

Fundamentos físicos

La **resonancia magnética (RMN)** es un fenómeno físico por el cual ciertas partículas como los electrones y los núcleos atómicos con un número impar de protones (Z) y/o de neutrones (N) pueden absorber selectivamente energía electromagnética de radiofrecuencia.

Se diferencian dos vertientes de aplicación a la RM:

- Técnicas de imagen (IRM)
- Técnicas de análisis espectrométrico (SRM)

En IRM pueden aprovecharse las propiedades magnéticas de los electrones (RME) de los núcleos (RMN), como el M-1 o el Na-23 (fase experimental). Por su abundancia y por su alta señal, el núcleo de H-1 es el que se utiliza rutinariamente en la clínica.

Cuando los núcleos bajo un campo magnético entran en RESONANCIA, absorben energía de radiofrecuencia en un proceso llamado de RELAJACIÓN. Durante este proceso de relajación se induce una señal eléctrica a una antena receptora que tratada convenientemente servirá para obtener la imagen tomográfica en IRM (técnicas de imagen) o para realizar el análisis espectrométrico en SRM.

Principio básicos

La generación de imágenes mediante RM proviene de la recogida de ondas de radiofrecuencia procedentes de la estimulación de la materia a la que se le ha magnetizado previamente mediante la acción de un campo magnético (B). Los núcleos (con los más abundantes son los de H en el organismo humano) son capaces de aceptar y emitir energía (resuenan) al ser sometidos a la acción de las ondas de RF, que cumplen la ley de LARMOR:

$$FP = cte B$$

Donde:

- FP: Frecuencia de precesión.
- Cte: Constante giromagnética propia de cada núcleo magnetizable.
- B: Intensidad del campo magnético principal.

Los componentes fundamentales de un tomógrafo por RM son:

- Imán**: Creador de un campo magnético.
- Antena Emisora**: De frecuencia.
- Antena receptora**: Donde se recoge la señal.
- Ordenador**: Sistema de representación de imagen o de análisis espectrométrico.

Para realizar la imagen tomográfica, el ordenador recogerá la señal que proviene de los distintos elementos de volúmenes (voxels) en el que se supone dividido el paciente (voxels) se define por matriz de adquisición y el espesor del corte.

Al colocar a un individuo bajo el campo magnético B_0 , en cada uno de los voxeles aparecen, derivando de los núcleos de H, propiedades magnéticas que se definen mediante lo que se define como MAGNETIZACIÓN DE VOXEL, ESTA MAGNETIZACIÓN es también una magnitud vectorial orientada en la dirección del campo magnético B_0 .

El valor de la magnetización del voxel depende de la intensidad de H que se encuentra en el voxel. En estas condiciones si sometemos el voxel a ondas electromagnéticas de (RF) y vamos variando la frecuencia determinada, el vector de magnetización se desvía de su posición inicial de equilibrio.

Diremos que se ha producido el fenómeno de RESONANCIA MAGNÉTICA DE LOS NÚCLEOS DE HIDROGENO, o bien, que los núcleos de H han entrado en resonancia con la emisión de radiofrecuencia.

El vector magnetización realiza un movimiento de giro sobre la dirección del campo magnético a la frecuencia de la radiación absorbida. A este movimiento del vector M se le denomina movimiento de mutación.

EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN que forma la magnetización con la posición inicial depende entre otros factores de la duración de la emisión.

La importancia del pulso se contrasta por el valor de ÁNGULO DE INCLINACIÓN que consigue. Se habla de un pulso de 90° , un pulso inversor de 180° o simplemente un PULSO DE ÁNGULO DE INCLINACIÓN.

Las imágenes de RM se obtiene enviando pulsos de diversos valores, separados a intervalos de tiempo adecuados, lo que constituye LAS SECUENCIAS DE PULSOS.

Después de enviar un pulso de ángulo de inclinación, los núcleos de H van a liberar el exceso energético que han absorbido de la (RF) mediante un proceso de RELAJACIÓN ENERGÉTICA.

Relajación energética

Durante esta relajación, la magnetización del voxel va a volver a su posición de equilibrio alineada con B. Esta variación de posición representa una variación magnética que induce sobre una ANTENA RECEPTORA una corriente eléctrica que servirá para realizar la imagen.

El campo magnético

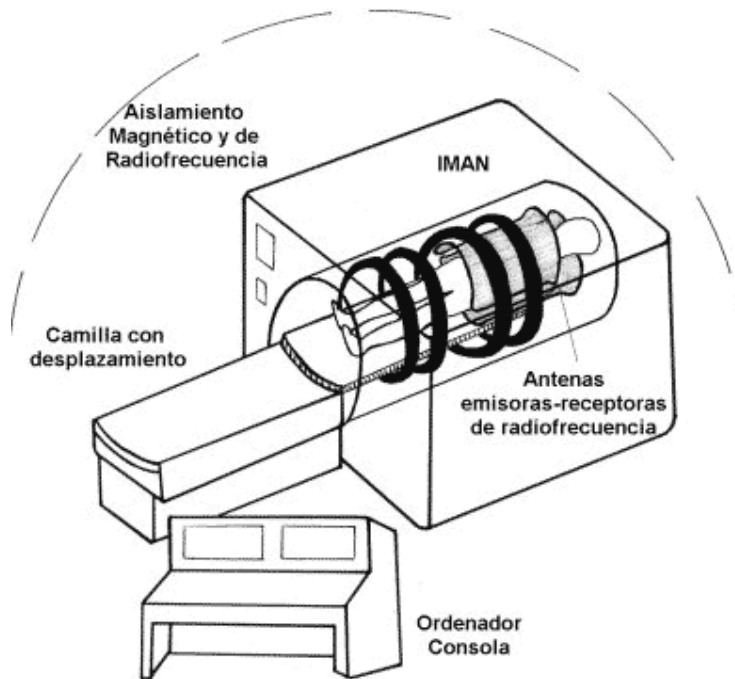
El campo magnético es una magnitud vectorial, en una RM este campo lo crea el IMÁN.

El campo magnético se expresa en unidades de inducción magnética, las utilizadas son:

- Tesla (T)
- Gauss

la equivalencia es $1T = 10.000 \text{ Gauss}$

Los aparatos de RM se enumeran como de bajo, medio o alto campo magnético, según el valor del campo magnético.



Tipos de imanes

- Electroimanes: crean el campo magnético mediante corriente eléctrica.
- Resistivos: están contruidos por bobinas por las que circula corriente eléctrica continua de alta intensidad.
- Superconductivos: se basan en la propiedad de ciertas aleaciones como el Titanio-Niobio, pierden su resistencia eléctrica al ser enfriados cercanas al cero absoluto.

La materia y sus propiedades

Al colocar un cuerpo en un campo magnético, se comporta de una forma particular de acuerdo con su configuración interna. Este comportamiento se cuantifica mediante SUBCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA (χ).

Si $\chi < 0$ los cuerpos se denominan DIAMAGNÉTICOS. En su interior el campo magnético es menor que el campo magnético al que esta sometido. Estos cuerpos en general no presentan movimientos al colocarlos en un campo magnético, o si a caso tenderían mínimamente a desplazarse hacia las regiones donde el campo magnético es menor.

Si $\chi > 0$ PARAMAGNÉTICOS. En su interior el campo magnético es superior que el campo al que esta sometido y tienden a desplazarse a zonas donde el campo magnético es mayor. Los quelatos de iones, como el gadolinio utilizados como contraste en IRM, aprovechan el paramagnetismo del ion gadolinio.

Aspectos técnicos en la obtención de imágenes con equipos RM

La calidad de las señales de resonancia emitidos por la materia dependen de varios parámetros fundamentales.

Los tiempos de relajación (T1 y T2), densidad de los núcleos resonantes y velocidad de flujo de materia estudiada, los tiempos de relajación (T1 y T2), son fundamentalmente tiempos que miden la rapidez o lentitud de como se recuperan los núcleos resonantes al ser sometidos o perturbados por las ondas de radiofrecuencia adecuados. Los tiempos de relajación de los protones (o de cualquier núcleo resonante) son completamente dependientes del resto de los átomos que los rodean, ya que estos modifican sus características de movimiento físico en relación con su entorno midiéndose mediante el T1 o TIEMPO DE RELAJACIÓN LONGITUDINAL o el T2 o TIEMPO DE RELAJACIÓN TRANSVERSAL.

Para obtener imágenes adecuadas se requieren equipos de media o alta intensidad de campo magnético (mas de 0,3 T) los mas utilizados son los de 0,5 T o 1,5 T. En estudios convencionales las secuencias de pulso habituales son los Spin-eco (SE) obteniéndose dos tipos de imágenes principales:

- Corto tiempo de repetición TR
- T1
- Corto tiempo de eco
(imágenes que son de mayor calidad anatómica)

Los tres parámetros fundamentales en RMI

DENSIDAD PROTÓNICA

- Densidad de spines
- Densidad de Hidrógeno

RELAJACIÓN T1

- Relajación spin-malla
- Relajación longitudinal

RELAJACIÓN T2

- Relajación spin-spin
- Relajación transversal

DENSIDAD PROTÓNICA

BLANCO (MAYOR)

- Agua
- Grasa
- H. medular
- LCR
- Sustancia gris
- Sustancia blanca

- Músculo
 - Ligamentos, tendones
 - Hueso cortical
 - Aire
- NEGRO(MENOR)

T1

BLANCO T1(MENOR)

- Grasa
- H.medular
- Sust. blanca
- Sust. gris
- Músculo
- LCR
- Agua
- Ligamentos, tendones
- Aire
- H.cortical

NEGRO T1(MAYOR)

T2

BLANCO T2 (MAYOR)

- Agua
- LCR
- Grasa
- H. medular
- Sust. gris
- Sust. blanca
- Músculo
- Ligamentos, tendones
- H. Cortical
- Aire

NEGRO T2 (MENOR)

largo tiempo de repetición

T2

largo tiempo de eco

Menor detalle anatómico, requieren mas tiempo en su obtención pero en términos generales son de mayor sensibilidad en la detención de patología. En ultimo termino es la comparación de las imágenes en ambas secuencias T1 y T2 los que proporcionan la información de la lesión.



imagen en T1

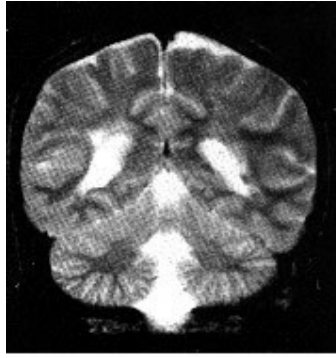


imagen en T2

Existe una secuencia intermedia DENSIDAD PROTÓNICA que fundamentalmente lo que detecta es la calidad de protones. A esta frecuencia estándar (SE), ampliamente utilizada se le añaden otros dependiendo del órgano o de la patología que se quiere detectar.

Señales de tejidos y órganos

	BLANCO	GRIS	NEGRO
T1	GRASA HEMORR. SUBAGUDA CONTRASTE MAGNET SUBSTANCIA BLANCA	SUSTANCIA GRIS HIGADO. BAZO PANCREAS RIÑON MÚSCULOS LESIONES CON AGUA	LCR ORINA QUISTES TENDONES VASOS AIRE FIBROSIS
T2	LCR ORINA QUISTES TUMORES RIÑÓN. BAZO AGUA LIBRE	SUSTANCIA GRIS GRASA	SUSTANCIA BLANCA PÁNCREAS. HÍGADO MÚSCULO HUESO CORTICAL TENDONES AIRE VASOS

Medios de contraste en Resonancia Magnética

El objetivo del uso de cte. en el estudio con RM es:

- Aumentar la sensibilidad y la especificidad en la detección de patología.
- Diferenciar zonas anatómicas normales que pudieran simular patología.

En RM las constantes han de tener propiedades magnéticas, es decir, que modifiquen las señales de resonancia de las estructuras que las rodean al ser sometidas a los fenómenos de campos magnéticos y RF. Estas señales pueden ser por aumento o por defecto. Los contrastes utilizados habitualmente son los PARAMAGNÉTICOS.

Pueden administrarse por dos vías:

- Por vía oral se suelen utilizar para rellenar el tubo digestivo (técnica prácticamente en desuso).
- Por vía intravenosa aunque se empieza a utilizar la vía linfática.

El principal contraste paramagnético utilizado es el gadolinio (diétilm-triamino-pentacético) Gd-DTPA, que tiene la propiedad de acortar el tiempo de relajación T1 de las sustancias a donde accede realizando su señal.

VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA IRM

La IRM tiene ventajas significativas sobre los restantes sistemas de diagnóstico por imagen empleadas en la actualidad:

Mejor resolución de bajo contraste.

No utiliza radiaciones ionizantes.

Imagen multiplanares directas.

Sin artefactos derivados al aire o a los huesos.

Medidas de flujos directas.

La IRM no se basa en un solo parámetro como el coeficiente de atenuación de rayos X, sino en tres parámetros independientes T1, T2 y densidad spin o densidad protónica (DS o DP), además de varios parámetros secundarios.

Los parámetros de IRM varían considerablemente de un tejido a otro. Mientras que el coeficiente de absorción de rayos X solo varía en 1% entre distintos tejidos, la densidad de spin y el tiempo de relajación T1 de los mismos tejidos difieren un 20-30%.

El tiempo de relajación T2 difiere en un 40% para los mismo tejidos. Esas diferencias intrínsecas en los parámetros de IRM son los responsables DE SU EXCELENTE RESOLUCIÓN DE BAJO CONTRASTE, que constituye la principal ventaja de la técnica.

LA IRM NO EMPLEA RADIACIONES IONIZANTES

La imagen se obtienen mediante campos magnéticos de radiofrecuencia, con lo que se evitan incluso pequeños riesgos que acompañan a las dosis bajas de radiación administradas en TC o en los exámenes convencionales de Rx.

La región anatómica a explorar no está delimitada por el tamaño, de la grúa, como sucede en la TC, sino que puede ser controlada electrónicamente, ello permite obtener planos transversales, además de planos coronales, sagitales y oblicuos.

Se pueden obtener imágenes volumétricas sin modificar la posición del paciente, esa capacidad para obtener vistas en múltiples planos, recibe el nombre de imágenes multiplicas, que es otra de las ventajas claras de las IRM.

La IRM ofrece otras ventajas significativas, no existen artefactos derivados

del aire o de los huesos, como sucede en la TC. El flujo de la sangre puede ser visualizado y cuantificado.

PROCESADOR DE IMÁGENES

Para procesar las imágenes de RMN, la señal medida en la bobina es almacenada en función del tiempo y convertida, mediante las transformadas de Fournier y un procesador vectorial, en función de su frecuencia. Tras determinar la intensidad relativa de cada píxel de un plano tomográfico, según una escala de grises, se forman las imágenes y se representan en el monitor digital. Estas imágenes se almacenan en el disco duro del ordenador, pudiendo fotografiarse desde la pantalla (impresión en placa) y/o guardar en soporte magnético o disco óptico para posteriores manipulaciones.

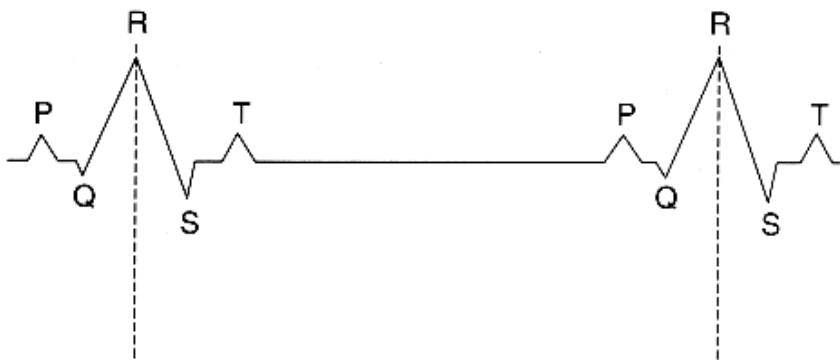
ARTEFACTOS

En la RMN, como en todos los sistemas de producción de imágenes, se pueden generar artefactos que deterioran o alteran la imagen.

Artefactos de movimiento

El movimiento es uno de los problemas para las imágenes de RMN, ya que el estudio con esta técnica es largo. Los movimientos pueden ser voluntarios o involuntarios y éstos, a su vez, rítmicos (cardíacos, pulso, respiración) o no rítmicos (movimiento intestinal). Pueden ser mitigados por control del propio paciente o por mecanismos de sincronización. Los artefactos, generados por movimiento aparecen en la dirección de codificación de fase.

La forma de disminuir los artefactos de movimientos cardiorespiratorios es mediante técnicas de sincronismo, obteniendo los datos siempre en el mismo momento del ciclo respiratorio y/o cardíaco. Con el sincronismo cardíaco se utilizan técnicas de SE y EG asociadas a la monitorización del ECG, acoplando las secuencias de pulso a los espacios entre los complejos QRS. Colocamos los electrodos sobre el paciente en la forma que indica la ilustración siguiente, obteniendo el trazado ECG.



Cardiac triggering diagram.

El Sincronismo, como es obvio, depende de las pulsaciones o latidos cardíacos. Esta información hay que dársela al ordenador.

Para disminuir el movimiento de peristaltismo intestinal pueden administrarse fármacos inhibidores de la motilidad, como los anticolinérgicos.

Para disminuir el movimiento respiratorio se pueden realizar estudios en apnea con técnicas RMN rápidas o estudios con sincronización respiratoria.

En los artefactos por movimiento de flujo de estructuras vasculares, se pueden cambiar la dirección de preparación para cambiar la zona hacia la que se produce el artefacto.

Artefactos de desplazamiento químico

Se deben a la pequeña diferencia de frecuencia de precesión del hidrógeno ligado al agua o a la grasa. Aparece como una banda hiperintensa y otra hipointensa en las interfases agua-grasa.

Como es un artefacto relacionado con la frecuencia de precesión, se produce en la dirección de codificación de frecuencia.

Estos artefactos aumentan con los campos magnéticos intensos, técnicas de

EG y técnicas muy potenciadas en T2.
Se disminuirá modificando la intensidad del gradiente o anchura de la banda.

Artefactos por envolvimiento

Este artefacto (wrap around o back folding) consiste en la superposición de un extremo de la zona estudiada en el extremo opuesto.

Esto sucede cuando el diámetro del objeto estudiado es mayor que el campo utilizado (FOV), al obtenerse información redundante externa. Se produce en la dirección de codificación de fase. Para evitar este artefacto aumentamos el FOV, modificamos la codificación de fase, y/o impedimos que las señales de los objetos externos al área que vamos a estudiar lleguen a la bobina (por ejemplo, colocando papel de aluminio alrededor de los brazos en estudios toracoabdominales).

Artefactos ferromagnéticos

Producen una distorsión espacial de la imagen y una pérdida de señal al modificar localmente el campo magnético. Pueden producirse por objetos metálicos externos o internos:

- Externos: Cinturones, botones, imperdibles, cremalleras, horquillas, cosméticos (pintura de ojos), etc. Se evitan haciendo que el paciente se desprenda de ellos y se desmaquille los ojos.
- Internos: Clips, suturas metálicas, prótesis, osteosíntesis, etc. Se disminuyen utilizando técnicas SE.

Artefactos de Gibbs

Aparecen como bandas de aumento y disminución de la intensidad de la señal, paralelas a las interfases entre tejidos de intensidades distintas (como la cortical ósea y la grasa pericraneal) situados en la dirección de fase. Esto es debido a un error en la lectura de la señal por adquirir un número insuficiente de datos. Se corrigen empleando más tiempo en la adquisición de la imagen.

ATENCIÓN AL PACIENTE

El estudio con RMN somete al paciente a tres efectos teóricamente perjudiciales: campo magnético intenso, gradientes rápidamente cambiantes (que inducen en el organismo campos eléctricos) y efecto calorífico de radiofrecuencia.

Los riesgos potenciales de la RM han sido estudiados en profundidad y, hasta el momento actual, no se han demostrado alteraciones biológicas perjudiciales. No se han observado cambios en la temperatura corporal interna, aunque la superficial a nivel de la piel puede aumentar hasta 3 °C.

Asimismo, las corrientes inducidas en objetos metálicos implantados (prótesis) pueden producir un efecto calórico local, aunque no ha sido demostrado efecto significativo alguno.

El campo magnético ejerce una fuerza de atracción sobre los objetos ferromagnéticos. El mayor riesgo viene dado por los objetos móviles en las proximidades del imán, los cuales pueden convertirse en proyectiles, sobre todo en campos magnéticos altos.

Las válvulas cardíacas no suelen ser ferromagnéticas y el campo magnético no tiene efecto sobre su funcionamiento.

CONTRAINDICACIONES

El estudio con RMN está contraindicado en pacientes con clips ferromagnéticos implantados en intervenciones por aneurismas cerebrales, puesto que pueden movilizarse.

Tampoco pueden ser sometidos a examen por RMN los pacientes que precisan un equipo de soporte ferromagnético para el mantenimiento de la vida. No se deben estudiar pacientes con marcapasos, ya que el campo magnético rápidamente cambiante podría inducir una corriente extraña en el conductor eléctrico.

Asimismo, no se debe emplear la RMN durante los tres primeros meses de embarazo.

PREPARACIÓN DEL PACIENTE

El objetivo de enfermería en el área de RMN es proporcionar cuidados a la persona que va a ser sometida a examen mediante esta técnica, partiendo de un concepto holístico del ser humano y entendiendo como cuidados las actuaciones y actividades encaminadas a identificar, ayudar a cubrir y satisfacer las necesidades tal y como las siente y manifiesta el paciente.

No se precisa preparación especial. El paciente puede tomar su medicación habitual. No necesita estar en ayunas, excepto si se trata de un examen pélvico o abdominal, en cuyo caso debe permanecer en ayunas durante las 4 a 6 horas anteriores al examen, para evitar el contenido intestinal.

Es conveniente que el paciente evacue antes del inicio de la exploración, ya que ésta puede ser larga.

El paciente debe sentirse psicológicamente lo más preparado posible. Puede que el aparato le resulte inquietante y el túnel donde ha de permanecer favorezca reacciones claustrofóbicas. Para aliviar estas posibles tensiones procedemos de la siguiente forma:

- 1 . Damos una información detallada y explicamos, de forma cuidadosa y comprensible, en que consiste el examen, asegurándonos de que entiende todo el proceso y respondiendo a cuantas dudas o preguntas pueda plantear.
- 2. Realizamos una breve encuesta para obtener sus datos personales, información sobre su estado general, si es portador de algún implante u objeto metálico, si ha sido sometido a cirugía, etc. A la vez hacemos una valoración encaminada a detectar las necesidades del paciente, si presenta signos de ansiedad, cuál va ser su colaboración según su

estado de ánimo, si tiene autonomía de movimientos y si necesita estar acompañado durante la exploración.

- 3. Una vez completada toda la información, planificamos los cuidados que va a necesitar, le acompañamos a la cabina en el área de preparación para que deposite todos los objetos o ropas que puedan ser ferromagnéticos. Se le acompaña a la sala donde se le va a practicar el estudio.
- 4. Introducimos al paciente en el imán, asegurándonos de que está lo más cómodo posible e indicándole que el túnel tiene comunicación directa y abierta con la sala de imágenes, por lo que siempre estamos en contacto audiovisual con él. Observamos al paciente durante la exploración y atendemos las posibles necesidades que pueda presentar.
- 5. Una vez finalizado el estudio, y con el paciente ya fuera del imán, le observamos al incorporarse, puesto que, al permanecer mucho tiempo acostado, puede presentar una hipotensión postural. Por último, le acompañamos a la zona donde ha dejado sus pertenencias, indicándole que su médico recibirá un informe con los resultados.