



Diagnóstico y Terapéutica (DyT) por Imágenes

Fundamentos y Principios. Resonancia Magnética. Medios de contraste

Raúl Simonetto

Profesor Titular de la Cátedra de Diagnóstico y Terapéutica por Imágenes
Facultad de Ciencias Médicas. Universidad Nacional de La Plata

RESONANCIA MAGNETICA

El fenómeno de la resonancia magnética nuclear fue comunicado por Felix Bloch en la Universidad de Stanford y por Edward Purcell en la de Harvard, independientemente, en el año 1946. En 1981 comenzó a utilizarse este método en el diagnóstico médico.

La RM utiliza magnetismo y ondas de radiofrecuencia para obtener imágenes de los tejidos y órganos, mediante una computadora.

Todas las partículas de un átomo giran permanentemente. Este giro se denomina spin.

Un principio básico del electromagnetismo dice: toda carga eléctrica en movimiento produce un campo magnético, y viceversa.

Relacionando los últimos conceptos podemos deducir que las partículas atómicas con carga eléctrica, ya sea esta positiva o negativa, serán como pequeños campos magnéticos o imanes.

De las muchas partículas atómicas, la RM utiliza a los protones para formar las imágenes, y específicamente a los protones de los átomos de hidrógeno.

Recordamos que el hidrógeno es uno de los átomos más ampliamente distribuido en la mayoría de los tejidos, ya que forma parte tanto del agua como de la grasa.

Los protones de hidrógeno (P), son entonces y, a partir de ahora para nosotros, pequeños imanes, con sus correspondientes polos norte y sur, y su vector resultante orientado en cualquier sentido.

Cuando colocamos a un paciente dentro del gran magneto (imán) que forma a un equipo de RM, todos esos pequeños imanes que hasta el momento estaban orientados al azar, quedan alineados paralelamente en el mismo plano de ese "imán gigante", con un vector resultante orientado en el mismo sentido.

A continuación le enviamos a esos P ondas de radiofrecuencia que van a cargarlos de energía y a "torcerlos" del plano que tenían, quedando el vector resultante orientado ahora perpendicular al plano del campo magnético principal (el del "iman gigante").

Cuando deja de enviarse ondas de radiofrecuencia, los protones forzados a ubicarse transversalmente, se "relajan" volviendo a la posición inicial, paralelos al plano del campo magnético principal. En el

momento de "relajarse" liberan la energía con la que los habíamos cargado, en forma de calor y de ondas de radiofrecuencia, formándose con estas últimas las imágenes mediante una computadora.

En este proceso al que se somete a los tejidos y en consecuencia a los P, estos mostrarán distintos comportamientos si están formando parte del agua, de la grasa, de la sangre circulante, o de otras estructuras que forman al cuerpo humano. A estos comportamientos se los denomina parámetros tisulares, los cuales son inmodificables por nosotros. Con la RM solo podemos visualizar a los diversos parámetros tisulares, y en consecuencia caracterizar a los tejidos como grasos, acuosos, vasculares, etc.

Los parámetros tisulares son el T1, el T2, la Densidad Protónica y el Fenómeno de flujo.

Los más importantes o útiles en la práctica diaria son el T1 y el T2. En ellos el agua y la grasa se verán de la siguiente manera:

Sustancias o tejidos	Parámetros tisulares	
	T1	T2
Agua	Negra	Blanca
Grasa	Blanca	Gris

Tabla 1. Tonos (entre el blanco y el negro) de las sustancias principales que forman al organismo.

Los tejidos con alto contenido de agua (por ejemplo el edema) serán más negros en T1 y más blancos en T2.

Los tejidos con alto contenido de grasa (por ejemplo los lipomas) se verán más blancos en el T1 y más grises en el T2.

La sangre en los períodos subagudo y crónico temprano suele verse blanca (metahemoglobina) tanto en T1 como en T2, presentando un margen negro (hemosiderina) cuando es muy antigua (período crónico remoto).

Hay estructuras que siempre son negras tanto en T1 como en T2, es decir que no emiten señal, como el hueso compacto o cortical, las calcificaciones, los elementos metálicos, el aire, y el interior de los vasos con flujo, ya que los protones en movimiento de la sangre circulante "no se dejan" afectar por el proceso al que se someten los "fijos o quietos" (parámetro tisular denominado fenómeno de flujo).

Hay diversas técnicas para visualizar a los distintos parámetros tisulares, siendo la clásica denominada spin-eco, agregándose hoy en día cada vez más técnicas que permiten acortar el tiempo de estudio y aportar más datos diagnósticos (Fast spin-eco, Eco de gradiente, Supresión de la grasa, Angioresonancia magnética, etc).

Debido a que los magnetos de los equipos de RM de uso actual tienen campos magnéticos muy poderosos (0.5 a 3.0 Tesla), los cuales son comparativamente 10.000 a 60.000 veces superiores al campo magnético de la Tierra, es necesario conocer algunas medidas de bioseguridad, para evitar dañar no solo a los pacientes que se están estudiando, sino a cualquier persona que se acerque al imán.

Los campos magnéticos ejercen atracción sobre los objetos metálicos ferromagnéticos, siendo proporcional a su magnitud. Esto provocará en consecuencia el desplazamiento de las estructuras ferromagnéticas que no se encuentren lo suficientemente fijas, en su ubicación inicial. Por ejemplo,

no podrá realizarse una RM a un paciente con un clip metálico ferromagnético colocado en una arteria del polígono de Willis por un aneurisma tratado hace más de 20 años, ya que este será fuertemente atraído por el campo magnético del equipo y movido de su posición, con la consecuente y grave lesión tanto de los elementos vasculares como del tejido nervioso vecino.

Tampoco deberá realizarse una RM ante elementos metálicos no fijos en otras partes del organismo (esquirlas ferromagnéticas en el pulmón, el globo ocular, etc) por el movimiento brusco al que serán sometidos.

Con respecto a las prótesis metálicas, tornillos o plaquetas fijas a las estructuras óseas, la realización de una RM no provocará lesiones, sino simplemente un ligero incremento del calor local en los tejidos periféricos al objeto metálico.

Por otra parte, un campo magnético potente puede alterar el normal funcionamiento de aparatos electrónicos colocados cerca del mismo. Por ello no debe realizarse RM en pacientes en los cuales su organismo dependa de dispositivos electrónicos, como los marcapasos, las bombas de infusión, y los implantes cocleares.

La radiofrecuencia puede generar calor y descargas eléctricas en alambres colocados sobre o dentro del paciente, pudiendo provocar quemaduras, y en el caso del marcapasos arritmias cardíacas fatales.

Con respecto al embarazo, aún no existen los estudios suficientes como para asegurar la indemnidad del método sobre el embrión o el feto. Esto restringe el uso de la RM en embarazadas a situaciones que no puedan ser resueltas con otros métodos de imágenes, y en las que la RM vaya a permitir decidir entre diferentes alternativas terapéuticas.

Los recientes puntos tratados referentes a la bioseguridad, establecen las contraindicaciones para este método.

La RM comenzó utilizándose para el estudio del sistema nervioso central, siendo actualmente útil para muchos otros sectores del organismo, debido al gran contraste que obtiene entre los distintos tejidos, normales y patológicos; a la alta sensibilidad para detectar lesiones; a la posibilidad de realizar cortes en los distintos planos (axial, coronal, sagital y oblicuos) sin mover al paciente de su posición de decúbito dorsal; a la ausencia de radiaciones ionizantes; a la posibilidad de poder estudiar los elementos vasculares sin la inyección de contraste por ninguna vía, ya sea con imágenes bi o tridimensionales; y a la ausencia de artefactos de las estructuras óseas sobre los tejidos blandos vecinos.

Lo anterior permite obtener imágenes con excelente contraste, definición y resolución de:

- # sistema nervioso central (encéfalo y médula)
- # la órbita y las lesiones infiltrantes vecinas al cráneo que lo invaden
- # las neoplasias faríngeas
- # el mediastino, siendo a este nivel más sensible aún que la tomografía computada para detectar su invasión por tumores vecinos y la infiltración vascular
- # la pared torácica ante procesos neoplásicos o inflamatorios no resueltos con TC
- # sistema osteoarticular y musculoesquelético, especialmente de los cartílagos, ligamentos, otros tejidos blandos, y de las alteraciones del hueso esponjoso, ya que el hueso cortical no emite señal siendo negro en las imágenes. Los métodos de elección para estudiar el hueso compacto (cortical) son la radiología convencional y la tomografía computada.

- # la columna, donde es más sensible que la tomografía computada para la evaluación de las discopatías y de las lesiones intracanales o medulares.
- # la pelvis, especialmente en la estadificación de los tumores ginecológicos, y principalmente los uterinos, en sus estadíos más tempranos (en los estadíos avanzados de estos es preferible la tomografía computada).
- # el hígado, donde es actualmente el método más sensible para la detección y caracterización de las lesiones focales.
- # la vía biliar y el páncreas
- # el tracto urinario
- # el compromiso del sistema vascular, el cual puede evaluarse sin la inyección de material de contraste.

En algunos casos es necesario utilizar la administración intravenosa de contraste, especialmente ante la búsqueda de lesiones vascularizadas como las tumorales, primarias o secundarias, y las inflamatorias, infecciosas o no. El contraste es una sustancia paramagnética llamada gadolinio (Gd), el cual se inyecta por vía intravenosa durante la evaluación del T1, haciendo que las estructuras vascularizadas se vean más blancas ("reforzadas") que en la serie previa sin contraste.

MEDIOS DE CONTRASTE

Los medios de contraste son sustancias de diversos tipos, que administradas por distintas vías (oral, anal, intravenosa, intrarterial, etc), permiten distinguir a los diferentes órganos y resaltar sus patologías con los métodos radiológicos o de diagnóstico por imágenes.

Lo anterior es dificultoso sin su utilización, especialmente con Radiología Convencional (RAD), y con Tomografía Computada (TC) aunque en menor grado, ya que la mayoría de los órganos son isodensos (igual densidad radiológica).

No sería posible estudiar radiológicamente en forma confiable a la mucosa gástrica o a la pelvis renal sin la administración del medio de contraste adecuado.

Por otra parte no es necesario utilizar contrastes cuando el órgano de estudio tiene intrínsecamente alta resolución de contraste, como es el caso de las estructuras óseas.

En Ecografía no se utilizan habitualmente sustancias de contraste, sino que se indica la ingesta de líquido previa en los estudios pelvianos, para que la vejiga se encuentre llena de orina, y así poder tener una buena "ventana acústica" que nos permita estudiar con detalle a los órganos de esta región (útero, ovarios, próstata, y a la misma vejiga). La administración por vía I.V. de diversas sustancias en ecografía no se ha generalizado debido a que complejiza al método no habiéndose demostrado que supere a la TC o la Resonancia Magnética (RM).

En RM los tejidos presentan normalmente una buena resolución de contraste con las diversas técnicas utilizadas y en los distintos parámetros tisulares estudiados (T1, T2, Densidad Protónica).

De todos modos, en algunos casos las lesiones se delimitan con mayor precisión y en otros casos solo se observan, después de la administración intravenosa de contraste.

Describiremos los distintos tipos de Medios de Contraste, sus indicaciones, contraindicaciones y reacciones adversas.

Tipos de Medios de Contraste (MC)

Los MC son diversos. Presentamos aquí un listado de los de uso actual en Radiología y Diagnóstico por Imágenes, realizando posteriormente al análisis particular de los mismos.

- iodo
- gadolinio
- ferumóxido
- bario
- aire

Los MC son utilizados para un mejor estudio morfológico, y en algunos casos funcional por medio de los métodos de imágenes médicas.

Los Radioisótopos utilizados en Medicina Nuclear (MN) no deberían considerarse como contrastes sino como fármacos que permiten evaluar funcionalmente a distintos órganos y patologías, con poca resolución anatómica de los mismos (tiroides, riñones, huesos, etc).

iodo

Los MC iodados se utilizan tanto en RAD (angiografía, venografía, urografía, mielografía, etc) como en TC (por vía oral, anal, intratecal e intravenosa).

Estos son de dos tipos bien diferenciados, los iónicos y los no iónicos.

La diferencia fundamental entre ambos es la osmolaridad que presentan, y en consecuencia, la frecuencia de reacciones adversas.

Los MC iodados iónicos son hiperosmolares (su osmolaridad es aproximadamente 2 veces la del plasma sanguíneo) por lo cual incrementan el volumen vascular al administrarlos por vía intravenosa o intrarterial, con la consiguiente deshidratación celular.

Esto hace que deba ponerse gran atención en la hidratación previa de los pacientes, especialmente en ancianos, niños pequeños, y durante los meses de altas temperaturas ambientales, porque al administrar estos MC se incrementará la deshidratación, si la hubiera, presentándose aquí la mayoría de las reacciones adversas de estas sustancias.

Los MC iodados iónicos se utilizan para administración intravascular (aunque no con alta velocidad de inyección como es el caso de las bombas inyectoras automáticas), oral o anal, pero no pueden inyectarse por vía intratecal.

Con respecto a las reacciones adversas, deben diferenciarse en dos tipos, las relacionadas a la osmolaridad (más frecuentes) y las alérgicas. Las primeras serán evidentes ante la administración de MC iodados iónicos, mientras que las segundas pueden presentarse con cualquier MC iodado (iónico o no iónico) y los pacientes con antecedentes de asma serán más propensos a presentarlas.

Las reacciones adversas van desde náuseas, hasta shock anafiláctico y muerte.

Hay reacciones leves como náuseas, vómitos, mareos, máculas cutáneas, prurito.

Las reacciones moderadas incluyen pápulas cutáneas, hipotensión, dificultad respiratoria, broncoespasmo, y síndrome vaso-vagal.

Las reacciones graves incluyen al edema laríngeo, shock anafiláctico, paro cardio-respiratorio y muerte.

De todas las mencionadas las de presentación frecuente son las leves, con una muerte cada 200.000 estudios con administración intravascular de MC iodados iónicos. Esta cifra probablemente sea menor aún, debido a la mejor calidad que presentan hoy los medios de contraste, con notable disminución de la frecuencia de reacciones adversas, en general.

El tratamiento de las reacciones adversas se basa fundamentalmente en el mantenimiento de la vía aérea permeable, la hidratación del paciente, y el uso de drogas en algunos casos, como la adrenalina (shock anafiláctico), los antihistamínicos y los corticoides, aunque la utilización de estos dos últimos es discutida.

Ante las reacciones más frecuentes (náuseas, vómitos, hipotensión leve, máculas cutáneas), deberá controlarse clínicamente al paciente durante los 60 a 120 minutos posteriores a su aparición, en decúbito supino, con elevación de los miembros inferiores para aumentar el retorno venoso, hidratación con solución fisiológica por vía intravenosa, y administración de difenhidramina (2 ml.) y de hidrocortisona (100 mg.) por vía intravenosa, especialmente ante lesiones cutáneas y dificultad respiratoria.

También es discutido el uso de premedicación ante estudios con MC iodado. Se afirma que lo más útil es la administración de un corticoide de depósito 12 horas antes de la realización del mismo.

Es importante considerar que el paciente no debe ingerir alimentos 6 horas antes de un estudio radiológico con administración intravenosa de cualquier tipo de MC. Podrá ingerir líquidos en escasa cantidad, si fuera necesario, pero no dentro de la hora previa al estudio.

Los MC iodados no iónicos son isomolares (osmolaridad muy similar a la del plasma), por lo cual las reacciones adversas relacionadas a la osmolaridad casi no se presentan con ellos.

Pueden administrarse por vía intravascular, oral, anal, e intratecal (Mielorradiculografías y Mielotomografía Computada, hoy casi en desuso debido a la RM).

Sus reacciones adversas, en los raros casos en que ocurren, son leves, aunque debe tenerse presente que debido a que en la constitución de su molécula existe el yodo, tampoco deberá administrarse este tipo de MC en pacientes alérgicos al yodo.

GADOLINIO

Es un átomo de alto peso molecular, tóxico en su forma natural, que por intermedio de su unión (quelación) con otras sustancias, puede administrarse por vía intravenosa en los estudios de RM, cuando se sospecha patología neoplásica o inflamatoria.

Este MC hace que las estructuras vascularizadas (especialmente las neoplasias y las lesiones inflamatorias de cualquier origen) se vean más blancas en T1 y más gris oscuras en T2.

Debido a que visualmente es más fácil ver algo blanco sobre un fondo oscuro (T1) que lo contrario, este contraste se utiliza actualmente solo durante la realización de una secuencia T1.

Su contraindicación absoluta es la alergia manifiesta a esta sustancia, lo cual es sumamente infrecuente.

Sus reacciones adversas son del mismo tipo que las correspondientes a los MC iodados, aunque extremadamente inhabituales.

FERUMOXIDO

El ferumóxido u óxido de hierro es una sustancia utilizada en RM para detectar tejidos que presentan sistema retículo endotelial como las células de Kupffer del hígado. Se inyecta por vía I.V. después de haber evaluado al hígado con una secuencia que examina el parámetro tisular T2. Una vez transcurridos 30 minutos desde la administración del MC, se reexamina el hígado con secuencias que permitan evaluar el T2. Todos los tejidos con células que fagociten a las partículas de óxido de hierro se tornarán mucho más oscuros (casi negros por el hierro), como es el caso del hígado normal y la hiperplasia nodular focal (HNF), mientras que las restantes lesiones, no se modificarán y serán más fácilmente evidentes debido al oscurecimiento del resto del órgano donde asientan.

Estas propiedades hacen al ferumóxido útil para caracterizar las lesiones (confirman una HNF) y para destacar la visualización de las difícilmente evidentes como pequeñas y escasas metástasis (detección). Su principal desventaja es el elevado costo de este material de contraste, que supera al

valor del estudio de RM en nuestro medio, por lo cual lo hace prácticamente inutilizable en la actualidad.

Tiene variados efectos adversos entre los que se destaca la presentación de mialgias especialmente dorsales. Está contraindicado en alérgicos al ferumóxido y en diabéticos, ya que se administra diluido en suero glucosado.

BARIO

El MC baritado se usa exclusivamente en el tubo digestivo, administrado ya sea por vía oral, por enema, o a través de una sonda nasogástrica o nasoentérica.

En general se utiliza junto con contraste aéreo para lograr el "doble contraste" que permite evaluar con detalle a la mucosa normal y sus alteraciones.

El aire se administra por separado (primero el bario y después el aire, o viceversa) para evitar en lo posible la formación de burbujas que pueden simular lesiones elevadas.

Nunca debe administrarse bario fuera del tubo digestivo.

Tampoco debe administrarse bario ante la sospecha de perforación del tubo digestivo.

Cabe consignarse que el MC baritado utilizado para realizar una Seriada esófago-gastro-duodenal, un Tránsito de intestino delgado, o un Colon por enema, produce un importante artefacto en Tomografía Computada que dificulta estudiar al abdomen a menos que se evacúe el contraste del colon por medio de enemas. Por lo anterior, ante la posibilidad de indicar una TC abdominal y un estudio baritado del tubo digestivo, debe procederse a realizar primero la TC abdominal y en segunda instancia el estudio baritado, para evitar los artefactos que demorarían a veces en varios días el estudio abdominal, situación especialmente preocupante cuando el paciente está internado.

AIRE

El aire se utiliza, como ya se mencionó, junto al bario en los estudios del tubo digestivo.

También se utilizaba en neumocistografías, neuromencefalografías, neumopelvigrafías y neumoretroperitoneos, hoy totalmente en desuso por tratarse de estudios cruentos, con riesgos de embolias gaseosas, y por haber sido reemplazadas por la Ecografía, la Tomografía Computada y la Resonancia Magnética.

Puede considerarse como MC aéreo al contenido en un tampón vaginal, colocado en un estudio de TC pelviana indicado para estadificar un tumor uterino, especialmente los de cuello, ya que en los cortes axiales es muy difícil distinguir entre el cuello uterino y la cúpula vaginal, ambas estructuras isodensas. De todas formas, recordamos aquí que el método de elección para la estadificación de los tumores uterinos, de no mediar contraindicaciones, es la RM.