

¿CÓMO FUNCIONA?

Imágenes de resonancia magnética nuclear

Emma Díez

Profesora de Secundaria. I.E.S. Almenara, Vélez-Málaga. emmadiiez@yahoo.es.

43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56

La resonancia magnética (RM) es una técnica de diagnóstico por imagen. Esta definición la engloba dentro de un conjunto de técnicas médicas cuyo objetivo es facilitar un diagnóstico mediante una "visualización" del interior del cuerpo. Dentro de estas técnicas se encuentran la ecografía, la tomografía axial computerizada (TAC, popularmente conocida como escáner) y los archifamosos rayos X (Rx). Todas ellas forman imágenes del interior de nuestro cuerpo, si bien es cierto que hace falta un ojo entrenado para leerlas, ya que en la mayoría de los casos para ojos profanos no pasan de ser un cúmulo de manchas.

Aunque las imágenes finales puedan resultar muy similares, en realidad son muy distintas tanto en lo que muestran como en el método seguido para obtenerlas. Las que presentan mayores similitudes son los Rx y TAC que se basan en el coeficiente de atenuación de los rayos X. Al bombardear un cuerpo con fotones de alta intensidad, estos son capaces de atravesar la materia "blanda" o poco densa (pulmones, intestinos, músculos...) quedando retenidos por la materia "dura" o densa (fundamentalmente los huesos). Los fotones que consiguen atravesar nuestro cuerpo impresionan una película fotográfica, creando una imagen que en realidad no es más que una sombra ya que donde se «ve» un hueso es en realidad una zona que no pudo ser alcanzada por los fotones.

El fundamento del TAC es similar pero mucho más avanzado ya que potentes ordenadores son capaces de procesar las imágenes para reconstruirlas formando cortes axiales (es decir, estando de pie, un plano que nos corte paralelo al suelo, dividiéndonos en arriba y abajo). La superposición de múltiples cortes consecutivos puede formar imágenes en 3D.

Los Rx y su evolución el TAC tienen gran importancia en el diagnóstico médico. Sin embargo presentan dos grandes inconvenientes: 1) La aplicación continuada de Rx es peligrosa para la salud. De ahí las medidas de seguridad que adoptan los profesionales. 2) Con esta técnica las partes blandas no forman imágenes claras. Quedaban así sin poder verse órganos como tendones, ligamentos o el cerebro por citar tres ejemplos.

La resonancia magnética es un método de diagnóstico por imagen no radiológico, es decir no necesita proyectar radiación de ningún tipo contra el objeto de estudio lo cual la hace inocua. Desde su introducción en medicina en 1976, ha resultado ser de extraordinaria utilidad en los estudios del sistema nervioso central, aparato locomotor y otros órganos blandos que no eran visualizados por métodos radiológicos, convirtiéndose rápidamente en la reina de todos los sistemas de diagnóstico por imagen. El fenómeno de la RM fue descubierto en 1946 por Félix Bloch y Edgard Purcell, quienes recibieron el premio Nobel en 1952 por este hallazgo. La primera imagen del organismo obtenida por RM (IRM) fue la de un dedo, a principios de los 70. En 1977 se obtuvo la primera imagen de la cabeza y en 1978 la primera IRM del abdomen.

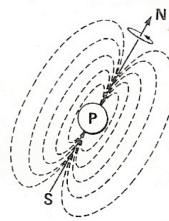
La IRM tiene ventajas significativas sobre los restantes sistemas de diagnóstico por imagen empleados en la actualidad: 1) No utiliza radiaciones ionizantes. La imagen se obtiene mediante campos magnéticos y radiofrecuencia, con lo que se evitan los pequeños riesgos que acompañan a las dosis bajas de radiación administradas en TAC y Rx convencionales. 2) Mejor resolución de bajo contraste. La IRM no se basa en un solo parámetro, como es el coeficiente de atenuación de los rayos X (μ), sino en tres parámetros independientes (T1, T2 y SD). Estos varían considerablemente (20-40%) entre tejidos diferentes, mientras que μ sólo varía un 1%. Estas diferencias son las responsables de su excelente resolución de bajo contraste que constituye su principal ventaja. 3) Imagen multiplanar. Se pueden obtener planos trasversales, coronarios, sagitales y oblicuos. Se pueden obtener imágenes volu-

métricas. Esta capacidad se denomina imagen multiplanar. 4) No presenta artefactos debidos al aire o a los huesos. 5) Las medidas de flujo son directas. Se puede visualizar y cuantificar directamente el flujo de sangre. 6) No resulta invasiva. Dado su excelente resolución de bajo contraste no es necesario utilizar medios de contraste.

Pero pasemos a responder la pregunta que muchos se han hecho: ¿cómo se hace una IRM? Los pasos fundamentales de un estudio de RM pueden describirse de una manera elemental: 1) se coloca al paciente dentro de un campo magnético; 2) se le envía una onda de radio; 3) se interrumpe la onda de radio; y 4) el paciente emite una señal que es recibida y utilizada para reconstruir la imagen.

Vayamos por partes, ¿por qué se coloca al paciente dentro de un campo magnético?

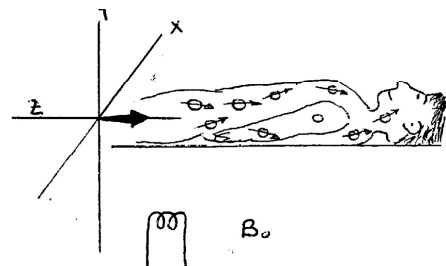
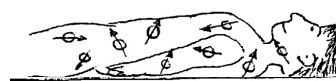
Las partículas subatómicas tienen propiedades inherentes. Protones y electrones tienen carga mientras que los neutrones no. Otra propiedad menos conocida que presentan dichas partículas es el espín (*spin*). Dicho de otra manera, se comportan como pequeños planetas girando alrededor de un eje. Del mismo modo que la carga de un átomo es la suma de todas sus cargas, el espín total será la suma de los espines de todas sus partículas subatómicas.



Imaginemos el átomo más sencillo: un protón. La carga del protón realiza un movimiento de spin con él ¿y qué es una carga eléctrica en movimiento? Es una corriente eléctrica. Y las cargas eléctricas producen campos magnéticos. Así pues, ese protón (y como él cualquier núcleo) cargado y girando produce a su alrededor un campo magnético.

En la mayor parte de los materiales, los momentos magnéticos están orientados al azar, anulándose unos a otros y dando como resultado un momento magnético total de cero. Pero, ¿qué ocurre cuando colocamos los átomos bajo un intenso campo magnético externo? Los momentos magnéticos se alinean en la dirección del campo magnético como pequeñas brújulas.

Cierto que se alinean en la misma dirección pero pueden estar en sentidos contrarios. Aunque, en realidad, hay más protones que se alinean en el sentido de las líneas de campo magnético externo porque este estado tiene menos energía (de la misma manera que nosotros podemos alinearnos con las líneas del campo gravitatorio andando sobre nuestras manos o nuestros pies, este último estado es más estable energéticamente). Queda así un remanente de protones que no anulan sus momentos magnéticos con sus opuestos. En estas condiciones el paciente se transforma en un imán.

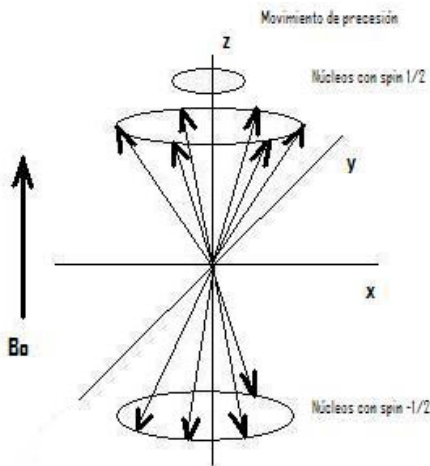


43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56

Pero los protones no giran con un movimiento limpio alrededor de un eje perfectamente alineado con el campo magnético externo, sino que al igual que una peonza sometida a un campo gravitatorio describen un giro de forma cónica. Los protones sometidos a un campo magnético describen el mismo giro, llamado precesión. La rapidez con la que «precesa» un núcleo se llama frecuencia de precesión y depende exclusivamente de la fuerza del campo magnético externo y del tipo de núcleo implicado. Esta relación queda definida por la ecuación de Larmor: $W = \gamma B_0$, con W la frecuencia de precesión en MHz, B_0 la fuerza del campo en teslas y γ la constante giro magnética.

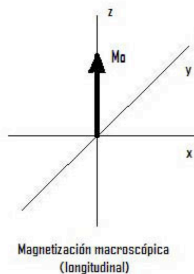
Estas propiedades del campo magnético pueden utilizarse para analizar muestras. Supongamos que colocamos una muestra de material desconocido en un campo magnético de valor conocido: Si obtenemos un valor de la frecuencia de precesión podemos calcular la constante giro magnética, dado que es específica para cada material, sabremos de qué material se trata. La fuerza de la señal nos indicará la cantidad de material de ese tipo que hay en la muestra.

Sin embargo, los núcleos precesan al azar, es decir, en un instante dado, existen núcleos orientados en cualquier dirección dentro de su giro de precesión. Fuerzas magnéticas orientadas en direcciones opuestas se cancelan unas a otras. Esto es así para todas las direcciones excepto para el eje Z (a lo largo del campo magnético externo). En la dirección Z los vectores suman sus fuerzas magnéticas dando como resultado final un vector magnético en la misma dirección que el campo externo.



En estas condiciones el paciente se transforma en un imán y este vector que emite se llama **magnetización longitudinal**. Este nuevo vector el que puede ser utilizado para obtener la señal, el problema es que mientras esté

paralelo a las líneas del campo magnético externo no podemos cuantificarlo. Parece que entonces no hemos conseguido nada, pero continuemos con el segundo paso: ondas de radio.

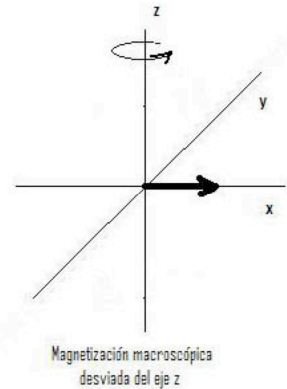
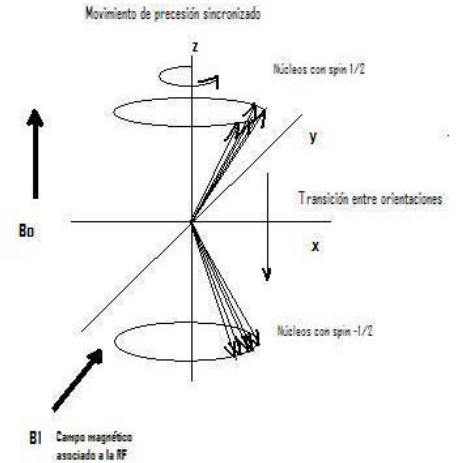


Para campos magnéticos de intensidad razonablemente elevada, la frecuencia de precesión de casi todos los núcleos de interés queda dentro de la banda de radiofrecuencia (RF). Si mandamos a un paciente «imantado» un pulso de radiofrecuencia (PRF) igual a la frecuencia de precesión del hidrógeno bajo ese campo magnético se producirá un fenómeno conocido

como **resonancia**. Se puede ilustrar con el uso de diapasones; si usted entra en una habitación con diapasones afinados en do, re, mi y toca un diapasón de frecuencia do, hará vibrar a todos los diapasones que estén en do y sólo a esos. Pues bien, los H^+ absorberán energía de esa radiofrecuencia y se pasarán a su estado de alta energía, es decir se colocarán en sentido opuesto al campo magnético externo («andarán sobre sus ma-

nos»), reduciéndose la magnetización longitudinal (recordamos que los momentos en sentidos opuestos se anulan). Pero, no sólo ocurre eso, sino que además los H^+ comenzarán a precesar en fase, por lo tanto ahora sus momentos magnéticos en las direcciones X e Y se suman en vez de anularse. Aparece entonces un vector de magnetización transversal.

Este nuevo vector de magnetización transversal, al ser la suma de los momentos de cada protón, precesa de la misma forma. Si miramos desde fuera se acerca nosotros para luego alejarse y después volver a acercarse. Este vector magnético en movimiento induce una corriente eléctrica que puede ser registrada por una antena. Cuanto mayor sea el vector, mejor será la imagen de RM obtenida. El valor del mismo depende de γ , B_0 y la densidad de spines (número de núcleos existentes).



Bien, ya tenemos una señal...pero, ¿de qué parte del cuerpo procede? El truco para acotar el vector de magnetización transversal a un plano estrecho del cuerpo consiste en no someter al paciente a un campo magnético homogéneo, ya que en ese caso todos los H^+ precesarían a la misma frecuencia y en consecuencia todos serían alterados por la misma RF. Si, en cambio, el paciente se somete a un gradiente de campo, cada tramo de su cuerpo tendrá los H^+ precesando a una frecuencia característica, dada por la ecuación de Larmor. Así, variando la RF obtenemos señales de distintos planos del cuerpo, tanto más finos cuanto mayor sea la graduación del B_0 .

El siguiente paso es cortar la radiofrecuencia, recordamos que mandamos pulsos de radiofrecuencia (PRF). Ahora los H^+ no tienen ninguna energía que les haga girar en fase y poco a poco vuelven a desfasarse, además de recuperar su estado de menor energía («andan sobre los pies»). Comienza a crecer la magnetización longitudinal a medida que decrece la transversal. La velocidad con la que se producen estos fenómenos (T1 y T2) es característica para tejido. El ordenador es capaz de dar un código de grises para cada intensidad de señal, marcando así cada uno de los tejidos.

Y así es, básicamente, como se forma una IMR.

Lecturas recomendadas para saber más:

- Bushong SC. Manual de radiología para técnicos. Mosby, 1993.
- Schild HH. IRM hecha fácil (...bueno, casi). Shring, 1992.