

Impacto de la imagen por resonancia magnética (IRM) en la práctica médica

DR. JOAQUÍN FERREIRÓS DOMÍNGUEZ.

Profesor Asociado de Radiología en la Universidad Complutense de Madrid, Jefe de Sección de Radiodiagnóstico en el Hospital Clínico de San Carlos.

La Fundación Nobel concedió recientemente el Premio Nobel del año 2003 en Fisiología / Medicina a Paul C. Lauterbur de la Universidad de Illinois y a Sir Peter Mansfield de la Universidad de Nottingham, «por sus descubrimientos en relación con la imagen por resonancia magnética» (IRM).



Paul Lauterbur



Peter Mansfield

BREVE HISTORIA DE LA IRM.

En el año 1946, y de forma independiente, Felix Bloch y Edward Purcell descubrieron el fenómeno de la resonancia magnética, lo que les valió la concesión del Premio Nobel de Física en 1952. Durante el período comprendido entre 1950 y 1970, la resonancia magnética nuclear fue desarrollada y utilizada como un procedimiento de análisis molecular químico y físico. En 1971, Raymond Damadian de-

mostró que los tiempos de relajación de resonancia magnética difieren entre los tejidos sanos y los tumorales, lo que motivó a los científicos a considerar la posibilidad de utilizar la resonancia magnética para la detección de enfermedad. En otro campo diferente de los avances tecnológicos aplicados a la medicina, Hounsfield introdujo en 1973 la tomografía axial computarizada (TAC), que emplea rayos X; el éxito de esta técnica fue inmediato, siéndole concedido a Hounsfield el Premio Nobel de Medicina en 1979. El éxito de la tomografía axial computarizada demostró que los hospitales estaban dispuestos a invertir grandes sumas de dinero en nuevos equipos de diagnóstico por imagen, lo que impulsó el desarrollo de la IRM. El mismo año en que Hounsfield introdujo la TAC, Paul Lauterbur obtuvo la primera imagen por resonancia magnética, utilizando una técnica de retroproyección similar a la de la TAC. En 1975, Richard Ernst propuso el procedimiento actual de obtener imágenes de IRM, utilizando gradientes de campo magnético en los tres ejes del espacio para efectuar codificación de frecuencia y de fase, utilizando la transformada de Fourier para obtener las imágenes de IRM; esta contribución de Ernst, unida a sus investigaciones sobre análisis espectroscópico por resonancia magnética nuclear, le valió el Premio Nobel de Química de 1991. En 1977, Peter Mansfield desarrolla la técnica ultra-rápida de IRM denominada eco-planar. En 1980, Edelstein consigue obtener imágenes de IRM del cuerpo humano utilizando el método propuesto por Ernst. A partir de 1980, la IRM se introduce paulatinamente en la clínica, hasta llegar a la situación actual, donde cada año se hacen más de sesenta millones de exploraciones por IRM en el mundo.

Durante los años setenta del siglo pasado, en que Lauterbur y Mansfield, así como otros científicos, desarrollaban la IRM, triunfaba la tomografía axial computarizada como el más moderno y eficaz procedimiento de diagnóstico por imagen; en 1975 se instalaba el primer TAC en España, y en 1978 había varios equipos de tercera generación en nuestro país, entre ellos uno en el Hospital Clínico de San Carlos. Además de la TAC, comenzaba entonces la utilización de la ecografía, además de los estudios convencionales con Rayos X y de la arteriografía con catéter, que ya estaban establecidos. A partir de la década de 1980 comenzó la paulatina implantación de la IRM en la práctica clínica

BASES DE LA IRM

El cuerpo humano está fundamentalmente compuesto de agua y grasa, de tal forma que los átomos de hidrógeno son el 63% del total de átomos del cuerpo humano, seguidos por el oxígeno (26%) y el carbono (9,4%). Los protones, neutrones y electrones, constituyentes de los átomos, poseen una propiedad denominada *spin*, que les otorga propiedades magnéticas. En los núcleos atómicos, la mayoría de los protones y neutrones están apareados, con lo que sus *spin* se cancelan, pero muchos elementos químicos tienen algún protón o neutrón no apareado, con lo que el núcleo atómico tiene un *spin* neto, lo que les confiere propiedades magnéticas. El núcleo de hidrógeno, en concreto su isótopo más abundante (H 1) que constituye el 63% de los átomos del cuerpo humano, tiene *spin*, por lo que se utiliza para IRM. Pueden usarse otros elementos químicos, como el fósforo 31, el sodio 23, el nitrógeno 14 o el flúor 19, pero en la IRM clínica se utiliza el hidrógeno por su abundancia en el cuerpo humano. El núcleo de hidrógeno (que consta de un protón) puede considerarse como un pequeño imán, que producirá una señal en IRM.

La IRM se basa en la absorción y emisión de energía, dentro del rango de radiofrecuencia del espectro de radiación electromagnética. La radiofrecuencia (en IRM se utilizan frecuencias entre 15 y 80 megaherzios) es una radiación no ionizante, inocua para el organismo según el conocimiento científico actual, a diferencia de los Rayos X que se utilizan en radiodiagnóstico convencional, TAC y angiografía, que son radiaciones ionizantes con efectos biológicos.

El proceso de obtención de imágenes de IRM puede resumirse así:

Se introduce el cuerpo humano dentro de un campo magnético externo, donde los núcleos de hidrogeno (protones) se orientan en el campo. Dicho campo magnético es entonces modificado de determinada manera con gradientes del campo magnético en los ejes X, Y y Z, mientras se irradia al paciente con fotones de radiofrecuencia sintonizados con la frecuencia de precesión de los protones (frecuencia que depende de la intensidad del campo magnético externo). Los protones absorben energía, que liberan posteriormente en forma de señal de radiofrecuencia, que se recoge con una antena; esa señal

se procesa en un ordenador para obtener las imágenes de IRM. Así pues, todo equipo de IRM consta de:

- Imán externo, ya sea un imán superconductor o permanente
- Gradientes de campo magnético
- Emisor de radiofrecuencia
- Antenas receptoras de radiofrecuencia
- Ordenador

IRM en la práctica médica

Los primeros equipos de IRM se instalaron durante la década de los 80 en nuestro país; en 1993 se instaló un equipo de última generación en el Hospital Clínico San Carlos, adquirido por la Universidad Complutense de Madrid, y actualmente prácticamente todos los hospitales cuentan con uno o dos equipos de IRM. Solamente en Madrid hay más de treinta equipos de IRM.

En una encuesta realizada en los Estados Unidos entre 225 internistas de reconocido prestigio se les hizo la siguiente pregunta: ¿Cuál de las siguientes 30 innovaciones, si no existiera, hubiera causado más daño a sus pacientes?. Entre las 30 innovaciones se encontraban los últimos avances en terapia farmacológica y en técnicas diagnósticas y terapéuticas; se les pidió que jerarquizaran dichos avances. Pues bien, el 75,6% puso en primer lugar a la imagen por TAC e IRM, seguido de los inhibidores de la ACE y antagonistas de la angiotensina II, y después la angioplastia con balón o *stents*.

Prácticamente todas las regiones del cuerpo humano se estudian actualmente con IRM (Tabla I).

TABLA 1. *Áreas anatómicas de aplicación clínica de la IRM*

Cabeza: sistema nervioso central, órbita, cara y cráneo
Cuello
Columna vertebral: médula espinal, meninges, columna ósea y discos intervertebrales
Tórax: especialmente cardiovascular
Abdomen: hígado, vías biliares, bazo, páncreas, aparato urinario, aparato genital, pelvis
Grandes articulaciones y extremidades

Entre las aplicaciones clínicas de la IR se cuentan aplicaciones morfológicas, funcionales y de análisis tisular. Entre las **aplicaciones morfológicas** están las siguientes: definición de anomalías congénitas, patología traumática, detección y extensión de tumores, enfermedades degenerativas, patología vascular, procesos inflamatorios, patología infecciosa. Entre las **aplicaciones funcionales** se cuentan los estudios de IRM funcional cerebral y los estudios cardíacos funcionales. Entre las **aplicaciones de análisis tisular** se cuentan la espectroscopia por RM, los estudios de desplazamiento químico, los estudios de perfusión y los de difusión (Tabla 2).

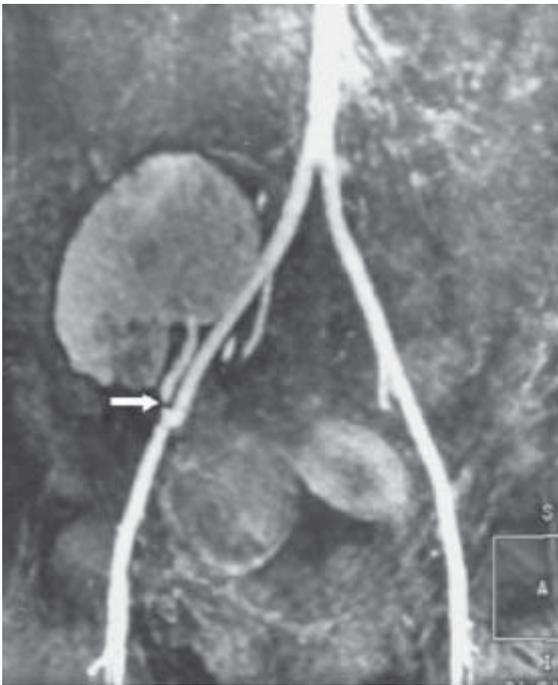


FIGURA 1A



FIGURA 1B

FIGURA 1: *Paciente joven con trasplante renal e hipertensión arterial. Se sospechaba clínicamente la presencia de una estenosis de la arteria del riñón transplantado.*
 A *Angiografía tridimensional por IRM, donde se observa la presencia de una severa estenosis de la arteria del riñón transplantado (flecha).*
 B *Arteriografía transcáteter, donde se comprueba la presencia de la estenosis (flecha), que se procedió a tratar mediante angioplastia transluminal percutánea, con éxito.*

A lo largo de la conferencia impartida en la Real Academia de Farmacia, les presento diversos ejemplos de las anteriores aplicaciones. Personalmente, con mis colaboradores del Hospital Clínico San Carlos, he contribuido al desarrollo de algunas de las aplicaciones clínicas de la IRM, entre ellas y a modo de ejemplo citaré la utilización de la angiografía tridimensional por IRM en la valoración de riñones transplantados, como técnica no invasiva alternativa a la angiografía con catéter (J. Ferreirós y colaboradores, *American Journal of Roentgenology* 1999); la siguiente figura es un ejemplo de la serie de pacientes incluida en este trabajo (Figura 1)

TABLA 2. *Desarrollo de la IRM*

1946	Bloch y Purcell: Fenómeno de la resonancia magnética
1952	Premio Nobel de Física a Bloch y Purcell
1950 a 1970	Desarrollo y aplicación de la resonancia magnética nuclear como herramienta de análisis molecular
1973	Tomografía axial computarizada
1973	Lauterbur: Primera imagen de IRM
1975	Ernst: IRM con transformada de Fourier
1977	Mansfield: técnica eco-planar de IRM
1980	Edelstein: demostración de IRM del cuerpo humano
1980 a 2003	Progresiva aplicación médica de la IRM
1991	Premio Nobel de Química a Ernst
1993	IRM funcional cerebral
2003	Premio Nobel de Fisiología/Medicina a Lauterbur y Mansfield

La IRM se ha establecido ya como un eficaz método de diagnóstico por imagen, siendo en muchos casos la principal herramienta diagnóstica, que ha desplazado a otros procedimientos en muchas indicaciones, sobre todo a la tomografía axial computarizada, pero también a otras técnicas radiológicas y ecográficas. Tiene importantes ventajas sobre otros procedimientos de imagen: no usa radiaciones ionizantes ni medios de contraste nefrotóxicos, tiene gran resolución espacial, temporal y tisular, capacidad tridimensional y puede hacer estudios funcionales. Entre sus desventajas está que no puede utilizarse en pacientes con marcapasos cardíacos, y que algunas personas no toleran la IRM debido a claustrofobia, aunque existen máquinas de IRM abiertas que obvian este inconveniente; otras desventajas son el alto coste económico y la limitada disponibilidad,

pero la tecnología se está abaratando y haciéndose más accesible al generalizarse la utilización de la IRM.

Anualmente se hacen en el mundo más de sesenta millones de estudios clínicos de IRM. A modo de ejemplo, en el Hospital Clínico de San Carlos hacemos diez mil estudios al año de IRM, con aplicaciones en todas las áreas del organismo humano. Se trata de una tecnología que se está desarrollando aceleradamente, cada vez con mayor resolución espacial, temporal y de contraste tisular, y con nuevas aplicaciones que aparecen continuamente. Es previsible que cada vez se hagan más estudios de IRM y que esta técnica vaya sustituyendo a otras que se utilizan en diagnóstico por imagen, particularmente las que emplean rayos X.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) YOUNG SW. (1988) Magnetic resonance imaging. Basic principles. Raven Press, New York.
- (2) SANZ M, SANZ P, COGOLLOS J. (1997) Resonancia magnética. En: Pedrosa CS y Casanova R, «Diagnóstico por Imagen, volumen I». Mc Graw Hill /Interamericana. Madrid: 97-122.
- (3) FERREIROS J, MENDEZ R, JORQUERA M, GALLEGRO J, LEZANA A, PRATS D, PEDROSA CS. (1999) Using gadolinium-enhanced three-dimensional MR angiography to assess arterial inflow stenosis after kidney transplantation. *AJR Am J Roentgenol*;172:751-757
- (4) FUCHS R. (2001) Physician's view of the relative importance of thirty medical innovations. *Health Affairs*. Sept-Oct.