

RESONANCIA MAGNÉTICA

HISTORIA

En 1946 Félix Bloch en Stanford y Edward Purcell en Harvard, demostraron que bajo campos magnéticos intensos, ciertos núcleos atómicos pueden absorber energías de radiofrecuencia y generar a su vez una señal de radiofrecuencia capaz de ser captada por una antena receptora.

La frecuencia a la cual podían absorber la energía de radiofrecuencia se llamó frecuencia de resonancia y al experimento resonancia magnética nuclear, y pudo emplearse para espectroscopia de elementos.

En 1973 Paul Lauterbury publicó las primeras imágenes de resonancia magnética que realizó a dos tubos llenos de agua. En 1979 se obtuvieron las primeras imágenes de una cabeza humana. En 1981 se instala en Londres el primer prototipo de tomógrafo por resonancia magnética nuclear. En 1983 el American College of Radiology considera a la tomografía por RMN como técnica estándar en el campo del diagnóstico médico, y en Diciembre de 1983 se obtiene en España la primera tomografía en un centro médico de Barcelona.

PRINCIPIOS FÍSICOS

El fenómeno del magnetismo tiene su origen en el movimiento de partículas cargadas eléctricamente. La magnetización se refiere al fenómeno producido por la orientación no aleatoria del campo magnético de los electrones (átomos).

Los núcleos atómicos poseen un pequeño momento o campo magnético que es el que se utiliza para la obtención de las imágenes de RMN. Este magnetismo nuclear tiene su origen en el spin nuclear y el momento angular asociado a él y se encuentra relacionado con el número atómico y con el número másico del átomo.

El hidrógeno es un buen elemento para obtener imágenes de RMN ya que es el núcleo más abundante en el cuerpo, tiene un momento magnético muy grande, y se prestará bien a emitir una señal de radiofrecuencia cuando sea sometido a un campo magnético y estimulado por una señal de radiofrecuencia.

Cuando el paciente está dentro del campo magnético del imán, los núcleos de los átomos se orientan de acuerdo a las líneas de fuerza del campo. Al aplicarles un estímulo de radiofrecuencia se mueven cambiando de orientación. A este proceso se llama resonancia. Cuando cesa el estímulo de radiofrecuencia, dichos núcleos liberan energía y vuelven a su situación inicial. Este proceso se conoce como relajación. Esta relajación se mide en tiempos T1 y T2, factores que van a influir en la formación de la imagen.

Las diferencias de densidad nuclear (del hidrógeno) en los tejidos y los tiempos de relajación distintos, determinan la intensidad de la señal.

La excitación de los núcleos de la zona o región seleccionada, se efectúa variando ligeramente el campo magnético en dos planos al mismo tiempo. De este modo, sólo el área seleccionada estará en resonancia.

Así pues se pueden obtener tres informaciones de cada voxel o volumen de tejido estudiado: La densidad de protones que han entrado en resonancia (DP) o densidad de espines (DS), y los dos parámetros ligados a la estructura y la movilidad molecular (T1 y T2).

PARÁMETROS UTILIZADOS EN RM

A) **Intrínsecos:** Son inherentes al tejido que se estudia, por lo que no se tiene control sobre ellos. Estos parámetros son: La densidad protónica (DP) (número de protones en el volumen de la imagen), el tiempo de relajación en T1 (tiempo que tardan los protones en liberar el exceso de energía) y el tiempo de relajación en T2 (tiempo que tardan los protones en desfasarse)

La grasa tiene un T1 corto, le cuesta poco liberar la energía. En cambio el agua tiene un tiempo de relajación en T1 largo, le cuesta liberar la energía. La grasa tiene un T2 corto, es decir se desfasa rápido. En cambio el agua lo tiene largo, se desfasa lentamente.

B) **Extrínsecos.-.** Sirven para potenciar las diferencias de composición de los tejidos que van a determinar diferencias en los T1 y T2 de los mismos. Son seleccionados por el operador, y son: **TR o tiempo de repetición:** es el tiempo entre un pulso de radiofrecuencia y el siguiente. **Tiempo de eco (TE):** es el tiempo que transcurre entre un pulso de radiofrecuencia y la obtención de un eco.

Angulo de basculación (FA o “flippel angle”): es el ángulo utilizado para hacer bascular el vector de magnetización longitudinal, y el **Tiempo de inversión T1 (TI).**

TÉCNICAS DE APLICACIÓN DE LAS ONDAS DE RADIOFRECUENCIA

La más utilizada es la **SE o secuencia spin eco.** En ella se utilizan dos pulsos de radiofrecuencia, uno a 90 grados para hacer bascular el vector de magnetización longitudinal al plano transversal, y el otro de 180 grados, para refocalizar los espines desfasados y recuperar de nuevo la magnetización longitudinal.

Secuencia Eco Gradiente (EG): Se diferencia de la anterior en que en lugar de un pulso de 90 grados, utiliza un ángulo de basculación menor de 90 grados y en lugar de un pulso de 180 grados, se emplea un gradiente bipolar, que son dos gradientes de igual magnitud pero de signos opuestos.

Secuencia en turbo spin eco (TSE) o spin eco rápida: Utiliza por cada TR un pulso de 90 grados seguido de varios pulsos de 180 grados. Así se obtienen varios ecos por cada aplicación de un TR. Se utiliza para sustituir la secuencia spin eco T2 clásica que es muy larga. Tiene la ventaja de que da menos inhomogeneidades, pero mantiene la grasa con alta señal, brillante en T2.

Secuencia de supresión grasa: secuencias STRI y secuencias FAT SAT.

En la **STRI (short time inversión recovery)** se suprime la grasa mediante la aplicación de un pulso inversor de 180 grados, que invierte la magnetización longitudinal antes de que actúe el pulso de 90 grados y de 180 grados. El pulso inversor es de 120 a 150 mseg y anula o satura la grasa.

La técnica **FAT SAT o SPIR (spectral presaturation with inversión recovery)** se usa con cualquier tipo de secuencia (SE, Eco gradiente o secuencia SE rápida ponderada en T1 o T2) y consiste en la aplicación de un pulso previo de inversión, pero de banda estrecha, que sólo suprime la grasa, quedando el agua sin alterarse. Tienen el inconveniente de que las imágenes son de peor calidad que las secuencias SE convencionales. La secuencia STIR tiene peor calidad que la SPIR, y la secuencia FAT SAT se puede mejorar adicionalmente la calidad de la imagen señal-ruido, mediante el uso de gadolinio.

CONSIDERACIONES SOBRE SEGURIDAD OPERATIVA

Cientos de miles de exploraciones de RM avalan su bien fundamentada reputación de inocuidad. A pesar de todo, existen riesgos sanitarios, virtuales y reales, asociados al entorno que se crea con la técnica.

En 1981 Buldinger señaló tres fuentes de potenciales efectos peligrosos con RM:

1. Los campos magnéticos estáticos
2. Los campos magnéticos variables en el tiempo.
3. El calentamiento por la radiofrecuencia.

La experiencia clínica demuestra que el principal riesgo para la salud deriva de la interacción del campo magnético principal con los materiales ferromagnéticos. Para garantizar la inocuidad, la Food and Drug Administration (FDA) estableció en 1982 unas pautas recomendadas para garantizar la inocuidad.

CONTRAINDICACIONES ABSOLUTAS

Marcapasos cardíacos, cables marcapasos epicárdicos, desfibriladores de cardioversión, neuroestimuladores, implantes cocleares, estimuladores del crecimiento óseo, bombas de irrigación interna y cualquier otro sistema biomecánico implantado y controlado o activado eléctrica, magnética o mecánicamente.

También está contraindicada en algunos pacientes con grapas de aneurisma intracraneal o cuerpos extraños en el ojo.

BIOEFECTOS DE LA RMN

Campos magnéticos estáticos:

Han demostrado in vitro afectar a algunas reacciones químicas y provocar algunas reacciones en el ECG, como alteraciones en la amplitud de la onda T. Sin embargo parece ser que campos magnéticos estáticos por debajo de 2 tesla (los que se usan en las imágenes de RM), pueden considerarse inocuos.

Campos magnéticos variables en el tiempo:

Dentro del husillo del imán hay una segunda batería de electroimanes de resistencia más pequeños (bobinas de gradiente), que generan los campos magnéticos de gradiente momentáneos utilizados para la localización espacial. Estos campos magnéticos, pueden inducir corrientes eléctricas en el paciente, que si bien no parecen producir alteraciones especiales en los tejidos sensibles (nervios, músculos, corazón, vasos sanguíneos) sí podrían calentar artificios metálicos implantados como grapas quirúrgicas o prótesis, por lo que éstos pacientes requieren una vigilancia adicional.

Campos electromagnéticos de radiofrecuencia RF:

El principal efecto es el calentamiento térmico. El efecto térmico provocado es proporcional al cuadrado de la frecuencia, depende también del tipo de impulsos de RF, su anchura, el tiempo de repetición TR, la duración de la exposición, el tipo de bobina de RF, el peso del paciente, el tipo de tejido registrado y las condiciones ambientales.

Algunos tejidos como el testículo y el ojo, y cierto tipo de pacientes, como el recién nacido y aquellos que presentan vasculopatías periféricas o diabetes, podrían teóricamente ser más susceptibles.

MOVIMIENTO DE METALES FERROMAGNÉTICOS

Los metales hierro, cobalto y níquel, y sus diversas aleaciones (bolígrafos, horquillas metálicas, monedas, llaves) pueden ser lanzados o desplazados con fuerza si se colocan dentro del campo de la bobina de RM. A una distancia de 2,5 a 3 metros, la fuerza de atracción de un imán de 1.5 tesla, puede ser suficiente para arrastrar una silla de ruedas. A 1 metro, una bala de oxígeno podría ser atraída hacia el imán, por lo que está prohibida la introducción de objetos metálicos en la sala del imán.

Aquellas grapas quirúrgicas que no estén fijadas a estructuras vitales, aunque no contraindican la realización de la exploración, pueden dar artefactos en la imagen.

Otros tipos de implantes metálicos no electromagnéticos, como las prótesis dentales, los tubos de conexión de derivaciones vasculares y los anillos, filtros y constrictores intravasculares, no suelen constituir problemas.

Los implantes cocleares constan de un micrófono externo y un procesador de señal acoplado a través de la piel a un estimulador del nervio interno, por medio de una bobina magnética de amplificación, por lo que estos pacientes están contraindicados en casos de exploraciones de RM, porque podrían experimentar sensaciones auditivas y térmicas falsas y distorsiones y deflexiones.

Algunos cosméticos como ciertas marcas de sombras y líneas para ojos contienen pigmentos metálicos y pueden provocar un calentamiento significativo, por lo que deben ser eliminados antes de la exploración. Algunas líneas de ojos están tatuadas con pigmentos de base metálica, lo que podría dar hinchazón y engrosamiento de los tejidos blandos perioculares.

MARCAPASOS CARDÍACO

Tienen un conmutador filiforme que puede ser activado por un generador externo. Aparte de las alteraciones en el ritmo cardíaco, estos dispositivos electrónicos pueden verse reprogramados o dañados por los impulsos de RF o por los campos magnéticos cambiantes de la RM. Además podrían inducir corrientes eléctricas en las guías del marcapaso que podrían enmascarar la actividad cardíaca e inhibir el trabajo del marcapasos. Además algunos marcapasos tienen elemento ferromagnéticos.

Hoy en día es prudente excluir a todo paciente portador de marcapasos con derivaciones epicárdicas de la realización de esta técnica.

Cuestiones similares limitan el empleo de la RM en todos los pacientes con casi todo tipo de dispositivo electromagnético, incluyendo los ENET (electroestimuladores transcutáneos), estimuladores del crecimiento óseo y bombas de goteo de fármacos.

PRÓTESIS VÁLVULARES CARDIACAS

Con excepción de la válvula de Starr-Edwards Pre-6000 implantada en los años 60, los pacientes con cualquier tipo de prótesis valvular cardíaca pueden ser sometidos a la RM con energías de hasta 1.5 tesla.

DISPOSITIVOS ORTOPÉDICOS

Muchos bioimplantes metálicos modernos pueden provocar artefactos en la imagen aunque no sean ferromagnéticos debido a la inducción de corrientes turbulentas por materiales conductores.

El calentamiento de las prótesis metálicas modernas(de hasta 25 grados), no supone contraindicación para la realización de la RM.

RUIDO ACUSTICO

El ruido es producido por la fuerza que induce la corriente rápidamente cambiante que impulsa las bobinas de gradiente en el campo magnético estático. La fuerza es transmitida a la unidad RM como una vibración que se manifiesta en forma de ruido, por lo que hay que advertir al enfermo de que oirá diversos ruidos, como golpes o vibraciones. Aunque suelen ser bien tolerados por la mayoría de las personas, se pueden poner tapones auditivos protectores.

GESTACIÓN

Aunque no se han comunicado efectos teratogénicos, su empleo en la gestación debería limitarse a situaciones de necesidad clínica.

PROYECTILES

Algunas balas y proyectiles de acero se desplazaron bajo un imán de 1.5 tesla, por lo que representan un riesgo de afectación de estructuras vitales si están en el cuerpo. Los perdigones y las postas de plomo no se desplazan, por lo que no son inconveniente para la realización de la RM.

CUESTIONARIOS

Antes de entrar en la sala de RM, el paciente debe cumplimentar un cuestionario completo de seguridad que será evaluado por personal especializado, para determinar si el paciente puede ser sometido a esta prueba.