

# Resonancia magnética nuclear en cardiología, "cardiorresonancia"

CLAUDIO C. FERNÁNDEZ<sup>1</sup>, RICARDO OBREGÓN<sup>2</sup>

## RESUMEN

Como un nuevo "patrón oro" en masa, volumen y flujo, la resonancia magnética nuclear (RMN) es probablemente la técnica con evolución más rápida en diagnóstico cardiovascular. Un examen cardíaco completo con RMN permite la evaluación de la morfología, la función global y regional, la anatomía coronaria, la perfusión, la viabilidad y el metabolismo miocárdicos, todos ellos en una sola prueba diagnóstica y en forma totalmente no invasiva. Los cirujanos pueden arribar a información relevante sobre todos los aspectos de enfermedades del corazón y los grandes vasos, los cuales incluyen detalles y relaciones anatómicas con el más grande de los campos de visión, y puede ayudar a reducir el número de procedimientos invasivos requeridos en la evaluación preoperatoria y posoperatoria.

Sin embargo, a pesar de estas excelentes ventajas, la utilización actual de la RMN aún está muy frecuentemente restringida a pocas patologías o estudio de casos en los cuales otras técnicas fallan en identificar la anomalía cardíaca o cardiovascular.

Si la resonancia magnética es un excelente método para el diagnóstico de muchas de las diferentes condiciones cardíacas, ¿por qué se usa tan poco en la práctica cardiológica de rutina?

Los cardiólogos todavía no están muy familiarizados con las enormes posibilidades o utilidades de la RMN cardiovascular.

Nuestra intención es dar un resumen comprensible de muchas de las aplicaciones clínicas de esta desafiante técnica en el estudio del corazón y los grandes vasos.

Aquellos que continúen ignorando esta importante y madura técnica de imagen ciertamente perderán sus beneficios.

REV ARGENT CARDIOL 2003;71: 210-216

Recibido: 5/2003

Aceptado: 6/2003

Dirección para separatas: Dr. Claudio C. Fernández, Hospital Eva Perón, Ricardo Balbín 900, San Martín, Buenos Aires  
e-mail: ccfernad@yahoo.com

## Palabras clave

> RMN - RMN cardíaca - Corazón - Resonancia magnética - Imágenes cardíacas

La cardiología incorporó en los últimos tiempos la resonancia magnética nuclear (RMN), método de estudio que amplió las posibilidades diagnósticas en una gran cantidad de patologías; posee la propiedad única de individualizar tejidos blandos como ningún otro método en uso hasta el presente y puede tipificarlos con gran exactitud.

Construye las imágenes de acuerdo con la característica de los átomos de hidrógeno (<sup>1</sup>H) que poseen los diferentes tejidos (el de hidrógeno es el más abundante y el más utilizado para la formación de imágenes); en algunos centros ya se está trabajando en imágenes con <sup>23</sup>Na. (1)

Debido al avance tecnológico desarrollado en los equipos de resonancia y a la rápida evolución de esta técnica, las indicaciones iniciales del método se han ampliado, por lo que se encuentran en continua expansión. Sus aplicaciones son múltiples en todas y cada una de las patologías cardiovasculares, de las que aportan datos morfológicos y funcionales de relevancia.

Cada tejido, acorde con su estado funcional (normal, inflamado, necrosado, tumoral, etc.) presenta un comportamiento diferente a nivel molecular que este método detecta, individualiza y analiza (cualitativamente y cuantitativamente) con altísima reproducibilidad y muy baja variabilidad interobservador e intraobservador, lo cual hace única a esta técnica en este sentido.

Nombramos anteriormente una de las ventajas de este tipo de estudio, que es la capacidad de diferenciar tejidos blandos; ahora nombraremos otra no menos importante, que es la de poder realizar cortes tomográficos en cualquier plano imaginable. Son de destacar la alta resolución de las imágenes y la posibilidad de realizar el estudio sin obstáculos relativos a conformación del tórax, grandes mamas u obesidad, estados que muchas veces impiden la evaluación por otros métodos.

Los estudios pueden realizarse con gadolinio-DTPA (el único agente de contraste disponible por el mo-

<sup>1</sup> Cardiólogo Nuclear - RMN Cardíaca. Médico de Planta del Servicio de Medicina Nuclear del Hospital Eva Perón - San Martín - Provincia de Buenos Aires

<sup>2</sup> Jefe de Ecocardiografía - RMN Cardíaca. Instituto de Cardiología de Corrientes - Corrientes - Provincia de Corrientes

mento en nuestro país) o sin él, con el cual no se han descrito reacciones adversas. El Gd-DTPA tiene la característica de aumentar el contraste entre los tejidos blandos y es útil en la evaluación de masas tumorales o quísticas.

Las ventajas de este método se hallan en que es incruento, no utiliza radiaciones ionizantes ni contrastes yodados, se pueden realizar cortes tomográficos en cualquier plano imaginable con amplio campo de visión, no presenta inconvenientes derivados de patología pulmonar u obesidad y fundamentalmente no requiere presunciones geométricas en el análisis de volúmenes y masa. Es el mejor método para evidenciar tejidos blandos.

Tiene contraindicación en los pacientes a quienes se les implantó marcapasos, desfibriladores, clips en aneurismas cerebrales, implantes metálicos cocleares o intraoculares.

Se debe tener precaución en reemplazos valvulares cardíacos; se debe conocer el tipo de válvula que presenta el paciente (las prótesis de Star-Edwards previas a la serie 6000 son una contraindicación). Las prótesis vasculares y los clips vasculares en otros territorios que el cerebral no son una contraindicación, como tampoco los filtros en la vena cava.

Es poco frecuente la sensación de claustrofobia; en general, lo que se observa es un paciente "asustado" por el desconocimiento de la técnica del estudio. Es aconsejable no utilizar un lenguaje que aumente innecesariamente la ansiedad del paciente.

La RMN es de gran utilidad en la mayoría de las afecciones cardíacas, a saber:

### CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS

Permite una evaluación anatómica y funcional de las cardiopatías congénitas, en etapas preoperatorias y posoperatorias; pueden medirse en forma exacta *masa*, *volúmenes ventriculares* y las *velocidades de los flujos* en cualquier plano (2) y determinar el Qp/Qs en forma incruenta en escasos minutos. La valoración cuantitativa de los flujos permite descartar y/o confirmar alteraciones patológicas (obstrucciones, trombosis, etc.) sobre las imágenes morfológicas previamente logradas.

En general, un estudio de resonancia brinda información sobre los siguientes apartados:

a) *Análisis segmentario*: para la descripción correcta del tipo de cardiopatía congénita, al identificar el situs toracoabdominal y auricular, conexiones auriculo-ventriculares, morfología ventricular y conexiones ventriculoarteriales.

b) *Detección de malformaciones vasculares extracardíacas*: una de las mayores ventajas es el gran campo de visión que brinda, ya que permite visualizar zonas que hasta ahora sólo eran evidenciables con dificultad por métodos cruentos; las malformaciones vasculares extracardíacas son un claro ejemplo. Este

### ABREVIATURAS

DAVD	Displasia arritmogénica del ventrículo derecho
Fey	Fracción de eyección
Gd-DTPA	Gadolinio-ácido dietilentriaminopentaacético
OM	Obstrucción microvascular
Qp/Qs	Relación entre flujo pulmonar y flujo sistémico
RMN	Resonancia magnética nuclear
TAC	Tomografía axial computarizada
VD	Ventrículo derecho

tipo de patología en general se evidencia bien con angiorresonancia con la utilización o no de contraste.

c) *Visualización y evaluación de los injertos intracavitarios y extracavitarios*: evaluación de su permeabilidad y análisis del flujo sanguíneo.

d) *Evaluación de la función cardíaca (sistólica y diastólica)*: fracción de eyección y función de ambos ventrículos, global y regional.

e) *Medición de volúmenes y masa ventriculares*.

f) *Medición de Qp/Qs*: la evaluación de la relación flujo pulmonar/flujo sistémico (Qp/Qs) es de gran valor en el seguimiento y toma de decisiones de una cardiopatía con *shunts* de izquierda/derecha. La RMN lo evalúa y cuantifica en forma *incruenta* y permite diferenciar pacientes con Qp/Qs mayor y menor de 1,5; ayuda así a la toma de decisiones para realizar una intervención sobre la patología en estudio. (3-5)

### AORTA Y GRANDES VASOS

Es el estudio más importante para el diagnóstico correcto de las enfermedades de la aorta. Permite valorar:

*Afecciones congénitas* como coartación, anillos vasculares y otras anomalías del arco aórtico y sus ramas. Controles preoperatorios y posoperatorios, etcétera.

*Enfermedad subclínica de aorta*: la RMN puede detectar enfermedades en etapa subclínica al evaluar las propiedades elásticas y la distensibilidad (*compliance*) de la aorta, lo cual permite identificar patologías en pacientes asintomáticos y facilita la realización de un tratamiento precoz, cuando aún las alteraciones son mínimas, lo mismo que el monitoreo de los resultados de intervenciones terapéuticas. (6, 7) Se demostró la correlación entre la aterosclerosis aórtica subclínica y la enfermedad cardiovascular, por lo cual la RMN de aterosclerosis aórtica subclínica puede brindar un novedoso *método de medir riesgo cardiovascular*. (8)

En *aneurismas torácicos* es el método por excelencia del análisis anatomofuncional de la aorta; evalúa afecciones en todas sus etapas: preclínica (como se mencionó anteriormente), clínica (para el seguimiento controlado del tamaño y la tasa de crecimiento anual del aneurisma), preintervención, única en este sentido, ya que brinda al cirujano o hemodinamista una

visión no sólo de la localización, la extensión, la relación con estructuras vecinas y la emergencia de los vasos del arco aórtico (datos de importancia tanto para el clampeo como para la ubicación de las endoprótesis), sino que, además, proporciona una reconstrucción tridimensional de los aneurismas y permite el control posquirúrgico con individualización adecuada de las complicaciones, incluida la evaluación de los flujos periprotésicos.

Cuando la dilatación se acerca a los valores de indicación quirúrgica (más de 6 cm de diámetro máximo y límites algo inferiores si tiene síndrome de Marfan o insuficiencia aórtica), el estudio con técnicas de *alta resolución* se convierte en lo ideal, por ejemplo, a partir de los 5 cm de diámetro, ya que la tasa de crecimiento varía en forma significativa. (9) Es aquí donde la variabilidad intraobservador e interobservador de un método diagnóstico comienza a hacerse relevante, es decir, si puede detectar o no estos pequeños cambios tan importantes para la toma de decisiones. La RMN en este sentido es un método confiable, incruento, que brinda todos estos datos, incluso la evaluación de la totalidad de los segmentos aórticos, ramos vasculares, válvula aórtica y pericardio, con el aporte además del estudio de la afectación intraluminal de ramos vasculares por el aneurisma, etcétera.

El control anual posoperatorio en cirugía de la aorta ascendente es una norma y habitualmente se utilizan la tomografía axial computarizada (TAC) o la RMN. (10) Las complicaciones poscirugía protésica de la aorta ascendente más frecuentes son el hematoma periprotésico y el falso aneurisma protésico, diagnósticos que llevan a la reintervención. El amplio campo de visión, la diferenciación de tejidos blandos junto con la posibilidad de detectar y establecer la antigüedad del hematoma hacen de la RMN el método ideal para el seguimiento de este grupo de pacientes. (11)

En *aneurismas abdominales* evalúa tanto la enfermedad como sus complicaciones; individualiza y diferencia trombosis de pared (Figura 1), hemorragias intraparietales y perivasculares y establece su antigüedad; es decir, si la extravasación es aguda, subaguda o si se trata de un hematoma o trombosis antigua. La búsqueda de este tipo de complicaciones en el espacio

retroperitoneal (la rotura se produce en el 80% de los casos en el espacio retroperitoneal posterior), por la sencillez con que se evidencia, se constituye en una de las mayores ventajas que presenta la RMN respecto de otras técnicas de estudio. La angiorresonancia con gadolinio puede evaluar exactamente la anatomía de los aneurismas en el preoperatorio (12) y es útil en la selección del paciente para la reparación endoluminal de aneurismas de la aorta abdominal, ya que evita el uso de contrastes yodados y radiaciones ionizantes.

*Aneurismas disecantes*: clasifica el tipo, el tamaño y la localización. Identifica el *flap* de entrada y los puntos de reentrada si existen y valora la dirección de los flujos en la falsa luz; presenta una sensibilidad y una especificidad que alcanzan el 100%. (13)

El estudio de la aorta permite la visualización de todos los segmentos; brinda la información más completa en un solo estudio de todas las técnicas actualmente disponibles.

El estudio satisface dos necesidades primordiales: ayuda a *decidir* si el paciente requiere tratamiento intervencionista o conservador y la segunda (si se requiere la intervención) *aporta* al cirujano la mayoría de los datos necesarios para el planeamiento de la intervención (Tabla 1). Un estudio completo (estático, dinámico y 3D con contraste y sin éste) permite realizar imágenes de un valor diagnóstico y anatómico tal para el cirujano interviniente que en varios centros extranjeros el paciente entra en cirugía sin estudio hemodinámico (Figuras 1-3).

Tabla 1

1. Tipo de disección
2. Localización del *flap*
3. Tamaño y extensión de la disección
4. Sitio de reentrada
5. Compromiso valvular aórtico, de arterias coronarias, vasos de cuello, arterias renales, mesentéricas, ilíacas, etc.
6. Función ventricular y Fey
7. Presencia de trombos en la falsa luz
8. Presencia de hematoma intramural en la aorta ascendente.
9. Hemorragias perivasculares o rupturas parciales
10. Presencia de derrame pericárdico
11. Angiorresonancia con gadolinio de la zona afectada

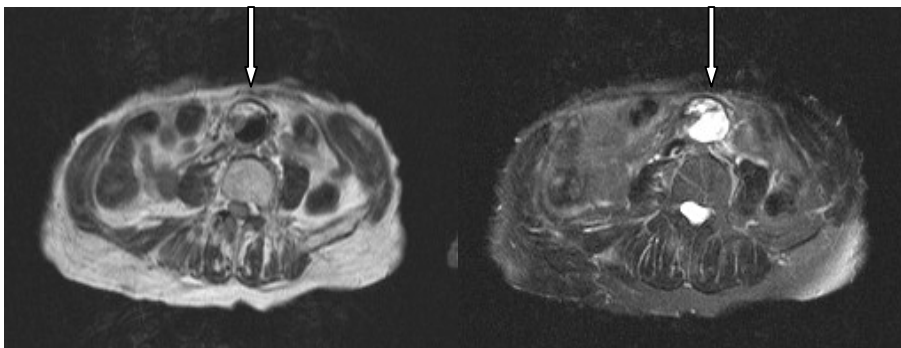


Fig. 1. Aneurisma de la aorta abdominal, secuencias convencionales T1 y T2 que evidencian complicación de placa.

El *hematoma intraparietal*, también denominado disección cerrada, al provocar hemorragia en el interior de la pared del vaso, no deforma la luz del vaso, por lo que no puede evaluarse adecuadamente por técnicas angiográficas invasivas convencionales. La RMN y la TAC son los métodos de elección para el diagnóstico y el seguimiento en esta patología; la RMN es superior a la TAC por su capacidad de definir el tiempo de evolución del hematoma intramural: si el sangrado es agudo, la "medialuna" evidenciada en la pared del vaso es isointensa y se vuelve "blanca" al tener una semana de evolución (Figura 3). Estos cambios se utilizan para confirmar el diagnóstico y observar su evolución (el 48% desaparecen dentro de los 6 meses de seguimiento). (14)

En la *úlcer penetrante de la aorta* (Figura 4), caracterizada por ulceración con ruptura de la lámina elástica interna de la pared aórtica que excava profundamente a través de la íntima hasta la capa media del vaso, puede desencadenar una disección "intra-media" en asociación con un hematoma intraparietal de diferente gravedad, incluso romperse hacia la adventicia y provocar un pseudoaneurisma aórtico. Esta patología es vista por la RMN en las secuencias angiográficas como ulceraciones de la pared en au-

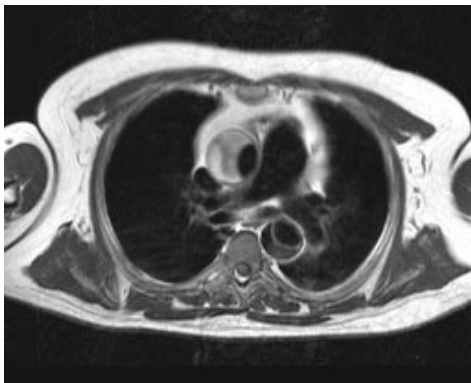


Fig. 2. Aneurisma disecante tipo A.

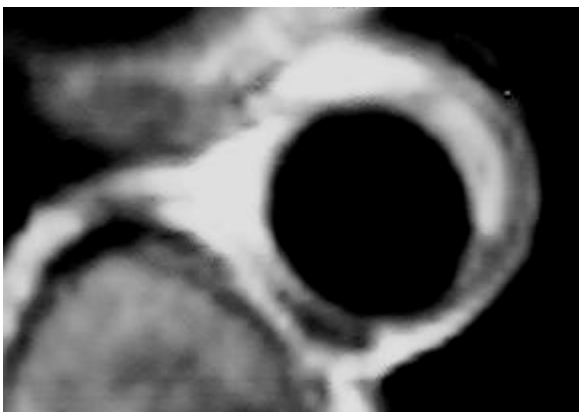


Fig. 3. Hematoma intraparietal.

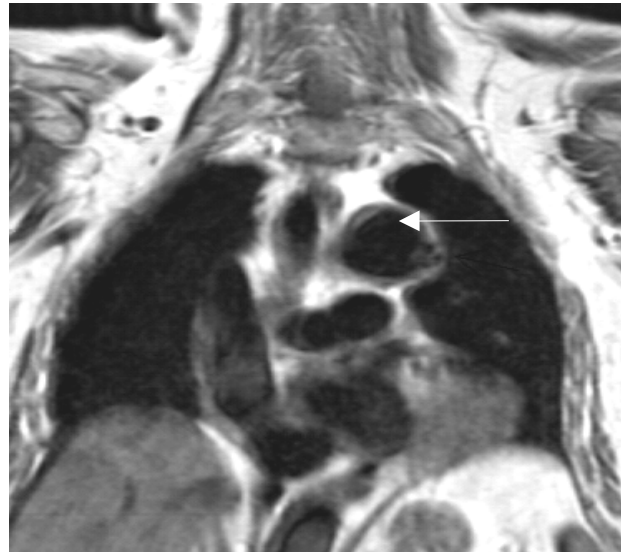


Fig. 4. Úlcer penetrante de la aorta.

sencia de *flap* intimal o hematomas intraparietales sobre aortas con ateromatosis importante. Otra forma de presentación son los pseudoaneurismas "saculares" como expresión final de esta patología. La RMN los localiza, los tipifica y define su relación con los vasos emergentes para un eventual tratamiento hemodinámico o quirúrgico.

En cuanto a la *evaluación de la placa de ateroma*, se sabe que detectar enfermedad aterosclerótica de la aorta torácica es un predictor importante de eventos cardiovasculares, que incluyen accidentes cerebrovasculares, accidentes isquémicos transitorios y embolias periféricas. La RMN tiene la capacidad de tipificar las placas de ateromas e identificar su núcleo lipídico y detectar de esta manera las que presentan una mayor probabilidad de complicarse. (15)

#### ENFERMEDADES DEL PERICARDIO

*Anomalías congénitas*, como la agenesia de pericardio, divertículos y quistes congénitos, se diagnostican fácilmente en secuencias convencionales (T2).

Los *derrames pericárdicos* se localizan en forma exacta, diferenciándolos de tejido adiposo.

Los *engrosamientos pericárdicos en pericarditis fibrosas*, como la enfermedad del colágeno, infecciones, postratamiento radiante o hemopericardio y fundamentalmente la *pericarditis constrictiva*, son algunas de las indicaciones especiales de este método, ya que permite diferenciar a esta última de la miocardiopatía restrictiva, (16) *tumores pericárdicos*, etcétera.

#### ENFERMEDADES DEL MIOCARDIO

En la *hipertrofia miocárdica* evalúa la extensión y localización, lo cual no sólo tiene valor pronóstico sino que también monitorea el tratamiento instituido.

En las *miocardiopatías* (hipertrófica, dilatada, restrictiva y otras) es de enorme utilidad. Es el estudio que permite la mejor evaluación del paciente con hipertrofias localizadas regionales. (17, 18)

En relación con la *displasia arritmogénica del ventrículo derecho* (DAVD), el diagnóstico por métodos convencionales puede ser complejo, debido a que la función global del VD puede ser normal y las anomalías de la motilidad parietal pueden ser difíciles de identificar por angiografía por la geometría irregular y compleja del VD; la biopsia miocárdica, aunque es muy específica, no es un método sensible, ya que el síndrome raramente involucra el septum, el cual es la única región del VD que puede tomarse con seguridad por la biopsia.

Las imágenes de RMN pueden demostrar grasa transmural o focal en la pared libre del VD, lo cual es el sello distintivo de la enfermedad. El tejido adiposo es un componente habitual de la pared miocárdica; por lo tanto, es importante diferenciar distribución grasa normal de anormal. De igual modo que la infiltración grasa, el adelgazamiento de la pared libre ventricular puede ser focal o difuso y a veces acompañarse de abombamientos aneurismáticos (saculares) donde la integridad de la pared ha sido afectada significativamente.

En resumen, la RMN puede utilizarse para mostrar las características del miocardio ventricular derecho en el cual se basa el diagnóstico clínico de esta enfermedad; estas características incluyen la presencia de grasa transmural o focal, adelgazamiento miocárdico indicativo del reemplazo fibroso, presencia de regiones discinéticas localizadas por cine-RMN. Así, la RMN puede proveer una guía útil no invasiva para los electrofisiólogos para localizar la vecindad del foco arritmogénico.

La *miocarditis aguda* provoca alteraciones inflamatorias a nivel tisular que induce aumento de captación de gadolinio, el cual se acumula primero en forma focal (en la primera semana de la afección) y luego difusa (hasta la cuarta semana), lo cual no sólo permite el diagnóstico de la afección tanto en la etapa aguda (donde el estudio con contraste es altamente útil), sino además seguir la evolución de la afección. (19, 20)

Las "*masas cardíacas*" (tumorales y no tumorales, más frecuentes) son perfectamente evidenciadas en forma incruenta, muchas veces incluso con tipificación de tipo celular. El "amplio campo de visión" brinda una noción anatómica de gran utilidad para el planeamiento de la intervención que se ha de realizar, ya que facilita la elección del plano de abordaje más conveniente. También es de utilidad la evaluación de tumores secundarios, que invaden estructuras cardíacas en forma directa o por siembra metastásica del endocardio o del pericardio.

#### VALORACIÓN DE LA FUNCIÓN CARDÍACA

En el cálculo de la FE global y regional, la RMN brinda el método más exacto y confiable para la medición

de volúmenes ventriculares, sin que sea alterado por variaciones de la forma o el tamaño de las cavidades. Es especial en la valoración del ventrículo derecho, donde otros métodos no ofrecen la misma posibilidad. Permite el cálculo de la FE por método de Simpson, sin necesidad de establecer comparaciones geométricas a la anatomía ventricular.

En el *engrosamiento parietal regional y acortamiento circunferencial*, con la realización de cortes en eje corto y largo, de 2 o 4 cámaras en función cine, permite valorar el tamaño de las paredes ventriculares a lo largo del ciclo cardíaco y en cada sector.

La *valoración por Tagging* analiza a lo largo de todo el ciclo cardíaco la compleja deformación intrínseca del miocardio. Consigue a través de un tipo especial de secuencia de estudio, realizar "líneas" o "una grilla rectangular" sobre la imagen miocárdica, la cual sufre deformaciones durante la contracción en relación con el estado contráctil del segmento analizado, por lo que se constituye en un verdadero "marcador" miocárdico no invasivo.

#### CARDIOPATÍA ISQUÉMICA

El *infarto de miocardio* (agudo y subagudo) altera los tiempos de relajación normales, lo cual permite identificar el área infartada y el área amenazada en conjunto; la inyección de gadolinio muestra alteraciones del *washing* y *washout* regional, produciendo así una zona de alta captación (zona caliente) en imágenes tardías.

Se estudian actualmente nuevos contrastes, que permitirían evidenciar el área necrótica "pura", lo cual nos permitirá diferenciar territorio comprometido y territorio amenazado. Esto último, unido a la evaluación de la perfusión y de la contractilidad miocárdica, nos permitirá observar, con un solo método, el límite entre necrosis y área amenazada, poniendo de manifiesto así el verdadero territorio atontado.

La selección del método más apropiado para evaluar la viabilidad miocárdica incluirá la consideración de las características del paciente, la presencia del árbol arterial coronario amenazado, las técnicas de evaluación de la viabilidad disponibles y la experiencia en revascularización en esa población de pacientes. (21, 22)

Por último, podemos evaluar el tamaño del área afectada y sus complicaciones, así como identificar hematomas en el área infartada. La resonancia puede cuantificar "*obstrucción microvascular*" (OM). La OM ocurre debido a que la isquemia prolongada produce oclusión microvascular en el centro del infarto y se extiende hasta 48 horas luego de la reperfusión. (23)

La *perfusión miocárdica* se evalúa como un típico estudio de primer pasaje, construyendo curvas de captación para los diferentes segmentos miocárdicos.

En la actualidad se utilizan 1 o 2 cortes en ejes cortos o largos de los ventrículos y se analizan los retardos o la ausencia en la llegada del contraste.

Otro desafío es la *espectroscopia por resonancia*, único método disponible de estudio del metabolismo

cardíaco en forma no invasiva sin necesidad de utilizar trazadores radiactivos. De uso actual en patología cerebral, en nuestro país está en desarrollo su utilización a nivel miocárdico

*Visualización de arterias coronarias y bypass:* con las secuencias básicas se pueden observar la morfología de las coronarias en su tercio proximal. Con la aparición del "navegador" (que elimina los movimientos respiratorios) se han logrado imágenes morfológicas de las coronarias prácticamente en toda su longitud. Pueden observarse utilizando o no sustancias de contraste en modo biplanar o con reconstrucciones tridimensionales. Un área en expansión es la de tipificación de placas ateromatosas en las carótidas, clasificándolas según su contenido lipídico. (24) Otra ventaja inobjetable de la RMN es la posibilidad de medir en forma cuantitativa el flujo en la misma coronaria en reposo o en condiciones de estrés. Estas mediciones se utilizan para determinar la reserva coronaria o para categorizar una estenosis coronaria.

En estudios convencionales es posible evidenciar, muchas veces, el tercio proximal de ambas coronarias. Con el desarrollo de nuevas secuencias de estudio y progresos técnicos próximamente disponibles en nuestro medio, la evaluación *no invasiva* de pacientes con cardiopatía isquémica incluirá la visualización de las arterias coronarias.

Algunos estudios ya presentan una gran sensibilidad y especificidad para la detección de obstrucciones a nivel de puentes aortocoronarios. (25)

## COMENTARIO

Los avances de la RMN y la angio-RMN han sido impresionantes. Dado este progreso, uno esperaría observar un incremento proporcional del uso y la expansión de la RMN cardíaca en nuestro medio. Mientras la RMN general ha aumentado considerablemente, ¿por qué no sucedió lo mismo con la RMN cardíaca? ... ¿Por qué se usa tan poco en los estudios rutinarios cardíacos? ... Hay varias razones:

**1. Acceso limitado:** excepto en ciertos centros, los equipos de RMN no cuentan con *software* adecuado. Incluso en lugares que tienen esta posibilidad, el acceso se encuentra limitado por la presión de realizar estudios simples, más rentables que los cardiológicos.

**2. Conocimiento médico:** una de las limitaciones más amplias al uso de la RMN cardíaca es la falta de conocimiento acerca de su capacidad. Esto incluye a los médicos que envían al paciente, los radiólogos o especialistas en imágenes (sin formación cardiológica), los administradores, etc. Incluso cuando el médico que solicita en estudio posee conocimiento acerca de él, duda de la habilidad manual del realizador o del grado de confianza con que el estudio puede realizarse.

**3. Entrenamiento y ...¿quién hace el estudio?:** la resonancia cardíaca tiende a ser más compleja que

una resonancia convencional. Aunque un técnico pueda ser entrenado para realizarlo, en la mayoría de los centros donde se realiza hay una cantidad insuficiente de casos para permitir un entrenamiento adecuado a los técnicos en RMN cardíaca. Para salvar esta limitación es necesario un entrenamiento profundo. (26)

¿Que pasaría si se desarrollara "un" aparato que brindara prácticamente "toda" la información que actualmente se obtiene con "múltiples" equipamientos, muchas veces incluso manufacturados por las mismas firmas?

## CONCLUSIÓN

La RMN se ha convertido en la última década en el método de elección para el diagnóstico, el estudio y el seguimiento de una gran cantidad de patologías del aparato cardiovascular. Actualmente es el "patrón oro" para la medición de muchos de los valores de uso de rutina en cardiología. Con gran resolución espacial, realizando estudios incruentos, de alta calidad diagnóstica, ofrece la posibilidad de llevar a cabo un estudio anatomofuncional completo en un tiempo relativamente corto. Permite la evaluación exacta de masa y volumen ventricular y la determinación del engrosamiento parietal sistólico y de anomalías de la contracción. También puede evaluarse la perfusión miocárdica, el metabolismo y la isquemia miocárdica inducible con estrés farmacológico.

Mejoras técnicas futuras, con imágenes en tiempo real, y el desarrollo de la visualización no invasiva de las arterias y los puentes coronarios constituirán un progreso considerable en la cardiología clínica.

Un particular desafío de la resonancia es el potencial de incluir anatomía, función, perfusión, metabolismo y angiografía coronaria en un solo estudio. (27)

## SUMMARY

### Nuclear magnetic resonance in cardiology. Cardiac MRI

As a new gold standard for mass, volume and flow, the magnetic resonance imaging (MRI) is probably the most rapidly evolving technique in the cardiovascular diagnosis.

An integrated cardiac MRI examination allows the evaluation of morphology, global and regional function, coronary anatomy, perfusion, viability and myocardial metabolism, all of them in only one diagnostic test and in a totally noninvasive manner.

The surgeons can obtain relevant information on all aspects of diseases of the heart and great vessels, which include anatomical details and relationships with the greatest field of view, and may help to reduce the number of invasive procedures required in pre and postoperative evaluation.

However, despite these excellent advantages the present clinical utilization of MRI is still too often restricted to few pathologies or case studies in which other techniques fail to identify the cardiac or cardiovascular abnormalities.

If magnetic resonance is an excellent method for diagnosing so many different cardiac conditions, why is so little it used in routine cardiac practice?

Cardiologists are still not very familiar with the huge possibilities of cardiovascular MRI utilities.

Our intention is to give a comprehensive survey of many of the clinical applications of this challenger technique in the study of the heart and great vessels.

Those who continue to ignore this important and mature imaging technique will rightly fail to benefit.

**Key Words:** MRI, Cardiac MRI, Heart, MR, Cardiac Imaging.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Horn M, Weidensteiner C, Groot M, Remkes H, Meininger M, von Kienlin M, et al. Determination of size post myocardial infarction by  $^{23}\text{Na}$  NMR. *J Cardiovasc Magn Reson* 1999;1:311A.
2. Fogel MA. Assessment of cardiac function by magnetic resonance imaging. *Pediatr Cardiol* 2000;21:59-69.
3. Brenner LD, Caputo GR, Mostbeck G, Steiman D, Dulce M, Cheitlin MD, et al. Quantification of left to right atrial shunts with velocity-encoded cine nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 1992;20:1246-50.
4. Hundley WG, Li HF, Lange RA, Pfeifer DP, Meshack BM, Willard JE, et al. Assessment of left-to-right intracardiac shunting by velocity-encoded, phase-difference magnetic resonance imaging. A comparison with oximetric and indicator dilution techniques. *Circulation* 1995;91:2955-60.
5. Mohiaddin RH, Underwood R, Romeira L, Anagnostopoulos C, Karwatowski SP, Laney R, et al. Comparison between cine magnetic resonance velocity mapping and first-pass radionuclide angiocardiology for quantitating intracardiac shunts. *Am J Cardiol* 1995; 75: 529-32.
6. Metafratzi ZM, Efremidis SC, Skopelitou AS, De Roos A. The clinical significance of aortic compliance and its assessment with magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Magn Reson* 2002;4:481-91.
7. Boese JM, Bock M, Schoenberg SO, Schad LR. Estimation of aortic compliance using magnetic resonance pulse wave velocity measurement. *Phys Med Biol* 2000;45:1703-13.
8. Jaffer FA, O'Donnell CJ, Larson MG, Chan SK, Kissinger KV, Kupka MJ, et al. Age and sex distribution of subclinical aortic atherosclerosis: a magnetic resonance imaging examination of the Framingham Heart Study. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2002;22:849-54.
9. Dapunt OE, Galla JD, Sadeghi AM, Lansman SL, Mezrow CK, de Asla RA, et al. The natural history of thoracic aortic aneurysms. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1994;107:1323-32.
10. David TE, Armstrong S, Ivanov J, Barnard S. Surgery for acute type A aortic dissection. *Ann Thorac Surg* 1999;67:1999-2001.
11. Mesana TG, Caus T, Gaubert J, Collart F, Ayari R, Bartoli J, et al. Late complications after prosthetic replacement of the ascending aorta: what did we learn from routine magnetic resonance imaging follow-up? *Eur J Cardiothorac Surg* 2000;18:313-20.
12. Bhirangi K, Gilfeather M, Siegelman ES, Schnell MD, Holland GA, Carpenter JP. Comparison of preoperative three-dimensional gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging to the operative assessment of abdominal aortic aneurysm anatomy: a retrospective study. *Vascular Surgery* 2000; 34:107-113.
13. Higgins CB, Ingwall JS, Pohost GM. A Current and Future Applications of Magnetic Resonance in Cardiovascular Disease. American Heart Association (Monograph Series) 1998; p. 109-130.
14. Nishigami K, Tsuchita T, Shono H, Horibata Y, Honda T. Disappearance aortic intramural hematoma and its significance to the prognosis. *Circulation* 2000;102:III 243-7.
15. Coady MA, Rizzo JA, Elefteriades JA. Pathologic variants of thoracic aortic dissections. Penetrating atherosclerotic ulcers and intramural hematomas. *Cardiol Clin* 1999;17:637-57.
16. Soulen RL, Stark DD, Higgins CB. Magnetic resonance imaging of constrictive pericardial disease. *Am J Cardiol* 1985;55:480-4.
17. Posma JL, van der Wall EE, Blanksma PK, van der Wall E, Lie KI. New diagnostic options in hypertrophic cardiomyopathy. *Am Heart J* 1996;132:1031-41.
18. Pons-Llado G, Carreras F, Borrás X, Palmer J, Llauger J, Bayes de Luna A. Comparison of morphologic assessment of hypertrophic cardiomyopathy by magnetic resonance versus echocardiographic imaging. *Am J Cardiol* 1997;79:1651-6.
19. Friedrich MG, Strohm O, Schulz-Menger J, Marciniak H, Luft FC, Dietz R. Contrast media-enhanced magnetic resonance imaging visualizes myocardial changes in the course of viral myocarditis. *Circulation* 1998;97:1802-9.
20. Gagliardi MG, Bevilacqua M, Di Renzi P, Picardo S, Passariello R, Marcelletti C. Usefulness of magnetic resonance imaging for diagnosis of acute myocarditis in infants and children, and comparison with endomyocardial biopsy. *Am J Cardiol* 1991;68:1089-91.
21. Castro PF, Bourge RC, Foster RE. Evaluation of hibernating myocardium in patients with ischemic heart disease. *Am J Med* 1998;104:69-77.
22. Baer FM, Theissen P, Schneider CA, Kettering K, Voth E, Sechtem U, et al. MRI assessment of myocardial viability: comparison with other imaging techniques. *Rays* 1999;24:96-108.
23. Wu KC, Kim RJ, Bluemke DA, Rochitte CE, Zerhouni EA, Becker LC, et al. Quantification and time course of microvascular obstruction by contrast-enhanced echocardiography and magnetic resonance imaging following acute myocardial infarction and reperfusion. *J Am Coll Cardiol* 1998;32:1756-64.
24. Botnar RM, Stuber M, Kissinger KV, Kim WY, Spuentrup E, Manning WJ. Noninvasive coronary vessel wall and plaque imaging with magnetic resonance imaging. *Circulation* 2000;102:2582-7.
25. Molinari G, Sardanelli F, Zandrino F, Balzan C, Masperone MA. Magnetic resonance assessment of coronary artery bypass grafts. *Rays* 1999;24:131-9.
26. Cardiac MRI: past promise, present problems, future prospects? Hartnell G. *Cardiovascular Radiology. Council Newsletter* 2000; 3-6 [www.americanheart.org/downloadable/heart/3421\\_CVRFall00.pdf](http://www.americanheart.org/downloadable/heart/3421_CVRFall00.pdf)
27. Baer FM, Theissen P, Crnac J, Schmidt M, Jochims M, Schicha H. MRI assessment of coronary artery disease. *Rays* 1999;24:46-59.