

Recomendaciones preventivas generales en el uso de equipos de Resonancia Magnética de alto campo (1,5 y 3 Teslas) para aplicaciones clínicas

Eva Alfayate Sáez

Fundación CIEN (Centro de Investigación de Enfermedades Neurológicas). Instituto de Salud Carlos III

Javier Gálvez Cervantes

Centro Nacional de Nuevas Tecnologías (INSHT)

En la actualidad, varios miles de trabajadores en España realizan sus funciones profesionales en los equipos de Resonancia Magnética (R.M), tanto en la sanidad pública como en la privada, en centros de investigación o en centros veterinarios. Este artículo intenta establecer unas bases de seguridad para que el uso de esta técnica se realice con procedimientos más seguros.

Se han tomado como referencia, las recomendaciones que indican las casas comerciales que se dedican a la fabricación y comercialización de estos equipos así como las normas internacionales, recomendaciones, incluso nuestra experiencia de muchos años en distintos equipos de R.M.

Existe una Comisión dentro de la Unión Europea dedicada al estudio y puesta en marcha de normativas que regulen este campo.

1. Introducción

En abril del 2008, el Parlamento Europeo acordó retrasar la entrada en vigor de la Directiva 2004/40/EC sobre Agentes Físicos (Campos Electromagnéticos). La Directiva tenía que haber sido transpuesta antes del 30 de abril de 2012, pero se ha considerado ampliar esta fecha, para permitir desarrollar una modificación de texto que

tenga en cuenta las mejoras y el nuevo estado del arte en el uso de campos estáticos o campos de Frecuencia Extremadamente Baja (ELF), como es el caso que nos ocupa con los equipos de RM. Aun así, ya en los distintos servicios de R.M se vienen adoptando unas medidas que garantizan la seguridad tanto de los pacientes como del personal que trabaja en las instalaciones.

A los servicios de R.M. se han ido incorporando diferentes profesionales tales como: los equipos de anestesia, médicos intervencionistas, ingenieros, psicólogos, informáticos, enfermeros y celadores, personal de limpieza y mantenimiento. No obstante, la responsabilidad de asegurar el cumplimiento de las normas y el control de toda persona que acceda a la sala es del técnico/operador.

De forma general, se pueden clasificar los riesgos según su naturaleza por:

- El campo magnético estático.
- El campo magnético variable que se produce al funcionar los sistemas de gradación de campo (gradientes).
- Las ondas de radiofrecuencia.
- Los accidentes que puedan ocasionar la fuga de líquidos criogénicos (helio y/o nitrógeno líquidos).
- Los derivados del ámbito hospitalario, como son los riesgos en la manipulación de equipos sanitarios, los causados por contacto con agentes biológicos, etc. En este artículo no se contemplan, ya que se ha pretendido reflejar, únicamente, los implícitos a los equipos de R.M.

2. Recomendaciones generales para eliminar o controlar los posibles riesgos causados por el campo magnético estático

Los responsables de la elección del personal que vaya a trabajar en estas instalaciones han de ser muy exigentes y ajustarse a una normativa que implique seguridad para dicho personal. Así, no se debe permitir que trabajen en esta sala personas con prótesis auditivas, marcapasos u otro tipo de prótesis, implantes metálicos, sean o no ferromagnéticos, válvulas cardiacas, DIU o con tatuajes que contengan tintes férricos. Hay que asegurarse que estos elementos o prótesis no se



vean alterados en su funcionamiento, y que no producen un incremento de temperatura local, durante la jornada laboral.

En lo referente a la ropa de trabajo es imprescindible que no tenga hebillas, pasadores ni refuerzos que puedan ser considerados ferromagnéticos con el fin de evitar que se desprendan y puedan dañar o herir al paciente o al operador. De igual manera se prohibirá el uso de horquillas, pasadores, pinzas de pelo, relojes o incluso bolígrafos que pudieran tener componentes ferromagnéticos. Lo mismo ocurre con

algunos pendientes que, aunque estén colocados en zonas ocultas, pueden causar un aumento de temperatura. Por supuesto, se evitará el uso de fonendoscopios normales, pinzas, tijeras u otros elementos que se lleven en el bolsillo sin haber supervisado previamente si contienen o no elementos ferromagnéticos.

El conjunto de estas medidas de seguridad previas han de constituir un procedimiento normalizado para todo el personal adscrito a la sala y los operadores son los que tienen la obligación de exigir a todo equipo ajeno



AVISO

IMÁN DE 3,0T





Campo magnético intenso

- 
Protección auditiva obligatoria
- 
Marcapasos prohibidos
Neuroestimuladores prohibidos
- 
Objetos metálicos sueltos prohibidos
- 
Radiación no ionizante

Copyright © 2004 by General Electric Company, Inc. All Rights Reserved.
5120663-3 rev. 3

a esta unidad, que, cuando entren, lo hagan de una forma segura, es decir, los operadores son los responsables de que no entre en la sala ningún equipo o persona que no cumpla esta normativa.

En todas las salas de resonancia de alto-muy alto campo 1- 1.5 - 3 Teslas (T) existen unos carteles informativos, en donde se indica la prohibición de entrada o introducción a ese recinto

de objetos y elementos que sean susceptibles de riesgos. Hay constancia de distintos accidentes o descuidos, a veces de fatales consecuencias, por ese motivo. Algunos servicios de R.M además de estos indicadores de peligro, ubicados en las puertas de la sala o zonas adyacentes, también se han colocado carteles plastificados en el suelo con el fin de llamar la atención, quizás, de una forma poco habitual pero muy útil.

Si el personal adscrito al equipo de resonancia se encuentra en periodo de gestación, la recomendación general es de no acceder a la sala del imán si en ese momento se emiten pulsos de radiofrecuencia, es decir, cuando el campo magnético es variable; pero no hay problema de permanecer en ella si el campo magnético es estable. Debido a que esta limitación puede dificultar en cierta medida el desarrollo de los diferentes protocolos de estudios en resonancia, algunos centros recomiendan a los profesionales que se encuentren en estas circunstancias que se encarguen de otras tareas que garanticen su no relación con R.M. durante este periodo, desempeñando sus funciones en puestos en post-procesado, TAC o Ecografía, entre otros.

Por otra parte, la sala de operadores o puesto de mando ha de estar suficientemente alejada del equipo de R.M. para garantizar de que la intensidad del campo magnético, en esta zona, sea la menor posible, y en todo caso su intensidad estará siempre por debajo de la línea de los 5 Gauss.

Con el fin de evitar la inducción eléctrica y para una mayor seguridad, tanto del paciente como del personal expuesto, el técnico operador debe asegurarse de que no existan líquidos vertidos en la mesa de exploración o zonas húmedas del paciente (sudoración), hidratación artificial de la superficie corporal, así como vertidos en sabanillas o mantas.

Cuando se realicen maniobras de desplazamiento dentro de la sala de resonancia, éstas no se harán de forma rápida (correr) ya sean en el eje longitudinal o transversal de la máquina, puesto que al moverse con rapidez se pueden provocar corrientes eléctricas inducidas por el campo magnético.



co, en el objeto en movimiento y en cualquier objeto metálico que porte el sujeto (cinturón, botones, etc). Estos desplazamientos cerca de un campo magnético estático pueden producir efectos, como vértigo, dolor de cabeza, alteración del gusto, mareos y cefaleas. Esto se puede disminuir o evitar asegurando que los movimientos de desplazamiento en la sala son los imprescindibles, es decir, solo aquellas maniobras que no se puedan realizar en el exterior. Por ejemplo, los pacientes que requieran contraste deben ser pinchados en el exterior de la sala, de la misma manera los muebles donde se almacenen medicamentos deben estar en una zona próxima a la sala,

a ser posible nunca en el interior de la misma.

3. Recomendaciones generales para eliminar o controlar los posibles riesgos causados por el campo magnético variable debido a los sistemas de gradación de campo (gradientes)

Las salas de R.M, en general y salvo raras excepciones, tienen un sistema de bloqueo de forma que cuando se abre la puerta externa del bunker (sala

del imán), el equipo paraliza la emisión de radiofrecuencia y desactiva el funcionamiento de los gradientes. En ocasiones, por la complejidad de la exploración (sedación o intervencionismo), es necesario permanecer en la sala durante alguna de sus secuencias de pulsos. Estas maniobras o tareas deben estar perfectamente planificadas para que la exposición sea la menor posible, tanto por el tiempo como por el tipo de secuencias mientras el personal se encuentre en el interior de la sala.

Algunos centros u hospitales mantienen a un técnico dentro de la sala durante la administración del contras-



te, para visualizar al paciente y controlar posibles reacciones adversas al contraste, a pesar de efectuarse mediante inyectores automáticos. Se debe exigir que las unidades de R.M. estén dotadas de monitorización de pacientes ya que, de esta forma, se pueden controlar desde el exterior.

En la actualidad todas las máquinas de alto campo vienen dotadas de monitorización interna y externa, pulsímetro, E.C.G. y control respiratorio, lo que implica que estos registradores, aunque no sirvan para uso clínico (sistemizado), mantienen informado en

todo momento del estado del paciente, en una primera aproximación, informándonos si sus constantes vitales continúan inalteradas tras la inyección del contraste y al estar monitorizado desde el exterior no es necesaria la presencia del técnico dentro de la sala durante la exploración. El mismo hecho también resuelve en gran medida los momentos en los que se exploran a pacientes graves, de cuidados intensivos, etc.

En otro sentido, se debe recordar que los monitores y equipo de anestesia que se usen en la sala de reso-

nancia han de ser compatibles con el campo magnético y radiofrecuencia, y exigir que la monitorización se pueda controlar desde el exterior. Así, los profesionales o responsables de la anestesia o de cualquier otra actividad asistencial, solo necesitarán entrar en la sala en momentos puntuales.

La bobina de gradientes es la encargada, entre otras funciones, de crear campos magnéticos específicos con el fin de obtener imágenes de un corte o de codificar zonas de estimulación y lectura de las diferentes estructuras o cortes que se desea estudiar. Estos

gradientes pueden variar entre 50-150 mT/m según las necesidades técnicas que se quieran obtener del equipo. Su potencia y su respuesta estarán directamente relacionadas con las técnicas de estimulación que se necesite usar. Así, como ejemplo más práctico, cabe citar las técnicas EPI (imagen eco planar) que son de las de mayor potencia y rapidez de respuesta.

En función de la técnica seleccionada y de algún otro parámetro más, los gradientes actuales producen un intenso ruido de origen electromecánico que en muchas ocasiones supera los límites tolerables, llegando, en ocasiones, a superar hasta los 110-120 dB. Es cierto que ya existe tecnología suficiente avanzada como para disminuir este ruido desagradable, bien aislando la bobina de gradientes en cámara de vacío, o con aislantes acústicos que envuelvan la antena. No obstante, en la actualidad todas las máquinas presentan este problema y en especial las equipadas con bobinas de gradientes de alta potencia y rapidez.

Esta situación obliga a usar los medios de protección acústicos adecuados a cada una de las máquinas, debiendo seguir las normas que proporciona la información del fabricante sobre el tipo de protección a utilizar para cada instalación concreta. Estas especificaciones técnicas siempre vendrán indicadas en el manual del operador o documentación anexa de dicha máquina.

La protección acústica será la misma tanto para el paciente, anestesiado o inconsciente, como para el personal expuesto, utilizando tapones adecuados y homologados o cascos con características análogas. En cualquier caso, siempre será conveniente el uso de cascos que protejan la vía auditi-

va directa y ósea, y que permitan, a la vez, la intercomunicación con la sala de operadores.

Aunque debe estar prohibida la permanencia en la sala durante las exploraciones, como se ha manifestado anteriormente, hay situaciones excepcionales en las que alguien del equipo debe permanecer en su interior. Es el caso del anestesiado, durante los estudios cardíacos con sedación, en los que se necesita someter al paciente a apnea cada vez que se dispara una secuencia. Aquel deberá utilizar la misma protección acústica, suministrada al paciente, aunque no esté dentro del túnel. El mismo criterio de protección se usará con los familiares o acompañantes que tengan que permanecer en la sala durante la exploración (casos de pacientes ancianos o niños) y que por circunstancias especiales no se les pueda someter a sedación.

Respecto a las medidas de seguridad aplicables a riesgos de incendios, se seguirán las recomendaciones generales. Es importante señalar que los extintores y mangueras próximas a la sala de resonancia siempre serán de aluminio o fibras especiales (compatibles con R.M.) y nunca ferromagnéticos, esto ha de reflejarse en el plan de autoprotección.

4. Recomendaciones generales para eliminar o controlar los posibles riesgos causados por accidentes que pueden existir debido a la fuga de criogénicos (helio líquido y/o nitrógeno líquido)

En equipos de R.M con imanes superconductores refrigerados por helio el accidente más grave que se puede

La protección acústica será la misma tanto para el paciente, anestesiado o inconsciente, como para el personal expuesto

producir es la rotura parcial por fisura o fuga del recipiente de helio. La presencia de helio en la sala del imán produce una disminución en cantidad de oxígeno (O₂). En ocasiones excepcionales, como consecuencia de la fuga de helio y/o una avería en cadena, aunque es muy poco probable, pudiera darse el caso de llegar a producirse un incendio o explosión. Por este motivo, es imprescindible que exista un plan de evacuación y actuación implantado para este tipo de emergencias.

Algunos fabricantes instalan dentro de la sala del imán un sensor que detecta la cantidad de oxígeno en la sala, y que se controla desde la sala del operador. En ocasiones, puede saltar la alarma acústica indicando una disminución del O₂, debido a un aumento de la temperatura en la sala, por avería del propio sistema o por una fuga de

helio. Las medidas preventivas a tomar son las siguientes:

- El operador parará inmediatamente el equipo y procederá a sacar al paciente al exterior de la sala.
- El aumento de presión que se produciría en el interior de la sala provocaría el cierre de la puerta de una forma brusca. Por este motivo, es imprescindible que, al entrar en la sala, la puerta se mantenga totalmente abierta.
- Desalojar la instalación. No hay que olvidar que antes de evacuar el servicio es obligación del técnico salvar la vida del paciente.
- Avisar inmediatamente al servicio técnico de mantenimiento de la casa comercial correspondiente.
- En el caso de una fuga masiva de helio hay que abandonar también inmediatamente la sala de operador, puesto que, si la presión de la sala aumentara y el sistema de extracción forzado de aire no funcionara, podrían saltar los cristales de los ventanales de visualización.

Todos los sistemas de seguridad, detectores, elementos de extracción de emergencia de la camilla del paciente, sistema de elevación y expulsión de la mesa, equipo de alarma, etc., estarán siempre revisados, controlando su perfecto uso y en ningún caso se obstaculizará su funcionamiento con otros elementos tales como almohadillas, sábanas o mantas. Por la misma razón, la puerta de escape del bunker nunca estará bloqueada por camas, camillas o carros, etc..

Para que el interior de la sala no se convierta en un almacén, solo perma-

nerán los equipos que se vayan a usar y que sean compatibles con los sistemas (equipos de anestesia, monitores mesas de instrumentación etc.) y se les asignará una zona de estacionamiento en el exterior de la sala donde retirarlos, una vez finalizado su empleo.

El personal adscrito a los servicios de R.M debe conocer y diferenciar perfectamente los equipos de interrupción eléctrica (setas) tanto los de desconexión de la parte electrónica como los de bajada del campo magnético (Quench).

Los equipos de desconexión electrónica se manejan con los mismos criterios que cualquier aparato eléctrico ante incendios, descargas eléctricas, inundaciones, etc. teniendo en cuenta que el equipo está sometido a alta y baja tensión.

Los equipos de interrupción del campo magnético se deberán utilizar cuando por accidente o descuido se haya introducido en el campo algún elemento ferromagnético que pueda causar daños a las personas. Entonces, será imprescindible bajar el campo para liberar dicho elemento y minimizar las posibles lesiones.

Las salas técnicas de estos servicios deben estar dotadas de sistemas de monitorización específicos (temperatura y humedad), visibles en todo momento desde la consola del operador. Se deben realizar visitas facultativas a dicha sala diariamente, comprobando la temperatura, humedad, nivel y presión del helio, y si el compresor está en funcionamiento. Como la sala necesita unas condiciones específicas de humedad y temperatura, ello obliga a mantener unas revisiones frecuentes de los sistemas de refrigeración. No se

Es imprescindible establecer una adecuada formación continuada del personal que desempeña sus labores en estos puestos

puede transformar estas salas en un almacén o trastero, dado el alto riesgo eléctrico existente por la presencia de múltiples dispositivos electrónicos.

Todo personal adscrito a esta unidad, como responsable de cuantos accidentes o negligencias puedan acontecer, debe estar perfectamente cualificado y entrenado. El servicio de prevención de riesgos laborales es el encargado de garantizar que cada uno de los elementos dispuestos para la prevención de riesgos se encuentre en perfecto estado de uso, debiendo controlar periódicamente que se realizan todas las maniobras con la suficiente garantía de calidad técnica y asistencial.

Por la complejidad y la rápida evolución de estas tecnologías, es imprescindible establecer una adecuada formación continuada del personal que desempeña sus labores en estos puestos.

5. Conclusiones

- 1) Se entiende que siguiendo las recomendaciones dadas en este artículo, se pueden evitar y/o controlar los riesgos más frecuentes que se pueden dar en la aplicación de este tipo de técnicas de diagnóstico médico. No obstante, se recomienda que en los servicios de R.M se registren los accidentes e incidentes que ocurran y se hagan llegar al Servicio de Prevención para que los investigue y proponga soluciones de carácter preventivo.
- 2) Dado que las exigencias son cada vez mayores y están continuamente apareciendo en el mercado equipos de mayores potencias y prestaciones, se requiere por parte de los fabricantes un esfuerzo para ofrecer mayores garantías de seguridad y una mayor información del procedimiento de operar, las limitaciones y el programa de mantenimiento así como una información específica sobre los riesgos y la forma de evitarlos y/o controlarlos. La tendencia ha de ser la de comercializar equipos, en lo posible, exentos de la declaración que implicaría una autorización inicial de funcionamiento de la instalación, previo registro.
- 3) Hay que seguir efectuando mediciones de los parámetros físicos o variables que definen tanto del equipo como la potencial exposición del personal, sin que impliquen interferencias en el funcionamiento normal de la instalación y entendiendo que modificaciones de la programación diaria pueden conllevar un costo elevado. Al tiempo, hay que realizar un esfuerzo por establecer unos valores límite de referencia reales y seguros a partir de una correcta utilización de estos equipos y sin que implique riesgos en la exposición del personal, sin efectos para su salud y seguridad ni a corto ni a largo plazo.
- 4) Asegurar un contrato de mantenimiento de estas máquinas que verifiquen periódicamente su correcto funcionamiento y soluciones lo antes posible las averías que se puedan producir.
- 5) Finalmente, es aconsejable que de forma similar a las revisiones anuales que se efectúan en las instalaciones de equipos de rayos X por empresas acreditadas, se proceda a la verificación de estos equipos, independiente de los contratos de mantenimiento con el fabricante, dado que con el tiempo se pueden presentar variaciones importantes en sus prestaciones debidos a posibles desajustes, fatiga o envejecimiento de algunos de sus componentes, uso inadecuado de los mismos, etc. El informe o memoria, como resultado de la inspección, quedaría registrado en el lugar que la autoridad competente estimara oportuno. ●

■ Bibliografía ■

- 1) Sherlock, FG; Kanal, E: Bioeffects and Safety of MR Procedures. Edelman, RR (Dir): Clinical Magnetic Resonance Imaging, 391-434. 2ª ed. Saunders. Philadelphia, 1996
- 2) Sherlock, FG; Kanal, E; Moscatel, M: Bioeffects and Safety Considerations. Atlas SW: Magnetic Resonance Imaging of the Brain and Spine. 109-148. Lippincott, Philadelphia 1996
- 3) Sherlock, FG; Kanal, E, Bioeffects and Safety. Higgins CB (Dir): Magnetic Resonance Imaging of the Body, 175-204, Lippincott, Philadelphia 1997
- 4) Kanal, E ; Kanal, E; Barkovich, AJ ; Bell, C; Borgstede, JP; Bradley, WG; Froelich, JW; Gilk, T; Gimbel, JR; Gosbee, J; Kuhni-Kaminski, E; Lester, JW; Nyenhuis, J; Parag, Y; Schaefer, DJ; Sebek-Scoumis, EA; Weinreb, J; Zaremba, LA; Wilcox, P; Lucey, L; Sass, N. Group Author(s): ACR Blue Ribbon Panel MR Safety ACR Guidance Document for Safe MR Practices 2007
American Journal of Roentgenology, 188 (6): 1447-1474 Jun 2007
- 5) Persson, B, Stahlenberg: Health and safety of clinical NMR examination. CRC Press, Boca Raton, 1989
- 6) Sherlock, Fo; Kanal, E: Magnetic Resonance. Bioeffects, Safety and Patient Management. 2ªed. Lippincott. Philadelphia, 1996.
- 7) Westbrook, C., Karl Roth, C; Talbot, J. "MRI in practice" Editorial Blackwell, 2008
- 8) Guía de Seguridad para RM. General Electric. Manual del usuario 2005.
- 9) Sherlock, FG Reference Manual for Magnetic Resonance Safety, Implants and Device: edición 2007 ISBN: 978-0-9746410-3-4 Bio-medical Publishing Group. Los Angeles 2009
- 10) Alorainy IA; Albadr, FB; Abujamea, AH, Abdullah H: Attitude towards MRI safety during pregnancy. Annals of Saudi Medicine, 26 (4): 306-309 Jul-Aug 2006
- 11) Webs de consulta, entre otras:
www.MRIsafety.com
www.radiology.upmc.edu/MRIsafety/
- 12) Gili J: Introducción Biofísica a la Resonancia Magnética aplicada a la Clínica.
V (08-1) Curso 2007-2008