⁰ que reflejan las condiciones de seguridad³¹. La mayoría de los fabricantes ofrecen información de los dispositivos incluyendo en los de uso condicional, las condiciones de su uso; la región a estudiar, los parámetros de adquisición y la activación específica del dispositivo antes y después de la RM. Todos los componentes del dispositivo deben ser del mismo fabricante, quien además puede aconsejar demorar la RM 6 semanas desde el implante³². Muchos DEC han sido aprobados para equipos de 1,5 T, pero hay pocos estudios en campos de 3,0 T. Aquellos DEC no etiquetados por el fabricante como RM condicional o RM seguro, deben ser considerados no seguros³¹.

En caso de paciente dependiente de estimulación con dispositivo RM condicional y sin función desfibriladores automáticos implantables (DAI) se debe programar en modo DOO/VOO, que permita una adaptación a las necesidades hemodinámicas del paciente (modo demanda)^{28,32,33}.

En paciente con ritmo propio la reprogramación es en modo DDI/VVI, lo que permite al paciente portar un dispositivo de estimulación plenamente funcionante²⁸.

En los DAI deben desactivarse las terapias antitaquicardia²⁸ ya que las corrientes generadas al ser introducidos en el campo magnético pueden ser interpretadas como taquiarritmias³². Se considera contraindicada la RM en pacientes con cables epicárdicos, electrodos abandonados y con marcapasos temporales. Los dispositivos sin cables, como los dispositivos de grabación en bucle (Holter implantable subcutáneo) se consideran seguros²⁸⁻³⁰.

Cada centro debe disponer de un protocolo consensuado con el servicio de cardiología que permita la valoración individualizada de cada paciente con una interrogación previa para valorar el dispositivo y la dependencia del paciente de la estimulación, y una posterior para confirmar el correcto funcionamiento y hacer la reprogramación correspondiente. Debe quedar constancia de ambas actuaciones. En la figura 3 se resume el diagrama de flujo del paciente portador de DEC²⁹.

Prótesis valvulares, anillos de anuloplastias y stents coronarios. Son RM seguros en campos de 1,5 independientemente del tiempo desde su implantación^{34,35}, incluidos stents liberadores de fármacos³⁶. En campos de 3 T el manejo de las prótesis valvulares y los conductos valvulados mecánicos deben seguir las indicaciones del fabricante²⁸.

Endoprótesis aórtica. La mayoría son no ferromagnéticas o débilmente ferromagnética y pueden introducirse en campos de hasta 3,0 T, excepto unos tipos concretos^{35,37}.

Catéteres de monitorización y asistencia circulatoria (Swan-Ganz y catéter de gasto continuo). No poseen elementos ferromagnéticos, pero incorporan material conductivo que puede producir quemaduras y alteración de su funcionamiento³⁸. No son seguros en RM²⁸.

Filtros de vena cava. Es seguro realizar una RM de 1,5 o 3,0 T aun de forma inmediata tras su colocación³⁵. Con los

ANTES DE LA LLEGADA	Valorar la indicación de RM en la patología del paciente, que podría variar su manejo e insustituible por otra diagnóstica. Comprobación del tipo de dispositivo. Firma del consentimiento informado reflejando el dispositivo.
A LA LLEGADA AL SERVICIO	Valoración por cardiología. Programación del dispositivo. Instrucciones del paciente.
DURANTE LA REALIZACIÓN DE LA RM	Presencia de cardiólogo en la zona III de la RM. Monitorización del paciente. Control visual y oral por parte del TSDI.
AL FINALIZAR LA RM	Revisión del estado del paciente. Reprogramación del dispositivo por parte de cardiología.

Figura 3 Diagrama de flujo del paciente portador de un dispositivo de estimulación cardíaca. RM: resonancia magnética; TSDI: técnico superior de diagnóstico por imagen.

débilmente ferromagnéticos se recomienda esperar 6 semanas para ser introducidos en campos de 1,5 T³⁹.

Dispositivos neurológicos

Clips de aneurismas intracraneales. Algunos pueden desplazarse. Otros no ferromagnéticos si pueden ser introducidos en campos de 1,5 y 3,0 T⁴⁰. Es necesario consultar la información del fabricante, y evitar los ferromagnéticos, que se dejaron de utilizar en 1997²¹.

Válvulas de derivación ventrículo-peritoneal. Si se consideran compatibles por el fabricante, lo son hasta campos de 3,0 T, y desde el momento de su implantación. Algunas casas comerciales reflejan entre sus recomendaciones la de realizar una revisión del buen funcionamiento de la válvula tras la prueba¹⁸.

Catéter intraespinal. Se han demostrado seguros en campos de hasta 1,5 T. Se debe advertir al paciente para que avise de calentamiento y neuroestimulación. Como precaución se deberían vaciar de medicación (la mayoría contienen morfina con el riesgo de sobredosisificación si se produce un mal funcionamiento) y desactivarlos durante la RM³³.

Dispositivos otorrinolaringológicos

Implantes cocleares. Los más antiguos están contraindicados por contener metal e imanes internos que los convertían en RM no seguros³³.

Algunas de las estrategias utilizadas en caso de necesidad de realizar la RM, son la extracción del imán del componente interno del implante coclear (IC) y la utilización de vendajes cefálicos o férulas para evitar el desplazamiento del imán. Existen modelos que tienen compatibilidad con resonancia magnética a 1,5 y 3,0 T sin necesidad de retirar el imán ni usar vendajes durante el examen. Es imprescindible conocer

previamente el modelo implantado que permita la actuación más segura en cada caso.

Dispositivos contraceptivos

Los ESSURE® y los dispositivos intrauterinos (DIU) son RM seguros en 1,5 y 3,0 T⁴¹.

Implantes dentales

El mayor problema es el artefacto que producen cuando están en el campo estudiado. Presentamos en la [figura 4](#) un resumen de la seguridad de los dispositivos médicos más frecuentes.

Tatuajes y maquillajes

Los tatuajes no contraindican la realización de RM, pero si se debe tener precaución, especialmente con tintas muy oscuras⁴². Informaremos del riesgo al paciente, y colocaremos compresas frías o bolsas de suero encima del tatuaje para absorber el eventual desprendimiento de calor.

Los maquillajes deben ser eliminados antes de la realización de la RM.

Joyas y piercing

Estos elementos deben ser retirados. Pueden producir quemaduras y desplazarse, y este desplazamiento será mayor en equipos de mayor campo como los de 3,0 T. Si no se pueden retirar, se deben envolver con una gasa, cinta u otro material similar, de forma que se evite el contacto con la piel.

Pacientes con presencia o sospecha de cuerpos extraños metálicos

Estos pacientes deben ser evaluados previamente ante la posibilidad de movimiento y calentamiento del cuerpo

	RM seguro	RM condicional	RM NO seguro
Sistema cardiovascular	Válvulas cardíacas. Anillos de anuloplastia. Stent coronario.	Marcapasos. Desfibrilador automático implantable.	Algunos electrodos de electrocardiografía.
Sistema nervioso y orbitas	Válvula de derivación ventrículo-peritoneal. Catéter intraespinal. Implante de retina.	Sistema de estimulación cerebral profunda. Sistema de drenaje de glaucoma.	Elementos metálicos orbitarios.
Otros	Implante dental. Dispositivo intrauterino. ESSURE®.	Grapas posquirúrgicas. Expansores mamarios. Implantes de pene.	Bombas de infusión continua. Bomba de insulina.
		Implantes cocleares. Catéter accesorio cardiovascular Clips de aneurisma cerebral	

Figura 4 Seguridad de los dispositivos médicos más frecuentes.

extraño. La radiografía simple es la técnica recomendada para detectar cuerpos extraños, ya que su sensibilidad permite identificar cualquier objeto metálico con una masa lo suficientemente grande como para presentar un peligro en la RM²².

Ropa

Existe ropa interior o deportiva con microfibras metálicas con efecto antimicrobiano⁴³. Los pacientes deben desnudarse por completo, incluso ropa interior, y proporcionarles una bata hospitalaria para la realización de la RM.

Durante el procedimiento

El paciente se desplazará por cuatro zonas con un acceso y restricciones diferentes (fig. 5). El personal le dará las instrucciones adecuadas según la zona donde se encuentre^{1,22,44}. Se debe preguntar al paciente sobre las posibles contraindicaciones y proporcionar de nuevo información sobre las características de la prueba, lo que aumentará su colaboración.

Contraste intravenoso y reacciones adversas

El radiólogo es el que debe indicar el uso de contraste. Se utilizan los basados en gadolinio, que muestran rangos de seguridad muy altos^{1,45}. La dosis estándar de administración de gadolinio intravenoso es de 0,1 mmol/kg de peso, lo que equivale a 0,2 ml/kg cuando el contraste es 0,5 molar. Los tiempos de relajación T1 de los tejidos blandos generalmente aumentan con una mayor intensidad del campo magnético y los efectos de acortamiento relativos de T1 de los contrastes, como el gadolinio, permanecen sin cambios, lo que lleva a un aumento más pronunciado del contraste de los agentes de contraste basados en gadolinio sobre un fondo de tejidos con mayor tiempo de relajación T1. Este efecto aumenta la posibilidad de reducir potencialmente a

la mitad la dosis de contraste a 3,0T en comparación con 1,5T⁴⁶⁻⁴⁸. No existen diferencias de seguridad en relación con el uso de contraste en equipos de diferente intensidad de campo.

Reacciones adversas al gadolinio

Son inusuales y varían desde el 0,004 al 0,7% según series⁴⁹. La mayoría son leves (ronchas o urticaria) y rara vez se asocian a broncoespasmo. Pueden producir frialdad, calor o dolor en el sitio de la inyección, náuseas con o sin vómitos, cefalea, parestesias, mareos y picor⁵⁰. La anafilaxia potencialmente mortal o reacciones anafilácticas no alérgicas son extremadamente raras (0,001 al 0,01%).

Fibrosis sistémica nefrogénica

Descrita en el año 2000 por Cowper et al.⁵¹. Es una enfermedad sistémica, fibrosa que afecta a la piel y a órganos internos, similar a la esclerodermia, que aparece antes de los 3 meses desde la inyección del contraste. Puede ser mortal, por insuficiencia respiratoria y por limitar la movilidad⁴⁹⁻⁵¹. No existe tratamiento y el diagnóstico se establece con biopsia cutánea^{49,50,52}. Se produce en pacientes con insuficiencia renal grave, con un filtrado glomerular estimado < 30 ml/min/1,73 m²^{50,52} (fig. 6). La mayoría de los casos se han descrito con el uso de agentes lineales, especialmente la gadodiamida, que presenta una incidencia estimada de fibrosis sistémica nefrogénica (FSN) entre 3-18% en pacientes con insuficiencia renal grave^{50,51}. No es necesario determinar la función renal cuando se administran agentes macrocíclicos. Se debería evitar el uso de gadolinio en menores de un año por su inmadurez renal, salvo que el beneficio para el paciente sea mayor que el riesgo^{1,29}. El desarrollo de fibrosis nefrogénica es muy raro en esta población⁵³. Existen pocos estudios que reflejen la seguridad del gadolinio en el embarazo⁵⁴. Está comprobado su paso al feto y su persistencia en el líquido amniótico, por lo que su administración debe limitarse lo más posible^{4,50,55}.

ZONA I	Movimiento libre , no supervisado. Acceso libre para público y personal. Salas de espera y recepción. Sin restricciones.
ZONA II	Movimiento libre y supervisado por el personal de RM con conocimiento general de seguridad (personal nivel 1). Entre la Zona I y las zonas III y IV estrictamente controladas . Es el lugar en el que se hace la preparación , la interrogación del paciente y la revisión del historial .
ZONA III	Zona de acceso restringido para pacientes que han sido reevaluados en zona II. Controlado por personal con conocimiento avanzado de seguridad (personal nivel 2). Potencialmente peligrosa, contiene la sala de control.
ZONA IV	Su acceso es restringido y debe supervisarse a todas las personas que accedan. Es la sala en la que se encuentra el imán. Esta dentro de zona III. Mantener puertas cerradas.

Figura 5 Características de las diferentes zonas del servicio de radiodiagnóstico por las que se desplazará un paciente que se realiza una RM. RM: resonancia magnética.

Pacientes con riesgo de fibrosis sistémica nefrogénica

- Pacientes en diálisis.
- Enfermedad renal crónica estadio 4 o 5 sin diálisis .
- Enfermedad renal crónica TFG: 30-40 ml/min/1,73 m².
- Insuficiencia renal aguda.

Pacientes con riesgo de probable insuficiencia renal

- Edad > 60.
- Hipertensión arterial que requiera tratamiento médico.
- Historia de Diabetes Mellitus.
- Historia de enfermedad renal
- Diálisis.
- Trasplante renal.
- Riñón único.
- Cirugía renal.
- Cáncer conocido que afecte a los riñones .

ACR Manual on Contrast Media. ACR committee on drugs and contrast media – Version 10.3 / May 31, 2017

Figura 6 Datos que elevan el riesgo de sufrir insuficiencia renal y fibrosis nefrogénica sistémica.

Depósitos cerebrales

Varios estudios sugieren que los contrastes lineales (ácido gadobénico, gadodiamida, ácido gadopentético y gadoversetamida) provocan la formación de depósitos cerebrales de gadolinio mayores que los macrocíclicos^{50,56}. Se identifican como regiones de hiperintensidad en los núcleos profundos del cerebro en estudios potenciados en T1 sin contraste. No se han comunicado síntomas neurológicos y se desconoce el significado clínico. Ocurre independientemente de la función renal^{4,49,57}. La Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios (AEMPS) ha suspendido el uso intravenoso de todos los agentes de contraste basados en gadolinio de alto riesgo (gadodiamida y gadopentetato dimeglumina) y

el titular de la autorización de comercialización ha retirado la gadoversetamida del mercado europeo^{50,58}. Sin embargo, autoriza el uso de agentes lineales de alto riesgo (gadopentato de dimeglumina) en artrografías y de riesgo intermedio (gadobenato dimeglumina y gadoxetate disodium) para estudios hepatobiliares^{49,50}.

Quemaduras

Son difíciles de predecir, poco frecuentes, pueden ser graves y mortales. Se producen porque el cuerpo humano es conductor y se producen quemaduras en el contacto metal-piel y porque se crean circuitos que liberan energía si forman un

bucle. Un cable enrollado sobre el paciente tiene más riesgo de quemadura que desenrollado. Es importante la buena colocación del paciente y el uso de almohadillas. Los cables y objetos alargados pueden actuar como antenas, y producir corriente cerca de sus puntas. Si miden más de 26 cm en un equipo de 1,5 T, o más de 13 cm en un equipo de 3,0 T son los que tienen más riesgo de producir calentamiento^{59,60}. El riesgo de quemadura es más alto y grave en equipos de 3,0 T porque la duplicación de intensidad de campo cuadruplica el SAR¹, pero se pueden producir en equipos de cualquier intensidad de campo⁴². Hay que extremar las precauciones en pacientes sedados o anestesiados que no puedan avisar del dolor⁶¹.

Ruido

Afecta a pacientes y trabajadores produciendo dificultades para la comunicación verbal, aumento de la ansiedad, pérdida temporal de audición, e incluso discapacidad auditiva permanente⁶². Los pacientes más susceptibles son los psiquiátricos, ancianos y niños, por su inmadurez auditiva^{63,64}. El principal responsable del ruido son las bobinas de gradientes. Los equipos de 3,0 T producen un ruido que puede doblar el de los equipos de 1,5 T y llegar a ser de 130 dB, por lo que se debe proporcionar al paciente tapones desechables o auriculares¹. La FDA ha establecido un máximo de decibelios que debe producir un equipo de RM en 140 dB²³. Los nuevos equipos, especialmente 3,0 T, disponen de técnicas de disminución del ruido⁶⁵.

Neuroestimulación periférica

Las corrientes eléctricas pueden producir dolor en extremidades (brazos y piernas) donde el campo magnético está cambiando más rápidamente⁶⁶. El grado de afectación varía en función del individuo. Es necesario monitorizar al paciente preguntando sobre la presencia o no de dolor.

Quench

Es la salida voluntaria o involuntaria por avería, del helio de su circuito que conlleva una pérdida del campo magnético^{1,8}. Por su baja temperatura pueden causar quemaduras y la expansión del gas durante su evaporación, lo que puede desplazar el oxígeno y provocar asfixia¹. Para prevenirlo, el personal debe estar formado y seguir las instrucciones del fabricante. En la instalación del equipo se debe disponer de elementos de tubos de ventilación que permita su evacuación rápida al exterior.

Posprocedimiento

Al finalizar el estudio de RM el personal técnico deben preguntar a los pacientes sobre cualquier sensación anómala, de la cual no hayan avisado previamente y realizar una revisión de su estado.

Curación de quemaduras

Hay pacientes que no se dan cuenta de las quemaduras durante la prueba y refieren ampollas, enrojecimiento o dolor a las 24 h. Se debe realizar una revisión visual del paciente antes de que abandonen la zona III y una primera cura si presentan quemaduras.

Contrastes y lactancia

Al ser hidrosoluble menos del 0,004% se excreta con la leche materna y el lactante absorbe menos del 1% del contraste, por ello se considera seguro continuar con la lactancia^{45,49,50}. Aun así, se debe informar a la paciente para que tome la decisión de suspender o no la lactancia en las primeras 24 h posteriores a la administración de contraste^{1,49}.

Extravasación del contraste

Dado que la cantidad de contraste y la velocidad de inyección son mucho menores que con el contraste yodado, son muy poco frecuentes. Su tratamiento es local, con elevación del miembro, aplicación de frío y pomadas antiinflamatorias.

Reprogramación de marcapasos y desfibriladores automáticos implantables

Estos pacientes deben ser reevaluados cardiológicamente y reprogramados sus dispositivos.

Análisis de sangre tras la inyección de gadolinio

Los resultados de los análisis de sangre u orina en las primeras 24 horas tras la inyección del gadolinio, y hasta 48 h en pacientes con insuficiencia renal, pueden alterarse. Se recomienda recoger sangre u orina antes de la administración de un agente de contraste. En pacientes con insuficiencia renal (TFGe < 45 ml/min/1,73 m²) la extracción de sangre se debería demorar tanto como se pueda tras la administración de un agente de contraste. Los efectos del agente de contraste en los análisis varían en función del método analítico empleado⁵⁰.

Elaboración de informe

Se debe reflejar específicamente el equipo utilizado, secuencias, peculiaridades y dispositivos del paciente, tipo y cantidad de contraste e incidencias presentadas⁶⁷.

Limpieza de la máquina

El riesgo de infecciones adquiridas en un servicio de radio diagnóstico es bajo⁶⁸. Se debe realizar una limpieza de las superficies entre cada paciente, con protocolos de limpieza más rigurosos en intervalos periódicos⁶⁹. Hay que evitar la introducción de elementos metálicos durante la limpieza, que puedan producir el «efecto misil» y se debe formar específicamente al personal.

Comunicación de incidencias

Es necesaria la notificación de las incidencias que se hayan podido producir a lo largo del proceso, por el cauce establecido en cada centro, no con un interés punible, sino con el objetivo de aprender del error y evitar su repetición.

Conclusión

La seguridad de la RM es alta comparada con otras técnicas de imagen, pero no está exenta de riesgos que se ven incrementados en equipos de 3,0T (especialmente el ruido y las quemaduras). El radiólogo y el personal técnico que realiza la exploración deben conocer los riesgos a los que está expuesto el paciente en cada fase del proceso.

Autorías

1. Responsable de la integridad del estudio: PF, JM, LG, LG y PQ.
2. Concepción del estudio: PF.
3. Diseño del estudio: PF.
4. Obtención de los datos: PF.
5. Análisis e interpretación de los datos: NA.
6. Tratamiento estadístico: NA.
7. Búsqueda bibliográfica: PF.
8. Redacción del trabajo: PF.
9. Revisión crítica del manuscrito con aportaciones intelectualmente relevantes: JM, LG, LG y PQ.
10. Aprobación de la versión final: JM, LG, LG y PQ.

Financiación

Expresamos que el presente trabajo no ha recibido subvención ni percibido ayuda económica alguna de ninguna institución pública ni privada.

Conflicto de intereses

Expresamos que el presente trabajo no tiene conflicto de interés.

Bibliografía

1. Tsai LL, Grant AK, Morteale KJ, Kung JW, Smith MP. A practical Guide to MR Imaging Safety: What Radiologists Need to Know. *Radiographics*. 2015;35:1722–37.
2. Girometti R. 3.0 Tesla magnetic resonance imaging: A new standard in liver imaging? *World J Hepatol*. 2015;28:1894–8.
3. Soher BJ, Dale BM, Merkle EM. A review of RM physics: 3T versus 1,5T. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2007;15:277–9.
4. Schindera ST, Merkle EM, Dale BM, Delong DM, Nelson RC. Abdominal magnetic resonance imaging at 3.0 T what is the ultimate gain in signal-to-noise ratio? *Acad Radiol*. 2006;13:1236–43, <http://dx.doi.org/10.1016/j.acra.2006.06.018>.
5. Shulman RM, Hunt B. Cardiac implanted electronic devices and MRI safety in 2018-the state of play. *Eur Radiol*. 2018;28:4062–5, <http://dx.doi.org/10.1007/s00330-018-5396-0>.
6. Jerrolds J, Keene S. MRI safety at 3T versus 1,5T. *The internet Journal of world health and societal Politics*. 2009;11:1–6.
7. Bulas D, Egloff A. Benefits and risks of MRI in pregnancy. *Semin Perinatol*. 2013;37:301–4, <http://dx.doi.org/10.1053/j.semperi.2013.06.005>.
8. Kanal E, Barkovich AJ, Bell C, Borgstede JP, Bradley WG Jr, Froelich JW, et al. ACR guidance document on MR safe practices: 2013. *J Magn Reson Imaging*. 2013;37:501–30, <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.24011>.
9. Clements H, Duncan KR, Fielding K, Gowland PA, Johnson IR, Baker PN. Infants exposed to MRI in utero have a normal paediatric assessment at 9 months of age. *Br J Radiol*. 2000;73:190–4, <http://dx.doi.org/10.1259/bjr.73.866.10884733>.
10. Chartier AL, Bouvier MJ, McPherson DR, Stepenosky JE, Taysom DA, Marks RM. The Safety of Maternal and Fetal MRI at 3 T. *AJR Am J Roentgenol*. 2019;213:1170–3, <http://dx.doi.org/10.2214/AJR.19.21400>.
11. McIsaac HK, Thordarson DS, Shafran R, Rachman S, Poole G. Claustrophobia and the magnetic resonance imaging procedure. *J Behav Med*. 1998;21:255–68.
12. Thorpe S, Salkovskis PM, Dittner A. Claustrophobia in MRI: the role of cognitions. *Magn Reson Imaging*. 2008;26:1081–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mri.2008.01.022>.
13. Wahba H. Minimizing claustrophobia in an MRI scanner. *Nursing*. 1995;25:32C–D.
14. Murphy KJ, Brunberg JA. Adult claustrophobia, anxiety and sedation in MRI. *Magn Reson Imaging*. 1997;15:51–4, [http://dx.doi.org/10.1016/S0730-725X\(96\)00351-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0730-725X(96)00351-7).
15. Gómez-Arnau J, Martín-Larréola M, Rabito-Alcón MF, Dolengevich-Segal H, Gutiérrez-Velasco LJ, Correias-Laufer J. Effectiveness of a non-sedative intervention to prevent anxious and claustrophobic reactions in magnetic resonance imaging. *Actas Esp Psiquiatr*. 2018;46:200–4.
16. Pilling D, Abernethy L, Wright N, Carty H. Sedation, safety and MRI. *Br J Radiol*. 2001;74:875–6, <http://dx.doi.org/10.1259/bjr.74.885.740875b>.
17. Shellock FG. Reference manual for RM safety implants and devices. Biomedical Publishing group. 2008. ISBN-10: 0974641049.
18. Kastwell Inc. [consultado 24 Ene 2023]. Disponible en: <https://mrsafety.com>
19. MR Research Center. University of Pittsburgh. [consultado 25 Ene 2023]. Disponible en: <https://www.radiology.pitt.edu/mrrc-mri-safety.html>
20. Kanal E. Standardized Approaches to MR Safety Assessment of Patients with Implanted Devices. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2020;28:537–48, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mric.2020.07.003>.
21. U.S. Food and Drug Administration. Criteria for Significant Risk Investigations of Magnetic Resonance Diagnostic Devices. 2014. FDA-2020-D-0957 [consultado 25 Sep 2022] Disponible en: <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/criteria-significant-risk-investigations-magnetic-resonance-diagnostic-devices-guidance-industry-and>.
22. Lee EM, Ibrahim EH, Dudek N, Lu JC, Kalia V, Runge M, et al. Improving MR Image Quality in Patients with Metallic Implants. *Radiographics*. 2021;41:E126–37, <http://dx.doi.org/10.1148/rq.2021200092>.
23. ACR Manual on Contrast Media. ACR committee on drugs and contrast media – Version 10.3 / May 31, 2022. ISBN: 978-1-55903-012-0. [consultado 25 Sep 2022] Disponible en: https://www.acr.org/-/media/ACR/files/clinical-resources/contrast_media.pdf.
24. Morelli JN, Runge VM, Ai F, Attenberger U, Vu L, Schmeets SH, et al. An image-based approach to understanding the physics of MR artifacts. *Radiographics*. 2011;31:849–66, <http://dx.doi.org/10.1148/rq.313105115>.
25. Talbot BS, Weinberg EP. MR Imaging with Metal-suppression Sequences for Evaluation of Total

- Joint Arthroplasty. *Radiographics*. 2016;36:209–25, <http://dx.doi.org/10.1148/rg.2016150075>.
26. Huang SY, Seethamraju RT, Patel P, Hahn PF, Kirsch JE, Guimaraes AR. Body MR Imaging: Artifacts, k-Space, and Solutions. *Radiographics*. 2015;35:1439–60, <http://dx.doi.org/10.1148/rg.2015140289>.
27. Kalin R, Stanton MS. Current clinical issues for MRI scanning of pacemaker and defibrillator patients. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2005;28:326–8, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1540-8159.2005.50024.x>.
28. Barreiro-Perez M, Cabeza B, Calvo D, Reyes-Juarez JL, Datino T, Vañó E. et al. Resonancia magnética para portadores de dispositivos cardiovasculares. Consenso SEC-GT CRMTC/SEC-Asociación del ritmo cardiaco/SERAM/SEICAT. *Rev Esp Cardiol* 2022) DOI: 10.1016/j.recesp.2022.09.010.
29. Indik JH, Gimbel JR, Abe H, Alkmmim-Teixeira R, Birgersdotter-Green U, Clarke GD, et al. HRS expert consensus statement on magnetic resonance imaging and radiation exposure in patients with cardiovascular implantable electronic devices. *Heart Rhythm*. 2017;14:e97–153, <http://dx.doi.org/10.1016/j.hrthm.2017.04.025>.
30. Grupo de trabajo sobre estimulación cardiaca y terapia de resincronización de la Sociedad Europea de Cardiología. Guía ESC 2021 sobre estimulación cardiaca y terapia de resincronización. *Rev Esp Cardiol*. 2022;75:430e1–86, <http://dx.doi.org/10.1016/j.recesp.2021.10.025>.
31. Shinbane JS, Colletti PM, Shellock FJ. Magnetic resonance imaging in patients with cardiac pacemakers: era of “MR Conditional” designs. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2011;27:1–13 [consultado 29 Oct 2022] Disponible en: <http://www.jcmr-online.com/content/13/1/63>.
32. Sancho-Tello de Carranza MJ, Ruiz-Mateas F, Fidalgo-Andrés ML, Buendía-Fuentes F. Avances en estimulación cardiaca. *Rev Esp Cardiol*. 2011;64:91–9.
33. jr Watson RE, Edmonson HA. MR Safety: Active Implanted Electronic Devices. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2020;28:549–58, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mric.2020.08.001>.
34. Karamitsos TD, Karvounis H. Magnetic resonance imaging is a safe technique in patients with prosthetic heart valves and coronary stents. *Hellenic J Cardiol*. 2019;60:38–9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.hjc.2017.12.001>.
35. Waldman S, Grancelli H, Yaman B, Cohen H. Normas de seguridad para el uso de RM en pacientes con dispositivo cardiovascular. *Medicina (B. Aires)*. 2010;70:78–82.
36. Tejedor P, San Roman J, Duran J. Seguridad de la realización precoz de un estudio de resonancia magnética cardiaca en pacientes con infarto agudo de miocardio y revascularización con stent. *Rev Esp Cardiol*. 2006;59:1261–7.
37. Levine GN, Gomes AS, Arai AE, Bluemke DA, Flamm SD, Kanal EE, Manning WJ, et al., American Heart Association Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization; American Heart Association Council on Clinical Cardiology; American Heart Association Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. 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*. 2007;116:2878–91, <http://dx.doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.107.187256>.
38. 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, <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.1880080625>.
39. 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.
40. Shellock FG, Crues JV. MR procedures: Biologic effects, safety, and patient care. *Radiology*. 2004;232:635–52, <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2323030830>.
41. Kido A, Togashi K, Kataoka ML, Nakai A, Koyam T, Fujii S. Intrauterine devices and uterine peristalsis: Evaluation with MRI. *Magn Reson Imaging*. 2008;26:54–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mri.2007.06.001>.
42. Franiel T, Schmidt S, Klingebiel R. First-degree burns on MRI due to nonferrous tattoos. *AJR Am J Roentgenol*. 2006;187:pW556.
43. Nyenhuis J, Duan L. An evaluation of MRI safety and compatibility of a silver-impregnated antimicrobial wound dressing. *J Am Coll Radiol*. 2009;6:500–5, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jacr.2009.02.013>.
44. Gilk TB. MR Imaging Safety: Siting and Zoning Considerations. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2020;28:481–8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mric.2020.07.006>.
45. Beckett KR, Moriarity AK, Langer JM. Safe Use of Contrast Media: What the Radiologist Needs to Know. *Radiographics*. 2015;35:1738–50, <http://dx.doi.org/10.1148/rg.2015150033>.
46. Elster AD. How much contrast is enough? Dependence of enhancement on field strength and MR pulse sequence. *Eur Radiol*. 1997;7 Suppl 5:S276–80.
47. Fukatsu H. 3T MR for clinical use: Update. *Magn Reson Med Sci*. 2003;2:37–45, <http://dx.doi.org/10.2463/mrms.2.37>.
48. Barth MM, Smith MP, Pedrosa I, Lenkinski RE, Rofsky NM. Body MR imaging at 3.0 T: Understanding the opportunities and challenges. *Radiographics*. 2007;27:1445–62, <http://dx.doi.org/10.1148/rg.275065204>.
49. ACR manual on contrast media. ACR committee on drugs and contrast media version 10.3 (2022). ISBN: 978-1-55903-012-0 [consultado 27 Oct 2022] Disponible en: <https://www.acr.org/-/media/ACR/files/clinical-resources/contrast-media.pdf>.
50. Guías de la ESUR sobre agentes de contraste. Sociedad Europea de Radiología Urogenital.10.0 [consultado 14 Oct 2022] Disponible en: <https://www.esur.org/esur-guidelines-on-contrast-agents/>.
51. Cowper SE, Robin HS, Steinberg SM, Su LD, Gupta S, LeBoit PE. Scleromyxoedema-like cutaneous diseases in renal-dialysis patients. *Lancet*. 2000;356:1000–1, [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(00\)02694-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(00)02694-5).
52. Canga A, Kislikovab M, Martínez-Gálvez M, Arias M, Fraga P, Poyatos C. Función renal, fibrosis sistémica nefrogénica y otras reacciones adversas asociadas a los medios de contraste basados en el gadolinio. *Nefrología (Madr)*. 2014;34:428–38.
53. Penfield JG. Nephrogenic systemic fibrosis and the use of gadolinium-based contrast agents. *Pediatr Nephrol*. 2008;23:2121–9.
54. Levine D. Timing of MRI in pregnancy, repeat exams, access, and physician qualifications. *Semin Perinatol*. 2013;37:340–4, <http://dx.doi.org/10.1053/j.semperi.2013.06.011>.
55. Little JT, Bookwalter CA. Magnetic Resonance Safety: Pregnancy and Lactation. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2020;28:509–16, <http://dx.doi.org/10.1016/j.mric.2020.06.002>.
56. Kanal E, Tweedle MF. Residual or retained gadolinium: Practical implications for radiologists and our patients. *Radiology*. 2015;275:630–4, <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2015150805>.
57. European Medicines Agency (Agencia Europea de Medicamentos). Gadolinium-containing contrast agents (Medios de contraste que contienen gadolinio). [consultado 26 Oct 2022] Disponible en: <http://www.ema.europa.eu/ema/index.jsp?>

- curl=pages/medicines/human/referrals/Gadoliniumcontaining-contrast_agents/human.referral.prac.000056.jsp&mid=WC0b01ac05805c516f.
58. Agencia española de medicamentos y productos sanitarios. Ministerio de Sanidad. Gobierno de España [consultado 26 Oct 2022]. Disponible en: https://www.aemps.gob.es/informa/notasinformativas/medicamentosuso_humano-3/seguridad-1/2017/ni-muh_fv_02-gadolinio/.
 59. Panych LP, Madore B. The physics of MRI safety. *J Magn Reson Imaging*. 2018;47:28–43.
 60. Konings MK, Bartels LW, Smits HF, CJ Bakker CJ. Heating around intravascular guidewires by resonating RF waves. *J Magn Reson Imaging*. 2000;12:79–85, [http://dx.doi.org/10.1002/1522-2586\(200007\)12:1<79::aid-jmri9>3.0.co;2-t](http://dx.doi.org/10.1002/1522-2586(200007)12:1<79::aid-jmri9>3.0.co;2-t).
 61. Grainger D. Safety guidelines of magnetic resonance imaging equipment in clinical use. Medicines and healthcare products regulatory agency (MHRA). (2015). London, United-Kingdom. [consultado 15 Oct 2022] Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/476931/MRI_guidance_2015_-4-02d1.pdf
 62. Mollasadeghi A, Mehrparvar AH, Atighechi S, Davari MH, Shokouh P, Mostaghaci M, et al. Sensorineural hearing loss after magnetic resonance imaging. *Case Rep Radiol*. 2013;510258:1–3, <http://dx.doi.org/10.1155/2013/510258>.
 63. McJury MJ. Acoustic Noise and Magnetic Resonance Imaging: A Narrative/Descriptive Review. *J Magn Reson Imaging*. 2002;55:337–46, <http://dx.doi.org/10.1002/jmri.27525>.
 64. Philbin MK, Taber KH, Hayman LA. Preliminary report: changes in vital signs of term newborns during MR. *AJNR Am J Neuroradiol*. 1996;17:1033–6.
 65. Alibek S, Vogel M, Sun W, Winkler D, Baker CA, Burke M, et al. Acoustic noise reduction in MRI using Silent Scan: An initial experience. *Diagn Interv Radiol*. 2014;20:360–3.
 66. Davids M, Guérin B, Vom Endt A, Schad LR, Wald LL. Prediction of peripheral nerve stimulation thresholds of MRI gradient coils using coupled electromagnetic and neurodynamic simulations. *Magn Reson Med*. 2019;81:686–701, <http://dx.doi.org/10.1002/mrm.27382>.
 67. Marti-Bonmati L, Aymerich A, Torregrosa A. Informe radiológico, estructura, estilo y contenido. *Radiología*. 2022;64:186–93.
 68. European Society of Radiology (ESR); European Federation of Radiographer Societies (EFRS). Patient Safety in Medical Imaging: A joint paper of the European Society of Radiology (ESR) and the European Federation of Radiographer Societies (EFRS). *Insights Imaging*. 2019;10:45–62, <http://dx.doi.org/10.1186/s13244-019-0721-y>.
 69. Valdes P. SEGECA. SERAM. Diciembre de 2021. [consultado 30 Oct 2022] Disponible en: <https://seram.es/wp-content/uploads/2021/12/Seguridad-en-RM-SERAM.pdf>.