

Resonancia magnética en pediatría

Rodrigo Parra R.¹, Cristian García B.¹

Resumen

La Resonancia Magnética (RM) se ha convertido en una herramienta diagnóstica valiosa en la práctica médica. Sus ventajas incluyen excelente definición anatómica, capacidad de efectuar cortes en múltiples planos, muy buen contraste de los tejidos blandos y el hecho de que no usa radiación ionizante ni medios de contraste yodados. Se revisa su historia, sus bases físicas y técnicas, sus ventajas y desventajas, sus aplicaciones médicas en el estudio de patología del SNC, tórax, abdomen y sistema musculoesquelético; su utilidad en la delimitación de procesos tumorales, infecciosos y necrosis avascular y las futuras áreas de desarrollo.

(**Palabras clave:** Resonancia magnética, pediatría).

Magnetic Resonance Imaging (MRI) in Paediatrics

MRI has become an important tool in modern medical diagnosis. Its main advantages include the excellent anatomical definition, its capacity to make cuts in different planes, and the excellent definition between different soft tissues and the fact that it does not use ionizing radiation or iodine based contrast medium. We review its history, the physical and technical aspects, and its advantages and disadvantages in clinical medicine. We discuss its application in the investigation of the CNS, chest, abdomen and muscle-skeletal structures, its usefulness in the delimitation of tumors, infections and avascular necrosis. Finally we discuss the future possible applications of MRI.

(**Key words:** MRI, paediatrics).

INTRODUCCIÓN

Desde su introducción a la práctica médica en 1979, la Resonancia Magnética (RM) se ha convertido en una herramienta diagnóstica muy valiosa en la práctica médica. Sus grandes ventajas incluyen especialmente, su excelente definición anatómica, la capacidad de efectuar cortes en múltiples planos, el excelente contraste de los tejidos blandos y el hecho de que no usa radiación ionizante ni requiere medio de contraste yodado.

En la actualidad, no se discute la utilidad de la RM en el diagnóstico de patologías del Sistema Nervioso Central o del Sistema Músculo-Esquelético, áreas donde más se ha difundido su uso desde sus comienzos. Por otro lado, el perfeccionamiento del método, con el desarrollo de equipos más potentes y de nuevas secuencias, especialmente de secuencias rápidas, además de técnicas para la disminución de artefactos determinados por los movimientos fisiológicos del organismo, como la respiración y el latido cardíaco, junto con las ventajas men-

1. Médico. Departamento de Radiología, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile.

cionadas, la ha llevado a tener un rol cada vez más importante en el estudio por imágenes de las patologías pediátricas.

Historia

Desde el año 1895, en que Conrad Roentgen descubrió los rayos X, las técnicas de imágenes han experimentado una evolución continua. Especialmente en los últimos años, con la utilización de la Resonancia Magnética, cuyas aplicaciones se encuentran aún en constante desarrollo. Sus inicios se remontan a los años veinte, cuando Pauli y Darwin introdujeron el concepto de "spin" y "momento magnético nuclear". Posteriormente Rabí logró medir el momento magnético nuclear el año 38 y Gorter el año 42, usa por primera vez el término "Resonancia Nuclear Magnética". Luego siguió un rápido desarrollo, a principio de los años 60 se comienza con experimentos en ratones. El año 75 se logra la primera sección transversal del dedo humano y las primeras tomografías axiales de encéfalo fueron publicadas los años 79 y 80 por Hawkes y Moore. Finalmente el año 1981 se instaló el primer prototipo de tomógrafo por RM en Londres¹.

Bases físicas y técnicas

La RM utiliza los átomos de Hidrógeno (H), abundantes en el organismo humano. El núcleo de H es una partícula con carga positiva, es móvil y como tal genera un campo magnético propio. La carga eléctrica positiva al estar adosada al protón, gira junto con éste, lo que genera una carga eléctrica en movimiento o corriente eléctrica.

A su vez, una corriente eléctrica induce y produce una fuerza magnética o campo magnético. Por lo tanto, donde hay una corriente eléctrica, hay también un campo magnético. Normalmente los protones están alineados al azar y cuando son expuestos a un fuerte campo magnético, se alinean sólo en dos direcciones, ya sea en forma paralela o antiparalela al campo magnético externo.

Durante el examen, el paciente es introducido en un fuerte campo magnético y sus núcleos se alinean respecto de este campo. A través de una antena emisora de energía y por medio de ondas de radiofrecuencia, los núcleos de H son excitados y entran en resonancia. Finalizada la emisión de

radiofrecuencia, la magnetización vuelve a su estado inicial mediante un proceso de liberación energética o relajación. Al relajarse los núcleos, éstos desprenden la energía absorbida. La relajación nuclear aportará información relacionada con el medio. Existe una relajación longitudinal o T1 y transversal o T2. Una antena recibe la energía liberada y esta información es procesada, a través de la cual se genera una imagen. De aquí el nombre de Resonancia Nuclear Magnética. Al comenzar el uso clínico de esta técnica, la palabra "Nuclear" acarreó muchos inconvenientes y una corriente de grupos opositores. Por este motivo, hoy en día se denomina sólo Resonancia Magnética para evitar malas interpretaciones.

Dependiendo si se usan secuencias ponderadas en T1 o T2, los tejidos presentarán una intensidad diferente. Es así como el agua libre aparecerá hipointensa (o más blanca) en T1 e hipointensa (o más negra) en T2; por otro lado, la grasa aparece hiperintensa en T1 y menos intensa en T2.

La potencia del campo magnético se mide en Unidades Tesla (T). Se han utilizado equipos desde 0,02 T hasta 4,0 T. En nuestro país actualmente disponemos de equipos que van desde 0,5 T hasta 1,5 T.

Los medios de contraste usados en RM no contienen Yodo y tienen un ion metálico con propiedades magnéticas. Permiten modificar los parámetros de relajación y mejorar la caracterización tisular. Son de uso endovenoso y el más utilizado es el Gadolinio. Los efectos adversos son extremadamente raros.

Dentro de las ventajas de la RM, destacan la posibilidad de efectuar cortes en cualquier orientación, el hecho de que no usa radiación ionizante, su gran sensibilidad a los cambios patológicos. Permite reemplazar a técnicas invasivas como mielografía, artrografía, colangiografía convencional. Puede efectuar estudios angiográficos con o sin medio de contraste y las estructuras óseas no interfieren en el examen. Puede además aportar información no sólo anatómica, sino también funcional, fisiológica y de perfusión.

Dentro de las desventajas de este método, destacan todas las dificultades que implica trabajar en un campo magnético, el mayor costo en la adquisición, instalación y mantención de los equipos, el gran número de artefactos, los tiempos de examen son aún largos, puede requerir sedación, las

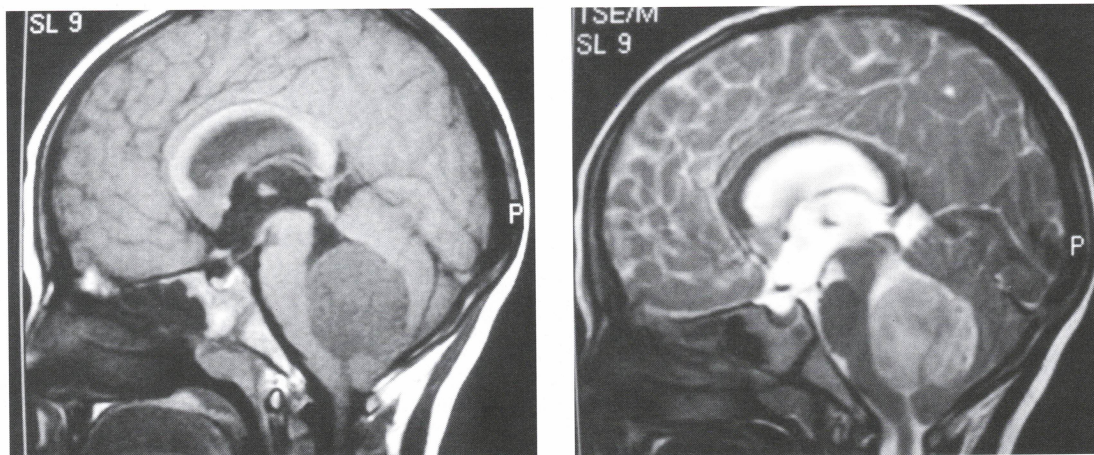


Figura 1. Tumor de fosa posterior en un niño de 3 años de edad. RM de cerebro con corte sagital a nivel de la línea media, con secuencias ponderadas en T1 (a) y T2 (b).



Figura 2. Angio - RM cerebral normal.

molestias relacionadas con el ruido del examen, la posible claustrofobia.

Por el hecho de trabajar en un fuerte campo magnético, dentro de las contraindicaciones absolutas para su uso se incluyen: la presencia de marcapasos, cuerpos extraños intraorbitarios, algunos expansores de mama, algunas prótesis de oído. Como contraindicaciones relativas se consideran

la presencia de clips vasculares, clips de vía biliar, grapas de sutura.

Aplicaciones médicas

Patologías del sistema nervioso central

Ya alrededor de 1985, la RM emergía como la técnica primaria para evaluación de las partes blandas espinales. Esto incluyó el reconocimiento de malformaciones de la unión craneocervical, como la malformación de Chiari I con mucho mayor frecuencia de la que era reconocida. La presencia de siringomielia e hidromielia, así como defectos como la diastematomielia pudieron ser fácilmente reconocidos por RM sin la necesidad de mielografía o radiación ionizante. Esto cambió la forma de estudio de las enfermedades de la columna vertebral pediátrica, debido a que es más precisa y menos invasiva, especialmente con respecto a la mielografía, la que nunca más se efectuó con la misma frecuencia.

Con posterioridad, la RM ha demostrado gran utilidad en el diagnóstico y caracterización de tumores cerebrales primarios (figura 1), malformaciones congénitas, malformaciones vasculares presentes en la infancia, como por ejemplo aquellas de la región de la vena de Galeno, y enfermedades cerebro-vasculares de la niñez (figura 2).

También juega un papel importante en la epilepsia infantil, dado que las imágenes de alta resolución han mejorado significativamente la detección de lesiones causales.

La capacidad multiplanar de la RM también ha permitido mejor definición de las displasias corticales y anomalías de la migración como causa de algunas enfermedades neurológicas en la población pediátrica³.

De particular importancia fue la emergencia de la espectroscopía. Es usada en la evaluación de trastornos metabólicos de la niñez y enfermedades neurodegenerativas. Otros usos de la espectroscopía incluyen la evaluación de heterotopías e infección por VIH en neonatos³⁻⁵. Por otro lado, estudios recientes han mostrado que la espectroscopía por RM puede mostrar sustanciales diferencias entre tres componentes: tumor, necrosis y cerebro normal. Caracterización adicional de estos compartimientos puede ser obtenida con imágenes hemodinámicas y RM ponderada en difusión. Es así como las imágenes espectroscópicas mejoran las imágenes de tumores cerebrales pediátricos porque delimitan tumor residual o recurrente más allá del tumor reforzado por el medio de contraste⁴.

Si bien la Tomografía Computada (TC) y la Ultrasonografía (US) mantienen sus indicaciones en situaciones clínicas específicas, claramente la RM emerge como líder en neuroimágenes pediátricas y parece poco probable que esto se altere en el futuro³.

Patologías del tórax

La emergencia de técnicas no invasivas de imagen para el diagnóstico definitivo y monitorización de las enfermedades cardiovasculares, ha modificado en gran forma el estudio por imágenes de las patologías cardíacas en los últimos 25 años. La práctica de imágenes cardíacas hasta 1975 se centraba en la radiografía convencional y la angiografía. Pero en las últimas dos décadas las técnicas no invasivas han remplazado a la cateterización y angiografía. En primer lugar fue el desarrollo de la Ecocardiografía, que ha sido fundamental en el diagnóstico no invasivo y seguimiento de las cardiopatías congénitas⁶. Sin embargo, presenta algunas limitaciones como el hecho de tener un pequeño campo de visión, una ventana acústica variable, la inhabilidad de penetrar aire y hueso y la dificultad en delinear estructuras vasculares extracardíacas en su totalidad⁷.

Si bien las cardiopatías congénitas han sido tratadas con razonable éxito desde mediados de los años setenta, su manejo ha mejorado por el mayor grado de defini-

ción de la anatomía, en el preoperatorio. Es por ello que la RM ha aumentado su aplicación en el diagnóstico de aspectos morfológicos y funcionales de las enfermedades cardíacas congénitas, especialmente en la última década⁶.

La capacidad multiplanar directa de la RM permite definición precisa de la compleja anatomía cardíaca y extracardíaca⁷ (figura 3) y así, permite determinar la morfología de las cámaras cardíacas y su localización, la relación entre ellas, así como también con las estructuras vasculares. Puede ser de extraordinaria utilidad para la evaluación morfológica de estructuras supracardíacas, estenosis pulmonar así como anomalías complejas de los ventrículos.

La RM es efectiva en el diagnóstico morfológico de coartación de la aorta, anomalías del arco aórtico con anillos vasculares, conexiones pulmonares arteriales, así como los vasos colaterales aorto-pulmonares, y venosas (pulmonares, hepáticas y sistémicas) y su relación con las aurículas) y complejas lesiones univentriculares^{7,8}.

En muchos pacientes con cardiopatía congénita, la evaluación de la función cardíaca es tan importante como la definición de la anatomía. Mediante secuencias de cine, la RM puede también ser usada para evaluar volumen, masa y función de ambos ventrículos⁹.

Además, el uso de secuencias codificadas por velocidad permite evaluación cuantitativa de las dinámicas de flujo. Con esto, es posible efectuar medición de flujo colate-



Figura 3. RM cardíaca normal, con reconstrucción tridimensional del corazón y de los grandes vasos.

ral en coartación de la aorta, flujo diferencial en arteria pulmonar derecha e izquierda, cuantificación de un cortocircuito y evaluación de regurgitación valvular y estenosis. Después de la cirugía permite monitorizar flujo sanguíneo a través de neo-conductos, estenosis y evaluar dinámicas de flujo^{8,9}.

El mejoramiento de la comprensión de la anatomía de las cardiopatías congénitas entregada por la RM simplifica la decisión quirúrgica lo que lleva a un mejor pronóstico⁷.

Patologías del abdomen

Inicialmente el uso de la RM en el abdomen estuvo más bien limitado al hígado, pero actualmente su aplicación es mucho más amplia y se encuentra en permanente crecimiento. Es así como cada vez se está aplicando más para la evaluación de patología renal, pancreática, de vía biliar e incluso de intestino. Avances recientes en *hardware* y *software* han permitido la adquisición de imágenes de RM libres del artefacto determinado por el movimiento peristáltico del intestino o el movimiento respiratorio, entregando excelente información anatómica. Las nuevas secuencias han reducido el tiempo de adquisición de imágenes, lo que mejora la aceptación por el paciente, disminuye los tiempos de sedación y/o anestesia y permite mejor la calidad de la imagen¹⁰.

Las imágenes del hígado pueden ser de gran ayuda para resolver problemas cuando los hallazgos de la US o TC no son concluyentes o bien el comportamiento de la lesión es atípico^{10,11}. Específicamente, las secuencias T2 han probado gran utilidad en la diferenciación entre quistes y hemangiomas de lesiones malignas. Por otro lado, el uso de secuencia ponderada en T1 tanto sin, como con contraste paramagnético en fase arterial, portal y tardía se han hecho centrales para la caracterización de hemangioma cavernoso, hiperplasia nodular focal o adenoma y detección de nódulos displásicos y tumores malignos como hepatocarcinoma¹¹.

En el caso de las neoplasias hepáticas, si bien la TC tiene mejor resolución espacial, la RM entrega mejor contraste de los tejidos blandos y es más precisa en determinar la extensión del tumor, particularmente reemplazo difuso e invasión venosa¹².

La RM también presta utilidad en enfermedades hepáticas parenquimatosas, como por ejemplo, las secuencias sensibles a la

susceptibilidad magnética (ej. ponderada en T2 como echo-gradiente) son útiles para la detección de hemocromatosis, o bien en casos de infiltración grasa, ya sea focal o difusa, dado que ésta presenta intensidad de señal y aspecto característico en las diferentes secuencias¹¹.

El desarrollo de la colangiopancreatografía por RM (CPRM) ha permitido estudiar un amplio rango de enfermedades benignas y malignas del árbol biliar, con una sensibilidad y especificidad comparables a la colangiopancreatografía retrógrada endoscópica (CPRE) (figura 4).

El rol mejor establecido de la CPRM es en la detección de cálculos biliares. Hallazgos de algunos estudios han mostrado que la sensibilidad para el diagnóstico de coledocolitiasis es comparable a la CPRE. En niños, es de mucha utilidad en evaluar anomalías de la vía biliar, como quiste del colédoco, Enfermedad de Caroli, etc.

Otras aplicaciones incluyen uso en sospecha de cálculos del conducto hepático común cuando los conductos no están dilatados y los hallazgos al US son negativos, en la detección preoperatoria de anatomía ductal aberrante, en la evaluación de obstrucción biliar en pacientes en los que la CPRE ha fallado o en los que la anatomía post-quirúrgica del intestino impide acceso endoscópico y en el seguimiento de pacientes con colangitis esclerosante¹³.

El rol de la MRCP en la evaluación de los conductos intrahepáticos está en continua evolución. La MRCP juega un rol crucial en la evaluación de las alteraciones post-quirúrgicas del árbol biliar y puede ser usa-



Figura 4. Colangio - RM normal.

da para demostrar una variedad de anomalías congénitas del tracto biliar; por ejemplo conductos aberrantes, quistes del colédoco y páncreas divisum¹³.

El potencial de la RM para entregar información anatómica y funcional aún es desconocido y nuevas técnicas incluyendo difusión y perfusión están siendo evaluadas.

Patologías del sistema musculoesquelético

A medida que la RM se usó en forma más masiva, pronto se comenzó a utilizar en las patologías musculoesqueléticas, fundamentalmente debido a su superior definición anatómica¹⁴. Es así como la RM es actualmente de gran importancia en la evaluación de la médula ósea, articulaciones, cartílago, partes blandas e incluso del hueso cortical. Su utilización en el estudio de tumores, necrosis avascular, enfermedades articulares, infección, etc. se ha hecho cada vez más una práctica de rutina. Un ejemplo de lo anterior es que actualmente la RM es el método de elección para la evaluación de patologías ligamentosas y cartilaginosas de la rodilla¹⁵. La RM prácticamente ha reemplazado la artrografía, artrografía por TC y US para demostrar el cartílago articular¹⁴.

La RM permite efectuar cortes en cualquier orientación deseada con parámetros selectivos. Ello sumado a mejoría en los equipos y softwares proporciona superior resolución espacial y mejora el contraste de los tejidos blandos.

Ha probado ser superior a la TC en su capacidad de caracterizar simultáneamente múltiples patologías tanto de tejidos blandos como óseas entregando además información acerca de su estado evolutivo, ya sea agudo o crónico. Por otro lado, la RM es francamente superior a la TC en la demostración de anomalías de la médula ósea.

A pesar de que la RM no permite un diagnóstico histológico, resulta útil para definir en forma más precisa, con respecto a radiografía simple o la TC, la extensión de los tumores y la proximidad de estructuras anatómicas vecinas. Además, la Angiografía por RM mejora esta capacidad ayudando a clarificar la relación de los tumores con las estructuras vasculares¹⁴.

La RM demuestra aumento de líquido en los procesos infecciosos y el edema reactivo que lo rodea. Detecta anomalías de la médula ósea y tejidos blandos uno o dos

días después de iniciados los síntomas.

En los casos de sospecha de necrosis avascular, al igual que la cintigrafía, la RM puede ser de ayuda, ya que en la etapa precoz es altamente sensible al edema óseo. Por otro lado, la ausencia de refuerzo con contraste de la médula ósea apoya este diagnóstico¹⁵.

Espectroscopía

Las bases físicas de la espectroscopía son iguales que la RM. Requiere de un magneto potente, por lo menos de 1,5 T. Sus aplicaciones están aún en fase de desarrollo y pueden ser ilimitadas. Puede estudiar cualquier tejido, donde entrega información acerca de su bioquímica y metabolismo¹⁴.

Hasta ahora, el tejido más estudiado ha sido el cerebro. La mayor parte de las publicaciones al respecto, se refieren a experiencias con adultos, donde ha sido de utilidad en el estudio de encefalopatía hipóxica, demencia, Enfermedad de Alzheimer, enfermedades de la sustancia blanca, accidentes vasculares.

Hasta el momento no se han reconocido efectos biológicos nocivos de esta técnica, para los pacientes o para el personal a cargo.

Dentro del futuro de la RM, destacan el desarrollo de técnicas intervencionales, imágenes en tiempo real, mayor sensibilidad en los cambios tisulares, drenajes, laserterapia, cirugía con radiofrecuencia, biopsias estereotáxicas, espectroscopía, estudio pulmonar, RM fetal, RM cardiovascular, etc.

REFERENCIAS

1. *Becker ED, Fisk CL, Khetrapal CL*: The development of NMR. Ed. Grant DM y Harris RK. Encyclopedia of Nuclear Magnetic Resonance, págs. 1-158. Wiley and Sons, 1996.
2. *Horowitz LA*: MRI Physics for Radiologists: A visual Approach. Tercera Edición, Springer - Verlag, New York, 1995.
3. *Ball S, William MD*: Pediatric Neuroradiology: 20-year retrospective. AJNR 2000; 21.
4. *Tzika AA, Zarifi MK, Goumnerova L, et al*: Neuroimaging in pediatric brain tumors: Gd-DTPA-enhanced, hemodynamic, and diffusion MR imaging compared with MR spectroscopic imaging". AJNR 2002; 23: 322-33.
5. *Zimmerman RA, Wang ZJ*: Value of Proton MR Spectroscopy in Pediatric Metabolic Brain Disease. AJNR: 1997; 18: 1872-9.

6. *Higgins CB*: Cardiac Imaging. *Radiology* 2000; 217: 4-10.
7. *Haramati LB, Glickstein JS, Issenberg HJ, Haramati N, Crooke GA*: MR Imaging and CT of vascular anomalies and connections in patients with congenital heart disease: Significance of surgical planning. *Radiographics* 2002; 22: 337-9.
8. *Gautham P, Reddy GP, Caputo, GR*: Congenitally corrected transposition of the great arteries. *Radiology* 1999; 213: 102-6.
9. *Varaprasathan GA, Araoz PA, Higgins CB, Reddy GP*: Quantification of flow dynamics in congenital heart disease: Applications of velocity-encoded cine MR Imaging. *Radiographics* 2002; 22: 895-906.
10. *Rawson JV, Siegel MJ*: Techniques and strategies in pediatric body MR imaging. *MRI Clin North Am* 1996; 4: 589-98.
11. *Keogan MT, Edelman RR*: Technologic advances in abdominal MR Imaging. *Radiology* 2001; 220: 310-20.
12. *Siegel MJ, Luker GD*: MR imaging of the liver in children. *MRI Clin North Am* 1996; 4: 537-656.
13. *Fulcher AS, Turner MA, Capps GW*: MR cholangiography: technical advances and clinical applications. *Radiographics* 1999; 19: 25-41.
14. *Feldman F*: Musculoskeletal radiology: Then and Now. *Radiology* 2000; 216: 309-16.
15. *Laor T, Jaramillo D, Oestrich AE*: Musculoskeletal System. En: *Practical Pediatric Imaging*. Ed: Kirks DR, 3a Edición, 1998. Little, Brown and Co, Boston.