

# Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardiaca y del TAC multicorte

*Esther Pérez David*

## TECNOLOGÍA DE LA RM

### 1. CONCEPTOS GENERALES SOBRE RM

La resonancia magnética (RM) es un fenómeno por el cual los **núcleos atómicos con un número impar de protones o neutrones pueden absorber selectivamente energía de ondas de radiofrecuencia (RF) a su frecuencia de resonancia, al ser sometidos a un campo electromagnético**. En cardiología, la imagen por RM se basa en las propiedades magnéticas del **núcleo del hidrógeno (H<sup>1</sup>)**, que es muy abundante en el organismo.

Es una técnica muy segura y versátil, ya que permite obtener **información anatómica y funcional**, así como caracterización tisular, incluyendo viabilidad miocárdica. Todo ello ha contribuido al incremento de sus aplicaciones clínicas en los últimos años.

### 2. EQUIPOS DE RM. CONCEPTO DE SECUENCIA

El elemento principal del equipo de RM es un **imán capaz de generar un campo magnético constante**. Para la RM cardiaca se utilizan imanes con intensidades de campo superior a **1 tesla (T)**, habitualmente de 1.5 y 3 T.

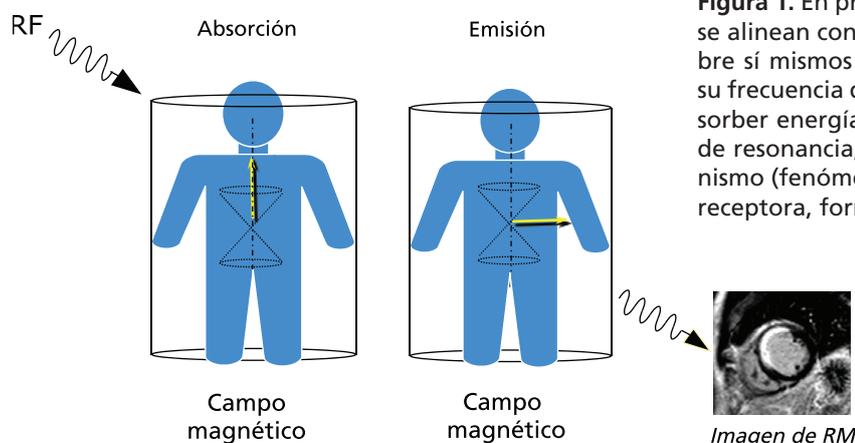
Cuando el paciente entra en el imán, **sus núcleos de hidrógeno se alinean con el eje del campo magnético y "precesan"**, es decir, giran sobre su eje a una determinada frecuencia, que constituye su **frecuencia de resonancia**. Este movimiento de precesión puede sufrir sutiles cambios de orientación por la aplicación de pulsos de ondas de radiofrecuencia (RF) y gradientes magnéticos (figura 1). Tras su aplicación los protones tienden a volver a su estado de equilibrio inicial, lo que se denomina **proceso de relajación**, liberando a su vez una señal que se puede procesar, mediante análisis de Fourier, y obtener una imagen de la distribución espacial de los protones dentro del cuerpo.

Una **secuencia es una combinación estandarizada de pulsos y gradientes** de una determinada magnitud y en un determinado orden. **Los estudios de RM están compuestos de series de secuencias**. Las secuencias pueden estar diseñadas para resaltar las diferencias de los tejidos en su **tiempo de relajación longitudinal (T1) o tiempo de relajación transversal (T2)**, lo que nos permite manipular el contraste entre diferentes estructuras y realizar estudios de caracterización tisular.

- **Secuencias potenciadas en T1: los tejidos con T1 corto, como la grasa, aparecen hiperintensos. Los contrastes derivados del gadolinio que se emplean en RM cardiaca también acortan el T1 (las zonas con contraste brillan).**
- **Secuencias potenciadas en T2: en estas secuencias las estructuras que contienen agua (edema o inflamación) van a mostrar una señal más intensa que las restantes.**

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David



**Figura 1.** En presencia de un campo magnético, los protones se alinean con la dirección del campo magnético y giran sobre sí mismos a una determinada frecuencia de precesión, su frecuencia de resonancia. En esas condiciones pueden absorber energía de ondas de radiofrecuencia a la frecuencia de resonancia, que posteriormente es liberada por el organismo (fenómeno de “relajación” y captada por una antena receptora, formándose la imagen de RM).

### 3. ASPECTOS GENERALES DE LA REALIZACIÓN DE UN ESTUDIO DE RM CARDIACA

Los estudios de RM cardíaca son técnicamente complejos porque tanto el movimiento respiratorio como el cardíaco afectan a la calidad de las imágenes. Con las mejoras tecnológicas recientes, la rapidez de adquisición de la mayor parte de las secuencias ha mejorado y suele encontrarse entre **5-10 segundos**. Por tanto, se pueden realizar en apnea. Para algunas secuencias especialmente largas como las secuencias de coronarias o pacientes no colaboradores o anestesiados se pueden utilizar secuencias específicas de sincronismo respiratorio llamadas **navegadores**.

La información para cada imagen se obtiene en varios ciclos cardíacos, lo que se denomina **adquisición segmentada**. Por ello, tener un buen método de sincronismo ECG cardíaco es esencial. La irregularidad del intervalo RR puede afectar a la calidad de las imágenes.

Cuando el paciente se coloca en el imán, habitualmente con una antena multicanal flexible que rodea el tórax, y se obtiene un buen registro ECG, se puede comenzar el estudio, que suele durar 30-45'. La mayor parte de los estudios cardíacos necesitan **contraste derivado del gadolinio** que se administra por una vía periférica (tabla I); para la realización de los estudios de perfusión y angiografías, los resultados son mejores con una inyectora automática que produzca un bolo compacto.

Tabla I. Contrastes derivados del gadolinio más habituales

	Compuesto	Concentración	Tipo de molécula
Omniscan®	Gadodiamida	0.5 M	lineal
Magnevist®	Gadopentetato de dimeglumina	0.5 M	lineal
Multihance®	Gadopentetato	0.5 M	lineal
Gadovist®	Gadobutrol	1 M	macrocíclico
Dotarem®	Gadoterato meglumina	0.5 M	macrocíclico

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

Existe un 5-10% de pacientes con claustrofobia, que puede imposibilitar la realización de la prueba. La sedación ligera (p.ej midazolam 1-2 mg) habitualmente da buenos resultados; una alternativa es solicitar el estudio en una resonancia abierta.

### 4. SECUENCIAS PRINCIPALES REALIZADAS DURANTE EL ESTUDIO DE RM CARDIACA

Un estudio cardíaco estándar comienza con una serie de imágenes localizadoras en planos estándar (axial, coronal, sagital). A partir de ellas, generalmente con una secuencia funcional en modo cine, se definen una serie de planos similares a los obtenidos en ecocardiografía (figura 2). También se puede definir cualquier otra orientación que nos interese (planos de ventrículo derecho, grandes vasos, etc).

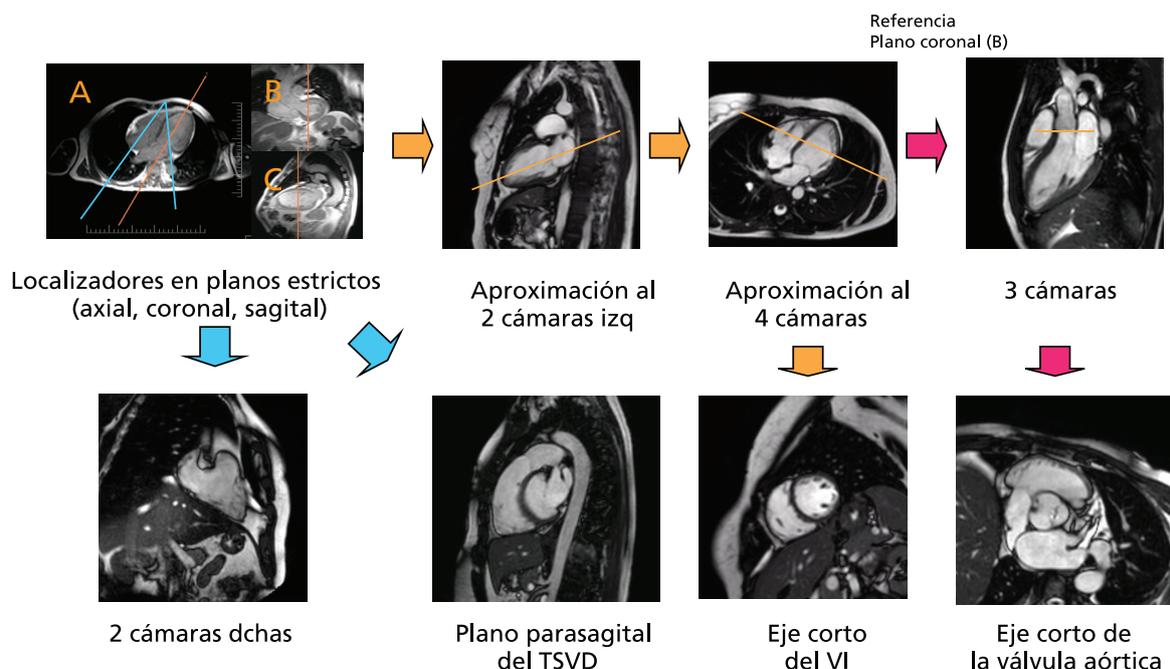
En función del tipo de estudio cardíaco, se utilizará un determinado protocolo de secuencias. Estas son las más habituales:

#### Secuencias de sangre negra

Las secuencias empleadas actualmente son secuencias rápidas de eco de espín. Sirven para obtener imágenes anatómicas (pericardio, masas cardíacas, estudio de displasia del VD, etc). En estas secuencias, los protones en estructuras estáticas o poco móviles como el miocardio producen señal en las imágenes, mientras que los de la sangre, que salen rápidamente del corte que se está adquiriendo y por tanto no se ven expuestos a los dos pulsos de RF incluidos en la secuencia, no producen señal (figura 3).

#### Secuencias de sangre blanca

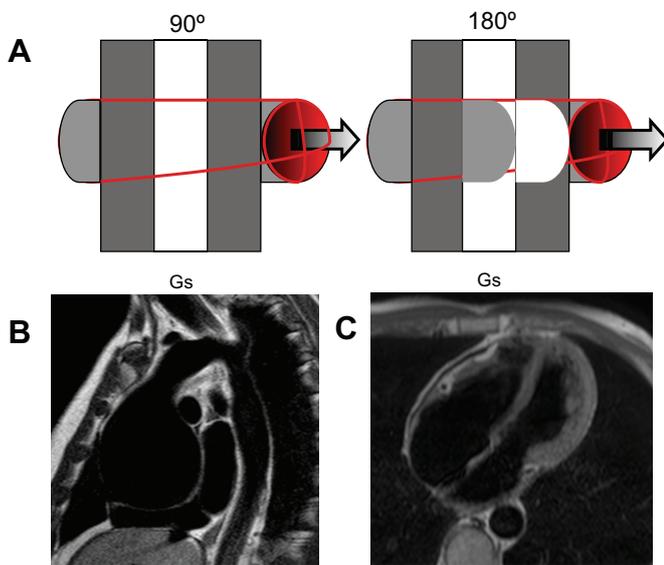
Se trata de secuencias tipo eco de gradiente, que son más rápidas que las anteriores. En estas secuencias la sangre brilla más que el miocardio y se delimita de forma muy precisa el borde endocárdico. Por ello, su aplicación más importante es el modo cine, para ver imágenes del corazón en movimiento y analizar la contracción miocárdica. La resolución temporal y espacial es buena (en torno a 30 ms y con un tamaño de pixel aproximadamente de 2x2 mm) (figura 4).



**Figura 2.** Planificación en un estudio de RM cardíaca. A partir de los localizadores (A-C), es necesario obtener los ejes largos y cortos del corazón, que son oblicuos en las tres direcciones del espacio. Se angula en una dirección a la vez, hasta obtener planos similares a los empleados en ecocardiografía (ejes cortos, 2c, 4c, 3c, etc) y otros. En RM, cualquier plano puede ser definido a partir de 3 puntos.

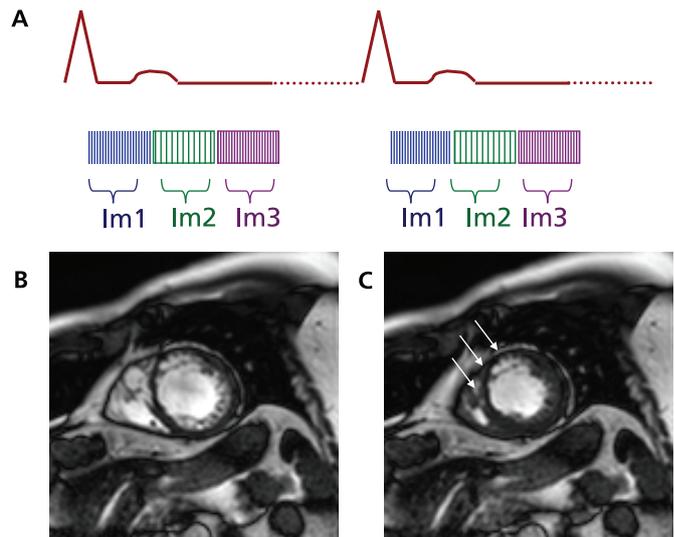
## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David



**Figura 3.** Secuencia de sangre negra. A En un vaso cuya dirección de flujo sea perpendicular al corte seleccionado (Gs), los protones excitados por el pulso de 90°, señalados en color blanco, habrán salido ya del corte cuando se aplique el 2º pulso de refase, por lo que no tendrán señal. B Estudio morfológico de aorta en paciente con aneurisma de aorta y C estudio anatómico con engrosamiento pericárdico en paciente con sospecha de constricción pericárdica.

**Figura 4.** Secuencias de sangre blanca. La adquisición es segmentada, es decir, la información para reconstruir las imágenes (Im1, Im2, Im3.. Imn) se recoge a lo largo de varios ciclos cardiacos. Modo cine: imagen diastólica (B) y sistólica (C) en eje corto de un paciente con infarto anterior crónico, observándose aquinesia de la cara anterior y septo anterior (flechas) y cierto adelgazamiento de la pared miocárdica..



Para medir los volúmenes ventriculares y la masa, se obtiene una serie de cortes en eje corto que cubren el VI desde la base hasta el apex y se analizan en una estación de trabajo. Existen métodos automáticos y manuales de **medición del borde endocárdico** y se aplica el **método análisis de Simpson** o suma de discos para calcular volúmenes ventriculares y parámetros derivados (fracción de eyección, gasto cardíaco) así como la masa miocárdica. Este método tiene una excelente reproducibilidad (errores estándar en torno al 5% en tamaño y función sistólica) por lo que es muy adecuado para ensayos clínicos y estudios seriados 1 (figura 5).

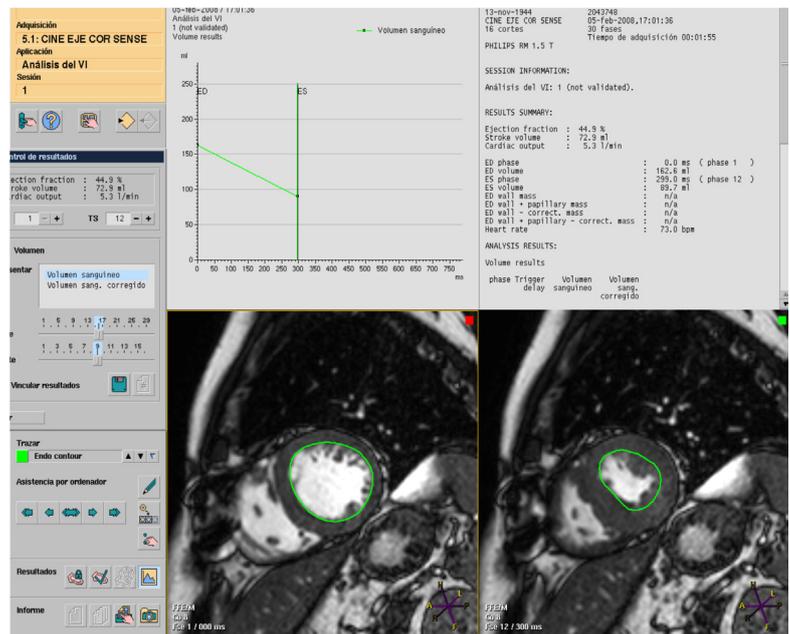
### **Secuencias de cuantificación de flujo (contraste de fase)**

Estas secuencias se basan en que una estructura en movimiento (generalmente la sangre) a través de un gradiente magnético produce un cambio de fase en el movimiento de los protones que es proporcional a la velocidad. En las imágenes resultantes esta **diferencia de fase se traduce en diferencia de intensidad de señal**. Por tanto, la intensidad de señal de cada voxel refleja la velocidad a la que éste se mueve. La correlación de las medidas de flujo sanguíneo por este método con otras técnicas invasivas y no invasivas es excelente<sup>2</sup>.

# Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

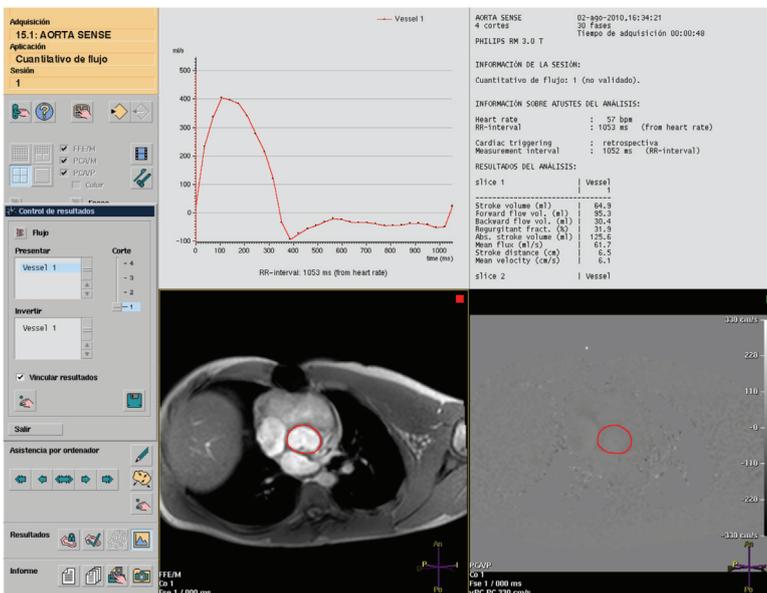
**Figura 5.** Función ventricular izquierda. La ventana de la cardio-RM sobre otras técnicas es que permite calcular los volúmenes mediante el método de Simpson (cilindros apilados) sin asunciones geométricas. Las estaciones de trabajo tienen herramientas que permiten realizar una planimetría de cada corte en telediástole y en telesístole (ver contornos verdes), calculando el volumen de cada corte; con el sumatorio de todos ellos se obtienen el volumen telesistólico y el telediastólico, calculándose a partir de ellos la fracción de eyección.



A partir de estos datos de velocidad se pueden obtener calcular el gradiente de presión entre dos cámaras aplicando la ecuación de Bernoulli simplificada ( $P = 4v^2$ ) y también calcular el flujo a través un vaso ( $\text{Flujo} = \text{área del vaso} \times \text{velocidad de los vóxeles}$ ) (figura 6). Son especialmente útiles para el estudio de valvulopatías y de cortocircuitos intracardiacos (relación flujo pulmonar/sistémico).

## Secuencias para estudios de perfusión miocárdica

El método más empleado para la valoración de la perfusión miocárdica con RM es la adquisición de imágenes durante el primer paso de un contraste derivado del gadolinio, valorando la dinámica del aumento de



**Figura 6.** Secuencias de contraste de fase. En esta secuencia a partir de una única adquisición se obtienen imágenes en sangre blanca modo cine, con el componente de magnitud (izquierda) e imágenes de velocidad con el componente de fase (derecha). En este corte, perpendicular a la aorta a la altura de la válvula aórtica, se ha definido el área del vaso (contorno rojo) y a partir de la velocidad de los voxels incluidos dentro del vaso se puede obtener el valor del flujo anterógrado y flujo retrógrado a la altura de la válvula (ver curva), lo que nos permite cuantificar la severidad de la regurgitación. En este caso se trata de una insuficiencia moderada.

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

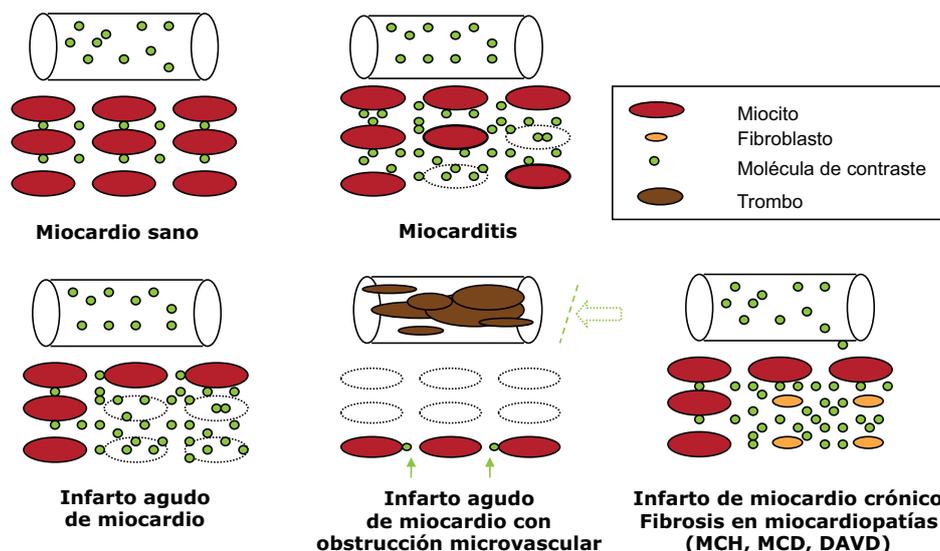
Esther Pérez David

la intensidad de señal en el miocardio. El **primer paso** es el periodo en que el contraste está en los capilares sanguíneos, antes de pasar al espacio intersticial, y dura aproximadamente un minuto, por lo que se necesitan secuencias muy rápidas.

La principal aplicación de estas secuencias es como prueba de **detección de isquemia con vasodilatadores (adenosina o dipiridamol)**.

### Realce tardío

Los contrastes derivados del gadolinio se comportan como **marcadores del espacio intersticial**. En el miocardio sano el espacio intersticial es muy pequeño por la gran compactación de los sarcómeros y por lo tanto se acumula poco contraste. En cambio, en **cualquier situación en la que aumenta el espacio intersticial miocárdico (infarto de miocardio agudo y crónico, miocarditis, cualquier patología en la que aparezca fibrosis miocárdica)** existirá un aumento de la concentración de gadolinio por unidad de volumen de tejido y estas zonas serán hiperintensas en las secuencias potenciadas en T1 (figura 7).



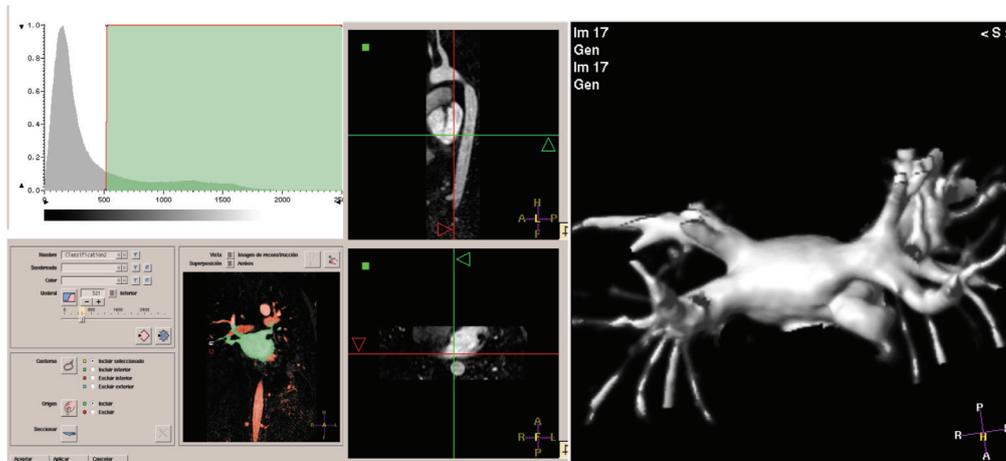
**Figura 7.** Fundamento de la secuencia de realce tardío. En el miocardio sano el intersticio es pequeño y existen pocas moléculas de gadolinio, mientras que en circunstancias en que aumenta el espacio intersticial (edema, necrosis, fibrosis) se acumula más contraste y la intensidad de señal es mayor. En el caso de obstrucción microvascular, el contraste no llega a la zona infartada y la intensidad de señal es también muy baja.

Las imágenes deben adquirirse **tras pasar al menos 10'** de la administración de 0.1-0.2 mmol/kg de un **contraste derivado del gadolinio**, para que la mayor parte del contraste se haya lavado de la sangre. La secuencia incluye también un pulso de inversión-recuperación para suprimir la señal del miocardio sano y acentuar las diferencias de intensidad de señal entre las regiones sanas (de color negro) y enfermas (de color blanco).

Esta técnica, aparentemente tan sencilla, ha revolucionado la RM cardíaca. Actualmente **es la técnica más precisa para el diagnóstico del infarto de miocardio y la viabilidad miocárdica**. Por medio del estudio de la distribución del realce, permite también el diagnóstico y la estratificación de riesgo de múltiples miocardiopatías y de la miocarditis.

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David



**Figura 8.** Postprocesado de angiografía 3D con contraste en RM. Las estaciones de trabajo permiten seleccionar las estructuras de interés, realizar reconstrucciones multiplanares con cualquier orientación y realizar reconstrucciones 3D del tipo volume-rendering (derecha, visión de las 4 venas pulmonares desembocando en la AI, vista posterior).

### **Angiografías con contraste:**

Tienen la ventaja de ser inocuas (sin radiación y sin necesidad de un acceso arterial). Son adquisiciones 3D con cortes muy finos que permiten posteriormente realizar un postprocesado de las imágenes que incluye reconstrucciones multiplanares (figura 8). **Son muy útiles para valorar arterias y venas pulmonares, aorta y sus ramas (carótidas, renales, etc).**

### **Secuencias para arterias coronarias:**

Las más empleadas son secuencias del tipo sangre blanca, con adquisición 3D. Para evitar el movimiento de la coronaria estos estudios tienen técnicas específicas de sincronismo respiratorio y la adquisición sólo se realiza durante el periodo de reposo diastólico de la arteria coronaria. Las principales limitaciones de estas secuencias son el largo tiempo de adquisición (10'-15') y su resolución espacial relativamente baja en comparación con el TC.

## **5. ASPECTOS RELACIONADOS CON LA SEGURIDAD EN RM**

La RM se considera una técnica inocua en las condiciones empleadas en la práctica clínica. En las técnicas de rayos X, las radiaciones ionizantes pueden actuar sobre los electrones de los átomos y dañar el ADN. En cambio, en la RM, la interacción se produce con el núcleo del átomo; las ondas de radiofrecuencia son de una frecuencia relativamente baja y por tanto su energía es insuficiente para afectar a los electrones.

Sin embargo, existen tres aspectos muy importantes para la seguridad del procedimiento (3):

1. Los **objetos ferromagnéticos** cerca del campo magnético (tijeras, bombonas de oxígeno, etc) pueden convertirse en proyectiles y lesionar al paciente.
2. **Algunos dispositivos médicos metálicos** pueden también suponer un riesgo para el paciente. Si tienen material ferromagnético (lo que actualmente es muy infrecuente), se pueden calentar o desplazar. Como recomendación general, debe siempre hacerse una buena historia clínica dirigida antes de la RM. Si existen dudas, siempre se debe recabar más información sobre el dispositivo antes del procedimiento (la página web [mrisafety.com](http://mrisafety.com) proporciona información exhaustiva sobre el tema). Las contraindicaciones más frecuentes para la RM se resumen en la tabla II.

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

**Tabla II**  
Contraindicaciones más frecuentes a la realización de RM

CONTRAINDICACIONES A LA RM
<ul style="list-style-type: none"><li>• Clip de aneurisma cerebral (contraindicación absoluta excepto si no ferromagnéticos).</li><li>• Cuerpos extraños por accidente, especialmente intraoculares (esquirla metálica, metralla, etc.).</li><li>• Implantes cocleares o estimuladores neurales.</li><li>• Catéter de Swan-Ganz</li><li>• Portadores de marcapasos temporal o definitivo o desfibrilador implantable (especialmente modelos &lt;2000 o implantados &lt;3 meses, pacientes dependientes de marcapasos).</li><li>• Intolerancia al decúbito</li><li>• Claustrofobia intratable</li></ul>
CONTRAINDICACIONES AL CONTRASTE DE GADOLINIO*
<ul style="list-style-type: none"><li>• Insuficiencia renal avanzada con filtrado glomerular &lt; 30 ml/min o diálisis</li><li>• Pacientes que van a recibir o han recibido recientemente un trasplante hepático</li><li>• Niños &lt; 1 año de edad</li></ul>

\* se considera contraindicación absoluta para lineales y relativa para macrocíclicos.

En el campo de la cardiología, frecuentemente nos vamos a encontrar con pacientes con dispositivos intracardiacos:

- No se han descrito efectos adversos relacionados con prótesis ni anillos valvulares**, y las fuerzas que ejercen tanto la contracción miocárdica como el flujo pulsátil sobre una prótesis valvular son mucho más fuertes que las relacionadas con un campo magnético de 1.5 o 3T.
- ETampoco se han demostrado nunca complicaciones en pacientes con stents coronarios, dispositivos de cierre de cortocircuitos (tipo Amplatzer), o alambres de las esternotomías.**
- En general, **se desaconseja formalmente someter a los pacientes con marcapasos y desfibriladores a este tipo de exploraciones.** Los potenciales problemas relacionados con ellos incluyen desplazamiento o inhibición del dispositivo, activación de las terapias antiarrítmicas, estimulación cardíaca y calentamiento de la punta del electrodo, aunque son menos importantes en los modelos desarrollados a partir del año 2000. Se está realizando un esfuerzo de investigación muy importante en este campo en los últimos años, que ha llevado a la comercialización de marcapasos compatibles con RM, que aún no están muy difundidos por su alto coste (EnRhythm MRI SureScan®, de Medtronic, Entovis ProMRI®, de Biotronik, etc).

- Efectos adversos relacionados con los contrastes derivados del gadolinio.  
Se han descrito náuseas y vómitos, cefalea y reacciones alérgicas, todos ellos muy infrecuentes. En los últimos años se ha descrito la **fibrosis sistémica nefrogénica (FSN)**, una enfermedad relacionada con la presencia de gadolinio libre en el organismo, que se produce en pacientes con insuficiencia renal avanzada (filtrado glomerular < 30 ml/min) y diálisis. En estos pacientes, la ausencia de aclaramiento del contraste favorece la separación del gadolinio de su molécula quelante, y el gadolinio libre es muy tóxico. No obstante, incluso en este grupo de riesgo, la incidencia de FSN se encuentra entre **1-5%**. Casi todos los casos descritos están en relación con contrastes lineales, que son más inestables; los contrastes macrocíclicos son compuestos poco proclives a producir este tipo de efectos adversos (4).

La agencia española del medicamento **contraindica de forma absoluta el uso de contrastes lineales en pacientes con insuficiencia renal grave y diálisis**, así como en pacientes que van a recibir o han recibido recientemente un **trasplante hepático**. Los contrastes macrocíclicos están sólo relativamente contraindicados

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

pero la dosis de contraste debe ser la mínima posible y se debe dejar al menos una semana de intervalo entre resonancias.

### APLICACIONES CLINICAS DE LA RM EN CARDIOLOGIA

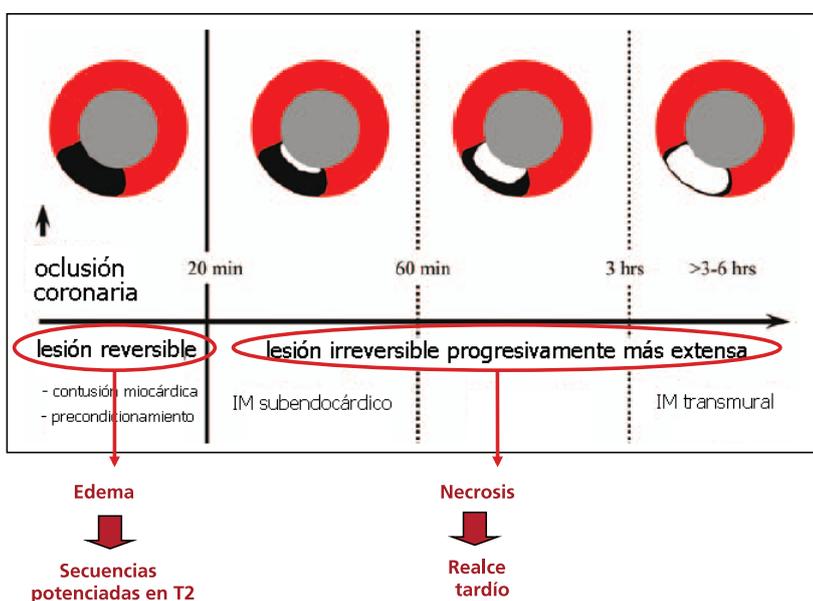
#### 1. CARDIOPATÍA ISQUÉMICA

##### Estudio de la necrosis miocárdica aguda y crónica

El infarto de miocardio (IM) se puede detectar de forma muy fiable en cualquier momento de su evolución mediante la **técnica de realce tardío**. Como se comentó previamente, las zonas necróticas retienen el contraste y se ven de color blanco. Existe una correlación casi perfecta entre el área de realce de la RM y la región con daño irreversible demostrado mediante técnicas de anatomía patológica en modelos experimentales (5). También existen numerosas series clínicas en las que se ha confirmado que la RM identifica con gran precisión la presencia, localización y distribución transmural de los IM (6). **La RM es superior al SPECT** para la detección de **infartos subendocárdicos** por su mejor resolución espacial (7). También permite detectar microinfartos secundarios a procedimientos percutáneos (8). Se ha demostrado que en comparación con los criterios tradicionales, incrementa la detección de infarto de VD (9).

En el infarto agudo de miocardio (IAM), **el área en riesgo tras una oclusión coronaria se puede calcular con secuencias de sangre negra potenciada en T2**, porque el miocardio con isquemia severa se edematiza y brilla en este tipo de imágenes. El área en riesgo es mayor que el tamaño final del infarto, que se puede medir en las secuencias de realce tardío; comparando ambas áreas, se puede estimar el área de miocardio salvado mediante una determinada intervención (10) (figura 9). **Las secuencias T2 permiten diferenciar entre IAM e infarto crónico** (figura 10, imágenes A-C).

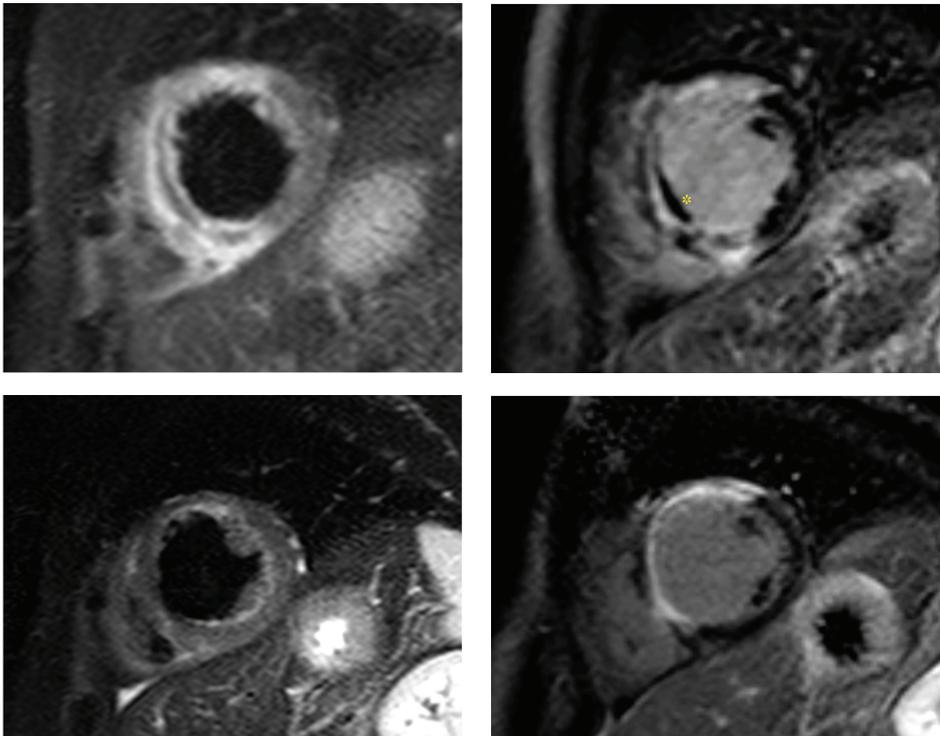
Mediante RM se puede detectar también el fenómeno de **obstrucción microvascular**, secundario a necrosis de los capilares en el contexto de isquemia severa y mantenida, así como a embolización distal (11). En esta situación, el contraste no llega a la zona, porque no consigue penetrar en los capilares. **La zona de obstrucción microvascular se ve paradójicamente como una zona subendocárdica negra en el núcleo del infarto, puesto que no tiene contraste**. Sin embargo, es fácil de identificar, ya que aparece en el centro de un infarto de gran tamaño, donde no cabe esperar que exista miocardio viable, y se corresponde con un defecto de perfusión muy marcado en los estudios de perfusión en primer paso (figura 10, imágenes B-D). **Este hallazgo**



**Figura 9.** Estudio del infarto agudo de miocardio con RM. El fenómeno inicial en la isquemia es el edema, que se puede detectar mediante secuencias T2. Si la oclusión coronaria no se interrumpe, comienza la necrosis en frente de onda desde el subendocardio, que se detectará como una zona hiperintensa en las secuencias de realce tardío. Si el proceso se interrumpe (p.ej por tratamiento de reperfusión), la diferencia entre el área de edema y el área necrótica nos determinará el área de miocardio salvado..

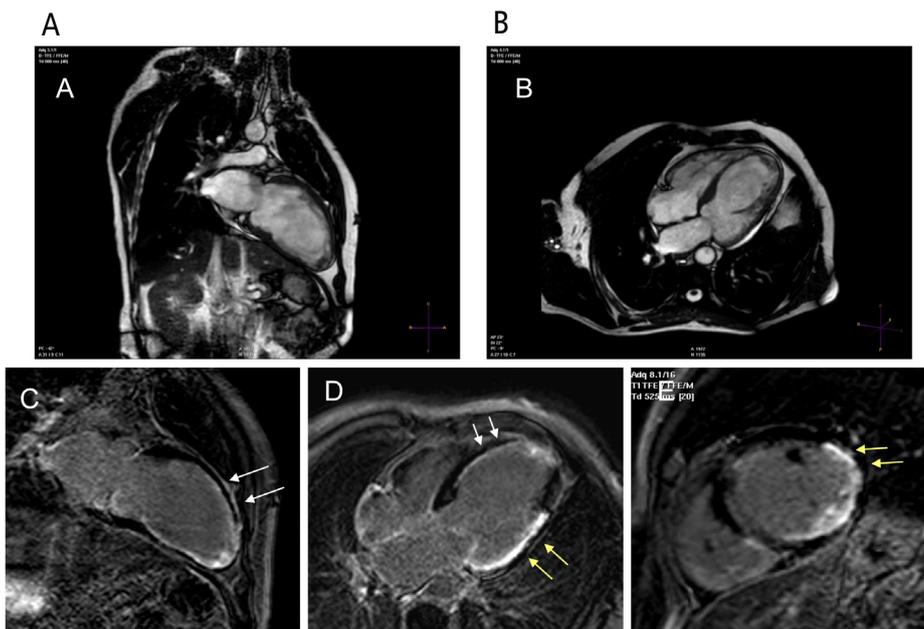
## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David



**Figura 10.** Infarto agudo de miocardio anterior con obstrucción microvascular. Fase aguda (A-B): A: imagen potenciada en T2 en que la zona hiperintensa corresponde a la zona de edema. B: imagen de realce tardío mostrando necrosis extensa, y en el centro un área sin señal que corresponde a la zona de obstrucción microvascular (asterisco). El área de edema es similar a la de necrosis, ya que en este paciente la angioplastia primaria fue muy tardía; no existe miocardio salvado en este caso. Seguimiento a los 6 meses (C-D): C: el edema ha desaparecido en las imágenes en T2. D: La obstrucción microvascular también se ha resuelto, permaneciendo la necrosis transmural anterior y del septo. Las posibilidades de recuperación de la función ventricular en este paciente son bajas..

es un predictor independiente de complicaciones post-IAM (insuficiencia cardíaca y muerte) y de remodelado ventricular adverso.



**Figura 11.** Paciente con enfermedad de 3 vasos (oclusión de DA media y Cx proximal) y disfunción ventricular izquierda de origen isquémico. A-B —ver videos 1 y 2—: videos en modo cine (2 cámaras, izquierda y 4 cámaras, derecha) y ejes cortos —ver video 3— que muestran disfunción global severa del ventrículo izquierdo y un pequeño trombo apical. C-E: imágenes de realce tardío (2 cámaras, 4 cámaras y eje corto a la altura de los papilares). Se observan dos escaras de origen isquémico, una de ellas subendocárdica (25-50% del espesor) afectando a los 2/3 distales del septo anterior y cara anterior, apex (flechas blancas); la segunda afecta de forma casi transmural a los segmentos basales y medios de cara lateral, inferolateral extendiéndose a la cara inferior

(flechas amarillas). Existe un beneficio potencial importante de la revascularización de la descendente anterior, ya que en su territorio existe una cantidad sustancial de miocardio viable, mientras que en el territorio de la circunfleja la escara es más importante y la posibilidad de recuperación funcional tras la revascularización es baja..

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

El porcentaje de espesor miocárdico afectado es inversamente proporcional a la recuperación de la función contráctil tras la revascularización en los pacientes con cardiopatía isquémica, tanto aguda como crónica (figura 11). En el estudio ya clásico de Kim, se realizó esta técnica en 50 pacientes consecutivos con disfunción ventricular izquierda, antes de la revascularización: 256 de 329 (78%) segmentos sin realce mejoraron a las 11 semanas de seguimiento, mientras que sólo uno de 78 segmentos con afectación superior al 75% mejoró (12).

La presencia y extensión de una escara isquémica con esta técnica tienen un gran valor pronóstico, en términos de eventos cardiovasculares y mortalidad. En una serie de pacientes con cardiopatía isquémica, el realce tardío predijo mejor los eventos adversos durante el seguimiento que la fracción de eyección (13).

El realce tardío permite obtener información desconocida hasta ahora por otras técnicas. Se ha demostrado que las escaras necróticas pueden ser heterogéneas, con zonas de escara densa y otras de densidad intermedia ("zona gris") en que existe una mezcla de miocitos necróticos y viables. La existencia de zona gris se asocia a un mayor riesgo arrítmico. Además, la zona gris puede estar organizada en forma de canales intraescara, comunicados con el miocardio sano. Estos canales constituyen el istmo del circuito reentrante de las taquicardias ventriculares (TV) y la ablación de TV va dirigida hacia su supresión. La detección de estos canales mediante RM puede ayudar por lo tanto a planificar este tipo de procedimientos (14).

En resumen, en el documento de uso apropiado de la RM se mencionan como indicaciones apropiadas de la técnica de realce tardío en la cardiopatía isquémica (15):

- La determinación de la localización y extensión de la necrosis miocárdica, incluyendo la zona de obstrucción microvascular.
- La valoración de la viabilidad previamente a una intervención de revascularización coronaria.
- La valoración de la posibilidad de recuperación tras la revascularización.

### Estudio de viabilidad con RM. Realce tardío y reserva contráctil.

Como hemos visto en el apartado anterior, la RM es la única técnica que permite valorar en la práctica clínica la viabilidad miocárdica anatómica mediante la técnica de realce tardío. Además, este método se puede combinar con la evaluación de la reserva contráctil tras la administración de dobutamina. Se ha comparado la evaluación de la reserva contráctil con dobutamina en RM con la técnica del realce tardío; no mejora los resultados en segmentos con >50% de afectación del espesor miocárdico, pero puede ser útil en segmentos con afectación intermedia (25-50%)(16).

En la práctica, en la mayor parte de los casos es suficiente la técnica de realce tardío, que desde el punto de vista logístico es más fácil de organizar, para la evaluación de la viabilidad miocárdica.

### Pruebas de detección de isquemia con RM

En las pruebas de detección de isquemia con imagen, el objetivo buscado es identificar fenómenos que aparecen precozmente en la cascada isquémica. Mediante RM se pueden detectar alteraciones reversibles de la contracción durante el estrés (estudios de estrés-dobutamina) o defectos de perfusión inducibles con el estrés (estudios de perfusión en primer paso).

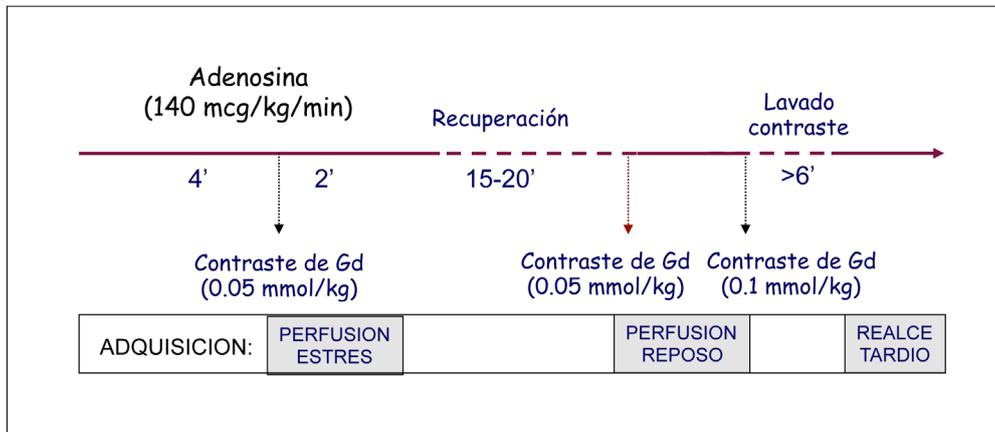
#### a) Estudios de estrés-dobutamina

Se adquieren imágenes en modo cine en condiciones basales y a dosis crecientes de dobutamina (incrementos de 10 mcg/kg/min cada 3 minutos, alcanzando dosis de 40 mcg/kg minuto, y añadiendo hasta 1 mg de atropina si la prueba es negativa y el paciente no ha alcanzado el 85% de la frecuencia cardíaca máxima prevista). Los criterios de positividad, como en eco, son la aparición de un empeoramiento de la contracción segmentaria con el estrés o una respuesta bifásica.

La monitorización de las alteraciones del segmento ST no es posible dentro del imán por los artefactos que aparecen en el registro ECG, lo que supone una cierta pérdida de información. Este problema debe compensarse con una monitorización continua de ritmo y frecuencia cardíaca, pulsioximetría, tensión arterial, así como de una comunicación frecuente con el paciente (17). Debe evaluarse la contracción segmentaria al final de cada fase, por si aparecen nuevas alteraciones que aconsejen terminar la prueba. Con todos estos requisitos, los efectos adversos son poco frecuentes.

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David



**Figura 12.** Protocolo de realización de estudio de estrés-perfusión con RM

En el efecto pico de la adenosina se obtienen las imágenes de perfusión con estrés; una vez eliminado el efecto del vasodilatador, se obtienen las imágenes en reposo. El estudio se completa con secuencias de realce tardío para descartar la presencia de escara miocárdica correspondiente a infartos de miocardio, que pueden manifestarse como defectos de perfusión fijos (tanto en estrés como en condiciones basales).

### b) Estudios de perfusión en primer paso con vasodilatadores.

Se basan en la **detección de alteraciones reversibles de la perfusión miocárdica**, realizando dos adquisiciones de imágenes durante el **primer paso de un contraste derivado del gadolinio, en condiciones basales y durante la administración de un vasodilatador (adenosina o dipiridamol)**.

El protocolo de administración de adenosina es de 140 mcg/kg/min durante 6 minutos (figura 12). El del dipiridamol es similar al empleado en eco de estrés. Cada dosis de contraste es de 0.05-0.1 mmol/kg inyectados a 3-4 ml/min, seguidos de un bolo de 20 ml de salino. Los requerimientos de monitorización son los mismos que para la prueba de estrés con dobutamina.

Los efectos adversos menores relacionados con la vasodilatación generalizada (cefalea, rubor, opresión torácica) son frecuentes, pero de corta duración. Los efectos adversos severos son raros: broncoespasmo (0,2%), bloqueo auriculoventricular de alto grado (0,8%), paro sinusal e infarto agudo de miocardio (0,1%). El broncoespasmo puede ser prolongado y requerir la administración de teofilina.

**La interpretación de los estudios de perfusión puede realizarse de dos maneras:**

1. **Análisis visual:** Consiste en la identificación de zonas hipoperfundidas, es decir, con menos cantidad del contraste o con llenado más lento. Estos defectos de perfusión suelen ser subendocárdicos, aunque si la isquemia es muy severa pueden ser transmurales. **Cuando estas alteraciones aparecen en el estudio de estrés y no están presentes en el estudio de reposo, son sugerentes de isquemia;** si aparecen en los dos estudios (**defecto fijo**) puede tratarse de un infarto previo o de un artefacto (la secuencia de realce tardío puede ayudar a diferenciar uno de otro) (18).

2. **Análisis semicuantitativo:**

Se basa en el análisis en una estación de trabajo de la pendiente de ascenso de la curva de intensidad de señal en cada segmento miocárdico. Este método, aunque es más laborioso, es más reproducible (19).

### c) Comparación de los resultados de ambos tipos de pruebas de detección de isquemia

Los estudios de perfusión con vasodilatadores son más rápidos y tienen una menor incidencia de complicaciones que los de dobutamina, por lo que son los más empleados por la mayor parte de los grupos.

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

La validez diagnóstica de ambos tipos de pruebas para el diagnóstico de isquemia es similar en grupos experimentados, aunque con una tendencia a una mayor sensibilidad en los estudios de perfusión y una mayor especificidad en los estudios de estrés con dobutamina. Tanto la prueba de estrés con perfusión como la prueba de estrés con dobutamina tienen similar valor pronóstico; si son negativas, el número de eventos cardiovasculares al año de seguimiento es muy bajo (0.7% y 1.2%, respectivamente) (20).

En los últimos años han ganado popularidad las pruebas combinadas, en las que tras administrar un fármaco inductor de estrés se adquieren tanto imágenes de perfusión como de modo cine. Las más usadas son las pruebas de RM con dipiridamol, en las que al protocolo habitual con perfusión en el pico de estrés se añaden secuencias de cine. Los estudios combinados aportan más información pronóstica que los simples. Bodi et al observaron que los pacientes con defectos de perfusión inducibles que además presentaban una alteración de la contracción segmentaria inducible tenían peor pronóstico que los pacientes que únicamente presentaban defectos de perfusión, y el primer grupo era el único que se beneficiaba de tratamiento de revascularización coronaria (21).

En el documento de uso apropiado de RM, se consideran indicaciones apropiadas de este tipo de pruebas:

- La evaluación de pacientes con dolor torácico, en caso de que el ECG no sea interpretable o el paciente no sea capaz de realizar ejercicio.
- La valoración de la repercusión funcional de una lesión coronaria dudosamente significativa (15).

### Coronariografía no invasiva con RM

Esta técnica tiene la ventaja de no radiar y no requerir contraste. Además no se ve afectada por el calcio, a diferencia del TC. Sin embargo, la resolución espacial obtenida sigue siendo insuficiente para la mayor parte de las aplicaciones clínicas.

Está demostrada la utilidad de la RM para descartar anomalías coronarias y estudiar aneurismas (enfermedad de Kawasaki). En pacientes con cardiopatía isquémica, la mayor parte de los estudios han sido publicados por centros de referencia, con buenos resultados en los segmentos proximales. En un estudio multicéntrico, el valor predictivo negativo para detectar enfermedad de tronco y tres vasos fue del 100% (22). Por tanto, se puede recomendar su uso únicamente en centros con experiencia para identificar pacientes con enfermedad multivaso o para descartar la oclusión de una coronaria nativa o injerto, en casos muy seleccionados.

En el documento de uso apropiado de RM, se considera apropiada la técnica para evaluar pacientes en que se sospecha la presencia de una anomalía coronaria (15).

## 2. MIOCARDIOPATÍAS Y MIOCARDITIS

En general, la RM es una técnica útil para estudiar los pacientes con hipertrofia o disfunción sistólica del ventrículo izquierdo, o cualquier lesión no relacionada con la cardiopatía isquémica. Específicamente, es muy útil para aclarar el diagnóstico, y con frecuencia establecer el pronóstico, en las siguientes situaciones:

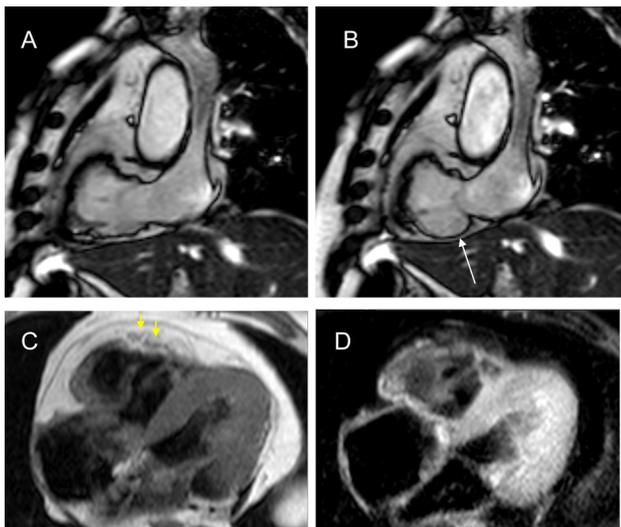
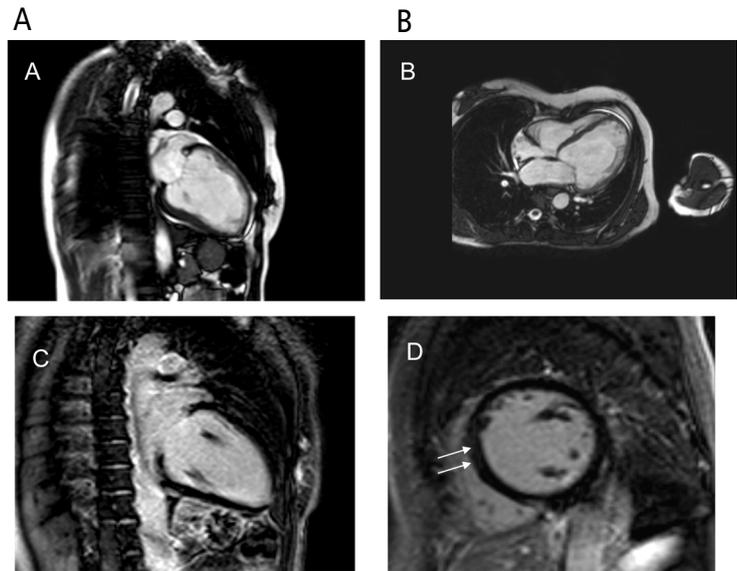
- Pacientes con elevación de marcadores de daño miocárdico, sin lesiones coronarias, para establecer el diagnóstico diferencial entre IAM (embólico, por vasoespasma) y miocarditis o síndrome de Tako-Tsubo (23-24).
- Pacientes con síncope o arritmias ventriculares, para descartar cardiopatía estructural.
- Pacientes con sospecha de amiloidosis o enfermedades infiltrativas (25).
- Pacientes con miocardiopatía dilatada con coronarias normales, para descartar necrosis isquémica no conocida, miocarditis, etc.

Todas estas indicaciones se consideran apropiadas en el documento publicado en 2006 (15). También se considera apropiado el uso de la RM para el estudio de las miocardiopatías específicas como la miocardiopatía hipertrófica (MCH), la displasia de ventrículo derecho, así como de la miocarditis.

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

**Figura 13.** Paciente con miocardiopatía dilatada y coronarias normales. Videos A y B —ver vídeo 4 y 5—: secuencias en modo cine, planos 2 cámaras y 4 cámaras. Imágenes C-D: En el estudio de realce tardío se observa un tenue realce mesocárdico en el septo (flechas) compatible con fibrosis avanzada a ese nivel, pero sin escaras de origen isquémico.



**Figura 14.** Paciente con displasia de VD. A-B: plano de 2 cámaras derechas en modo cine; en la cara inferior del VD se observa un adelgazamiento severo de la pared y una amplia zona disquinética (flecha blanca). C Imagen en sangre negra potenciada en T1, plano de 4 cámaras; existe un punteado hiperintenso en el VD sugerente de infiltración grasa macroscópica (flechas amarillas). D Imagen en sangre negra con pulso de supresión grasa; el punteado descrito en la imagen previa desaparece, reforzando el diagnóstico de infiltración grasa.

### Miocardiopatía dilatada

La RM permite medir de forma precisa los volúmenes ventriculares izquierdos, la fracción de eyección y también la función ventricular derecha; todo ello puede ser útil para el seguimiento y para valorar la respuesta al tratamiento.

Un aspecto clave en el estudio de estos pacientes es el diagnóstico diferencial entre la **miocardiopatía dilatada (MCD) isquémica y no isquémica**. Establecer claramente el diagnóstico tiene relevancia clínica, porque la **MCD isquémica tiene peor pronóstico**, requiere medidas de prevención secundaria y en algunos casos se puede beneficiar de revascularización coronaria.

Tradicionalmente se ha utilizado la angiografía coronaria para este fin, pero a raíz de los resultados de estudios con RM y realce tardío se ha visto que existen tanto **falsos positivos** (es decir, lesiones coronarias que no justifican la disfunción ventricular) como **falsos negativos** (es decir, pacientes con realce tardío isquémico, compatible con infartos silentes, y arterias coronarias sin lesiones). En un estudio de RM en pacientes con MCD con coronarias normales, 59% no presentaron realce, 28% presentaron zonas de hipercaptación meso-

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

cárdicas, especialmente en el septo, y 13% presentaron hipercaptación compatible con necrosis isquémica (26). El realce mesocárdico se correlaciona con la severidad de la fibrosis en estudios anatomopatológicos y se relaciona con un mayor riesgo arrítmico (27) (figura 13).

En caso de plantearse la posibilidad de un dispositivo de resincronización, la masa total de escara y las escaras en determinadas localizaciones como el septo o la cara posterolateral determinadas mediante estudio de realce tardío permiten identificar un porcentaje sustancial de pacientes no respondedores (28).

### Displasia arritmogénica de VD

La **displasia arritmogénica de VD** es difícil de estudiar con cualquier técnica de imagen, pero la RM en el momento actual es la **mejor opción disponible**. Los protocolos combinados con valoración funcional (contracción regional, aneurismas, volúmenes ventriculares) y caracterización tisular (infiltración grasa y fibrosis) dan resultados excelentes en comparación con los estudios genéticos (29) (figura 14). También es la mejor técnica para el estudio de familiares.

Recientemente se han publicado los nuevos criterios diagnósticos de VD (30). En ellos se han incorporado datos cuantitativos de volúmenes ventriculares con RM, pero no la infiltración grasa detectada con RM. La frecuencia relativamente alta de **falsos positivos** basados en las secuencias de infiltración grasa (ancianos, obesos, etc) y falsos negativos (por limitaciones en la resolución espacial ha hecho que este hallazgo no se incluya en los criterios diagnósticos (31). El hallazgo de fibrosis con realce tardío tampoco ha sido incluido en dichos criterios, probablemente por necesidad de una mayor experiencia con esta técnica.

Los criterios diagnósticos de DAVD que se pueden definir a partir del estudio de RM son los siguientes (30):

#### Criterio mayor:

- **Aquinesia o disquinesia regional del VD o contracción asíncrona**
- Y uno de los siguientes:
  - **Volumen telediastólico del VD ajustado a la superficie corporal >110 ml/m<sup>2</sup> (varón) o >100 ml/m<sup>2</sup> (mujer)**
  - **Fracción de eyección del VD <40%.**

#### Criterio menor:

- **Aquinesia o disquinesia regional del VD o contracción asíncrona**
- Y uno de los siguientes:
  - **Volumen telediastólico del VD ajustado a la superficie corporal >100 y <110 ml/m<sup>2</sup> (varón) o >90 y 100 ml/m<sup>2</sup> (mujer)**
  - **Fracción de eyección del VD >40 y <45%.**

### Miocardiopatía hipertrófica

La RM es una técnica excelente para el **diagnóstico de MCH** y es superior al eco para identificar hipertrofia regional, especialmente en los **segmentos medios y basales de cara anterior y lateral y en la MCH apical**. Está claramente indicada en caso de mala calidad del eco o en caso de discordancia clínica-ECG con el ecocardiograma.

Es muy frecuente la existencia de zonas de hipercaptación en las secuencias de realce tardío, que representan **fibrosis miocárdica** (figura 15, A). Suelen encontrarse en los puntos de inserción del VD en el septo y en los segmentos con mayor hipertrofia. A mayor extensión del realce, mayor riesgo de insuficiencia cardíaca y muerte súbita durante el seguimiento (32). **En la MCH apical, el realce tardío permite detectar pacientes de alto riesgo de arritmias y eventos embólicos por haber desarrollado aneurismas apicales** (33) (figura 15, B).

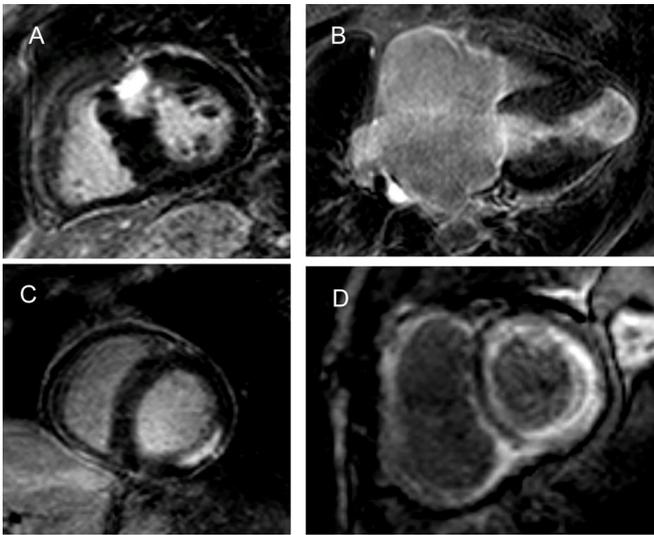
La RM es útil también para diferenciar causas de hipertrofia ventricular izquierda que pueden simular MCH (34). **El patrón de realce en los puntos de inserción del VD es característico de la MCH; en cambio, un patrón de realce inferolateral sugiere una enfermedad de Fabry** (figura 15, C).

### Miocardiopatía no compactada

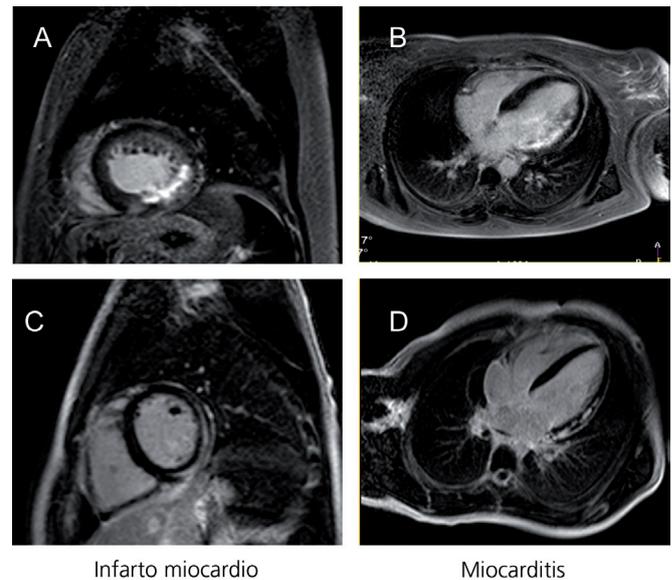
La RM permite definir muy bien las trabéculas y recesos presentes en esta enfermedad y puede ser muy útil para establecer el diagnóstico y diferenciarla de otras entidades que afectan el apex (MCH apical, fibrosis

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David



**Figura 15.** Patrones de realce tardío característicos de diferentes miocardiopatías que se asocian a aumento de los espesores miocárdicos. A. Miocardiopatía hipertrófica; aunque se han descrito diferentes patrones, es frecuente que se encuentre realce en los puntos de inserción del VD. B. Miocardiopatía hipertrófica apical evolucionada con desarrollo de aneurisma apical. C. Enfermedad de Fabry, con realce mesocárdico posterolateral. D. Amiloidosis cardíaca en paciente con discrasia sanguínea de base, observándose el típico patrón de hipercaptación en anillo.



**Figura 16.** Imágenes de realce tardío correspondientes a dos pacientes con elevación de marcadores de daño miocárdico y coronarias normales. A-B eje corto y 2 cámaras; sólo se observa un foco de realce, subendocárdico; el diagnóstico final fue de infarto de miocardio. C-D eje corto y 2 cámaras; se observa un patrón de realce multifocal que respeta el subendocardio; el diagnóstico final fue de miocarditis. Mediante criterios sencillos basados en la distribución del realce se puede establecer el diagnóstico final en un porcentaje importante de los casos.

endomocárdica). Se ha definido un cociente entre las porciones no compacta/compacta de 2.3 para diferenciarla de otras enfermedades que pueden presentar cierto grado de hipertrabeculación (35)

### Amiloidosis

La infiltración miocárdica por amiloide es muy frecuente en los pacientes con amiloidosis sistémica y produce una falsa "hipertrofia" ventricular y disfunción ventricular. El gadolinio se acumula de forma muy llamativa en el tejido afecto por lo que mediante la técnica de realce tardío el diagnóstico de afectación cardíaca por amiloidosis se puede realizar con mucha seguridad. **El patrón característico es una hipercaptación subendocárdica global, en anillo** (36) (figura 15, D), aunque se han descrito otros patrones menos frecuentes (global transmural, focal, etc).

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

### Enfermedades por sobrecarga de hierro

La introducción de secuencias que permiten valorar el contenido del hierro del miocardio mediante la cuantificación del tiempo de relajación transversal del miocardio (T2\*) se ha convertido en el patrón oro de diagnóstico y de control de la respuesta al tratamiento con quelantes del hierro. El T2\* miocárdico tiene una buena correlación con la función sistólica del VI pero no con el contenido hepático de hierro (37).

### Miocarditis

Tradicionalmente el diagnóstico de la miocarditis ha sido difícil. La RM ha transformado esta situación y permite generalmente establecer el diagnóstico con seguridad y diferenciarlo de otras entidades (figura 16). También se ha demostrado que la biopsia endomiocárdica guiada por los hallazgos de RM tiene mejores resultados (38). Se recomienda un protocolo combinado para detectar (39):

- Edema/inflamación con secuencias potenciadas en T2
- Hiperemia, comparando la intensidad de señal entre miocardio y músculo esquelético precozmente tras la administración de contraste.
- Necrosis con técnica de realce tardío. Típicamente se observa un patrón parcheado subepicárdico o mesocárdico, lo que permite el diagnóstico diferencial de los eventos isquémicos que nunca respetan el subendocardio. Es frecuente la localización lateral o inferolateral, aunque la localización depende del tropismo del virus (40).

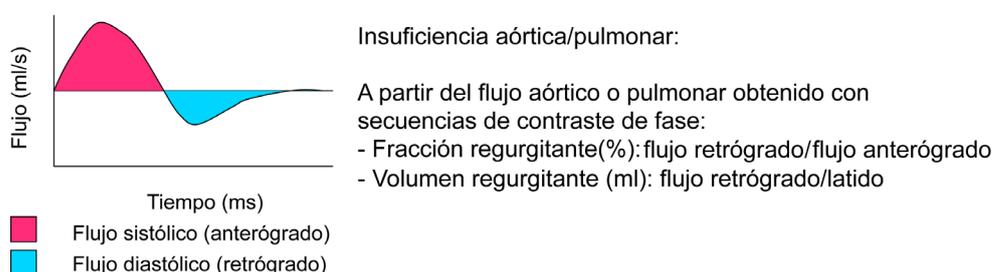
### 3. VALVULOPATÍAS

La RM es una técnica que permite una excelente evaluación anatómica de las válvulas, cuantificar la severidad de estenosis y regurgitaciones y valorar la repercusión de la lesión valvular sobre el VI.

En las guías de valvulopatías publicadas en el 2006 se recomienda para valoración seriada de los volúmenes ventriculares en los pacientes con insuficiencia aórtica y mala ventana ecocardiográfica (clase I), así como en los pacientes con válvula bicúspide para valorar raíz aórtica y aorta ascendente si el eco es insuficiente (clase I) y en todos los pacientes si existe dilatación de la raíz aórtica (clase IIa) (41).

### Valvulopatía aórtica:

La RM es superior al ecocardiograma para el diagnóstico de válvula bicúspide y variantes infrecuentes (unicúspide, cuadrícúspide). Mediante imágenes en modo cine se puede valorar la apertura valvular y medir



### Criterios de severidad de la insuficiencia aórtica (IAo)

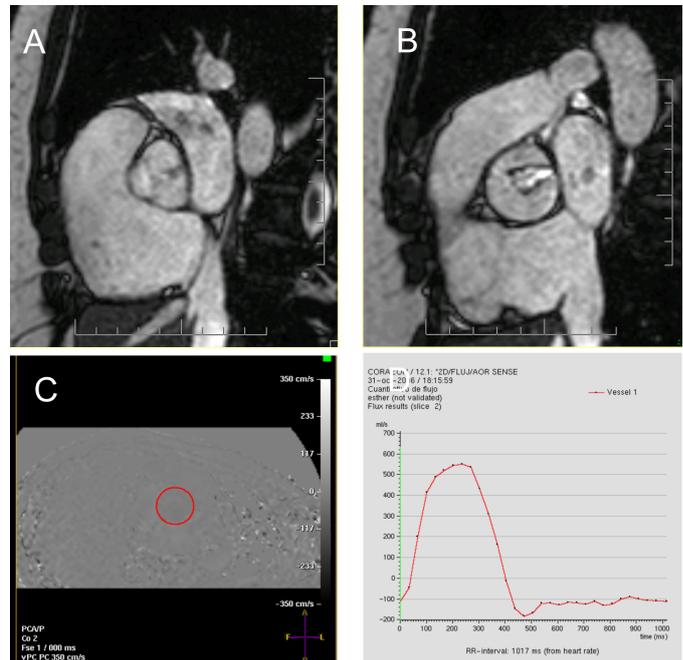
Grado	Volumen regurgitante (ml/latido)	Fracción regurgitante (%)
Ligera	<30	<20%
Moderada	30-44	20-40%
Moderada-severa	45-59	>40%
Severa	>60	>50%

Figura 17. Cálculo de la severidad de la insuficiencia aórtica y pulmonar con la técnica de contraste de fase..

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

**Figura 18.** Estudio de valvulopatía aórtica. A-B Imágenes en modo cine, eje corto de la válvula aórtica (A: diástole; B: sístole); cuando la válvula está abierta, se observa fusión de dos comisuras aórticas, constituyendo por tanto una válvula unicúspide. C-D: contraste de fase; en la imagen C, se define el contorno del vaso y por tanto los voxels contenidos en él, para cuantificar el flujo a lo largo del ciclo cardíaco. El resultado es la curva de la imagen D, en la que se observa flujo retrógrado holodiastólico; la fracción de regurgitación fue del 53%, es decir, se trataba de una insuficiencia aórtica severa.



el área por planimetría. También se puede valorar de manera visual la existencia de regurgitaciones, ya que el flujo turbulento produce un vacío de señal.

Las secuencias de contraste de fase permiten valorar la severidad de la estenosis (42). Aplicando la ecuación de Bernouilli simplificada, a partir de los valores de velocidad pico y velocidad media se puede calcular el gradiente transaórtico máximo y medio, respectivamente. La RM no es superior al ecocardiograma para esta aplicación salvo en caso de mala ventana ecocardiográfica.

Mayor utilidad clínica tiene la estimación de la severidad de la regurgitación, que es difícil por ecocardiograma. La RM ofrece un método cuantitativo sencillo y preciso que se basa en el cálculo de la fracción de regurgitación, dividiendo el flujo anterógrado por el flujo retrógrado (2) (figuras 17 y 18).

### Valvulopatía mitral:

La utilidad de la RM es menor que en la valvulopatía aórtica, ya que el eco transtorácico combinado con el transesofágico (ETE) es un método excelente para la valoración anatómica y funcional de la válvula mitral. En pacientes en los que no se puede realizar ETE, la RM es una alternativa. En casos seleccionados la RM puede ser útil para cuantificar la regurgitación mitral, pero es necesario emplear un método indirecto a diferencia de la valvulopatía aórtica y pulmonar.

### Valvulopatía pulmonar

La mayor parte de estos pacientes tienen cardiopatías congénitas (tetralogía de Fallot, estenosis pulmonares congénitas). La RM es la técnica de elección para valorar la severidad de la estenosis y regurgitación pulmonar, mediante la técnica de contraste de fase y el seguimiento de la función ventricular derecha.

## 4. MASAS CARDIACAS

La RM es una técnica excelente para evaluar masas cardíacas. El protocolo empleado es una serie de imágenes de sangre negra potenciadas en T1 y T2 (para identificar grasa y agua dentro de la masa, respectiva-

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

Tabla III. Características en RM de las masas cardíacas más frecuentes \*

	Intensidad de señal en T1-TSE	Intensidad de señal en T2-TSE	Intensidad de señal en GRE	Realce con contraste
Mixoma	Heterogénea ↓ si calcio, ↑ si hemorragia	↑	↓ ↓	↑, heterogéneo (áreas de calcio, hemorragia no captan)
Lipoma	↑ **	Intermedia	Inespecífica	Inespecífico
Rabdomioma	Homogénea Intermedia o ↓	↑	↓ ↓	Inespecífico
Fibroma	Intermedia Puede ser heterogénea (calcio, hemorragia)	↓	Inespecífica	Escaso
Hemangioma	Intermedia	↑ ↑	Inespecífica	↑ ↑, heterogénea
Angiosarcoma	↑ en el centro (hemorragia), intermedio en la periferia	Igual que en T1	Inespecífica	↑ ↑, heterogéneo
Trombo	< 2 semanas: intermedia >2 semanas: ↑	< 2 semanas: ↑ >2 semanas: ↓	↓ ↓ ↓	NO

\* La intensidad de señal de la masa cardíaca se compara con la miocárdica

\*\* ↓ si se aplican pulsos de supresión grasa

mente), imágenes en modo cine en distintas orientaciones para valorar la movilidad de la masa, punto de implantación y repercusión funcional y un estudio de perfusión y realce tardío con contraste.

La RM permite diferenciar entre los tres tipos de entidades que pueden producir una imagen de masa cardíaca: **trombos intracavitarios, tumores primarios (nacidos del tejido cardíaco) y tumores secundarios (metástasis de un tumor primario no cardíaco)**. También permite identificar los "pseudotumores", ya que en ocasiones estructuras normales pueden generar dudas en el ecocardiograma: válvulas de Eustaquio, crista terminalis, red de Chiari, hiperplasia lipomatosa del septo, hernia de hiato, etc.

La RM es muy sensible para la detección de **trombos intracavitarios**, fundamentalmente gracias a la técnica de perfusión y realce tardío. A diferencia de otras etiologías, los trombos no tienen señal en estas secuencias y se diferencian fácilmente del tejido circundante.

Es posible realizar una aproximación a la **benignidad o la malignidad de la masa**, aunque el diagnóstico de seguridad sólo puede ser obtenido con criterios anatomopatológicos. La presencia de infiltración miocárdica o de los grandes vasos, derrame pleural y pericárdico, adenopatías mediastínicas orientan a la malignidad. Los tumores primarios cardíacos suelen ser benignos, siendo el más frecuente el **mixoma**. Con la RM habitualmente se puede establecer el diagnóstico de mixoma con seguridad, cuando la localización es típica (pedículo de anclaje a la fosa oval, figura 18). En casos más atípicos, el diagnóstico diferencial con otras etiologías como el sarcoma es más difícil. En la tabla III se resume el comportamiento en RM de las masas intracardiacas más frecuentes (43).

La RM se considera una técnica apropiada para el estudio de masas intra o extracardiacas, incluyendo tanto tumores como trombos (15).

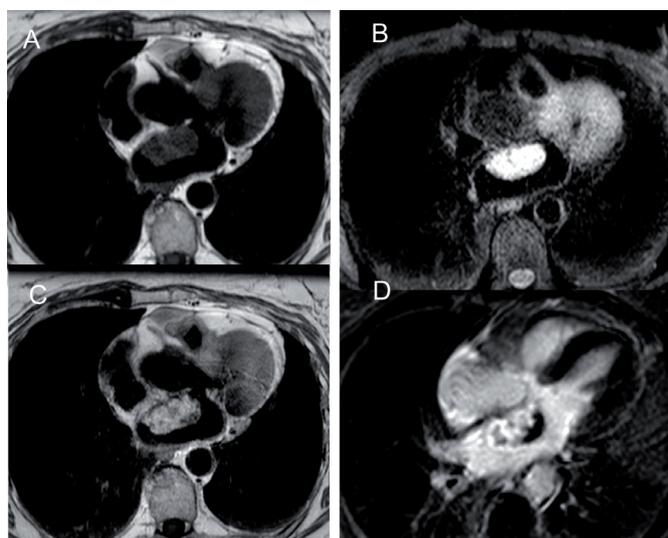
### 5. ENFERMEDADES DEL PERICARDIO

La RM es una técnica muy completa para el estudio del pericardio, ya que proporciona tanto información anatómica como funcional, con buena calidad de imagen incluso en pacientes operados (44). La señal del pe-

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

**Figura 19.** Estudio de RM realizado en una paciente con antecedente de carcinoma de mama tratada con cirugía y quimioterapia en la que se observa una masa en AI en ecocardiograma de control. A-B: Sangre negra potenciada en T1 y T2 (con supresión grasa); se observa una masa ovoidea adherida al septo interauricular, isointensa con el miocardio en T1 e hiperintensa en T2. C-D Estudio con contraste, realce precoz y tardío: la masa capta contraste de forma heterogénea. Este comportamiento es característico de un mixoma auricular, como se confirmó en la anatomía patológica tras la excisión de la masa.



ricardio es baja, por lo que habitualmente se ve como una línea fina de 1-2 mm entre la grasa epicárdica y la grasa mediastínica. Se considera que existe un **engrosamiento patológico a partir de 4 mm**, pero puede darse el caso de que exista fisiología constrictiva sin que se haya alcanzado dicho límite.

Con RM se puede evaluar el **impacto fisiológico del engrosamiento pericárdico: distensión de la cava inferior y venas suprahepáticas, aplanamiento del septo y especialmente el aumento patológico de la interdependencia ventricular**. Este se puede valorar con maniobras de inspiración y espiración; en inspiración, aumenta el movimiento paradójico del septo. La captación de contraste en el pericardio se relaciona con inflamación persistente a dicho nivel.

La RM es muy sensible para la detección de derrame pericárdico (brilla en las imágenes de modo cine). Aunque habitualmente es suficiente la ecocardiografía, puede ser útil en derrames loculados o complejos.

En el documento de uso apropiado de RM/TC del 2006, la RM se considera una técnica apropiada para el estudio de las enfermedades del pericardio, incluyendo masas pericárdicas y pericarditis constrictiva(15).

## 6. CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS

La RM es la técnica de elección para el estudio de cardiopatías congénitas, especialmente las complejas. Con la RM se pueden caracterizar tres aspectos importantes de estos pacientes: la **anatomía de la lesión (aurículas, ventrículas, grandes vasos y sus respectivas conexiones)**, su fisiología (**relación flujo sistémico/pulmonar, circulación colateral**) y la valoración de la función biventricular, que determina hasta qué punto está afectando al corazón la cardiopatía congénita. Normalmente se trata de estudios largos con combinaciones de secuencias de sangre negra, secuencias en modo cine en planos estrictos (axiales, coronales y sagitales) y planos similares a los ecocardiográficos, secuencias con contraste de fase (flujo sistémico, pulmonar, a través de un conducto, etc), angiografía 3D y en algunas ocasiones realce tardío.

En el documento de uso apropiado de RM/TC del 2006, la RM se considera una técnica apropiada para el estudio cardiopatías congénitas complejas, **incluyendo anomalías coronarias, de los grandes vasos, de las cámaras cardíacas y las válvulas**.

En las guías de manejo de los pacientes adultos con cardiopatías congénitas, se establecen las siguientes recomendaciones para el uso de RM para el diagnóstico y seguimiento de estos pacientes (45):

- **Coartación aórtica, incluyendo pacientes postoperados : clase I**
- **Anomalías coronarias y fistulas arteriovenosas: clase I**
- **Estenosis pulmonar: clase I**

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David



**Figura 20.** Paciente con coartación aórtica de localización típica yuxtaductal (distal a la subclavia izquierda, flecha). A: Imagen en sangre negra. B: angiografía con contraste..

- Tetralogía de Fallot: clase I
- Cardiopatías congénitas con sospecha de hipertensión pulmonar: clase I
- Transposición congénitamente corregida de grandes vasos: clase I
- Transposición corregida de grandes vasos con cirugía de conmutación auricular: clase I.
- Transposición corregida de grandes vasos con cirugía de conmutación arterial: clase II

También está indicada en pacientes con sospecha de cardiopatía congénita y hallazgos por ecocardiografía dudosos o mal definidos (incluyendo sospecha de comunicación interauricular).

### a) Coartación aórtica:

La mayor parte de las coartaciones aórticas son **yuxtaductales, inmediatamente distales a la arteria subclavia izquierda y no están asociados a otra cardiopatía** (figura 20). Los estudios de RM, tanto con secuencias de sangre negra o en modo cine como con angiografía son tan precisos como la aortografía invasiva para delimitar la localización como la severidad de la coartación.

Además, permite valorar parámetros fisiológicos como el gradiente transcoartación y la circulación colateral mediante las técnicas de contraste de fase (46). De esta manera permite el diagnóstico diferencial entre coartación y pseudocoartación.

Es una técnica también útil para el seguimiento de los pacientes con coartación operada o con endoprótesis, para el diagnóstico de restenosis y aneurismas. La persistencia de circulación colateral es un indicador muy fiable de restenosis.

### b) Tetralogía de Fallot:

La mayor parte de las RM se realizan en **pacientes ya operados**, en que es frecuente que exista insuficiencia pulmonar, especialmente cuando se ya reconstruido el tracto de salida del VD con un parche transanular (46). **La RM permite evaluar la severidad de la insuficiencia pulmonar** y su repercusión sobre los volúmenes y la fracción de eyección del VD, ya que a partir de una dilatación excesiva del VD está indicada la reoperación de estos pacientes (47). También permite diagnosticar alteraciones asociadas como estenosis de las ramas pulmonares.

### c) Comunicación interauricular (CIA):

Las CIA más frecuentes, las de tipo ostium secundum, normalmente se evalúan adecuadamente mediante eco transtorácico y transesofágico. En RM el defecto se puede delimitar adecuadamente en secuencias en modo cine, valorando el tamaño del reborde anterior y posterior restante de cara a la posibilidad de cierre percutáneo. También se puede valorar la repercusión funcional del defecto mediante la medida del flujo pulmonar y del flujo sistémico con contraste de fase (**se considera un defecto significativo cuando el flujo pulmonar / flujo sistémico es > 1.5**) y la función ventricular derecha (48).

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

La RM es especialmente útil en caso de CIA con una anatomía más compleja como las del tipo seno venoso, que suelen estar asociadas a un drenaje anómalo pulmonar parcial, generalmente de las venas derechas, que es muy difícil de valorar por ecocardiografía.

### 7. PACIENTES CON FIBRILACIÓN AURICULAR

La RM es útil para valorar la estructura y la función de la aurícula izquierda en los pacientes con fibrilación auricular (FA). Existen trabajos de investigación sobre la utilidad de la técnica de realce tardío para detectar cicatrices en las aurículas, pero aún no están maduras para su aplicación clínica. La validez de la RM para descartar trombos en orejuela izquierda no está establecida.

En pacientes candidatos a procedimientos de ablación de FA, la orientación y variaciones anatómicas de las venas pulmonares (venas accesorias derechas, tronco común izquierdo) son fáciles de evaluar con una angiografía con contraste. Además, las imágenes de la angiografía pueden incorporarse a los sistemas de mapeo electroanatómico y facilitar el proceso de ablación. Durante el seguimiento, una angiografía > 3 meses del procedimiento permite descartar la presencia de estenosis de venas pulmonares secundarias a la lesión producida (49).

La valoración de venas pulmonares por angiografía con contraste previamente a un procedimiento de ablación de FA se considera una indicación apropiada de la técnica (15).

### 8. ENFERMEDADES DE LA AORTA

La RM permite medir con precisión los diámetros de la aorta en toda su longitud, incluyendo la raíz aórtica y los troncos supraaórticos. Es posible valorar tanto la luz aórtica, la pared del vaso y el flujo a través del vaso. Como limitación principal, no es una técnica suficientemente rápida y disponible para el estudio de la patología aórtica aguda.

- a) **Aneurismas de aorta:** las medidas del diámetro del aneurisma con secuencias de sangre negra son muy precisas. La angiografía puede ser útil si existe trombo mural o para valorar oclusión de ramas de la aorta (50).
- b) **Disección aórtica:** la RM, especialmente con contraste, permite determinar su extensión y la afectación de las ramas (troncos supraaórticos, arterias renales, etc), así como otras complicaciones como la insuficiencia aórtica o el derrame pericárdico. En fase aguda es preferible una técnica rápida como el TC; sin embargo, para el seguimiento la RM es probablemente la técnica de elección, ya que no sólo permite ver la anatomía, sino también datos funcionales como el flujo en la verdadera y la falsa luz.

En el documento de uso apropiado de RM/TC del 2006, la RM se considera de manera genérica una técnica apropiada para el estudio de la disección aórtica (15).

### 9. APLICACIONES EN DESARROLLO

En los últimos años, se han introducido una serie de innovaciones tecnológicas dirigidas a incrementar la velocidad de adquisición de las imágenes de RM, como la adquisición mediante antenas multicanal e imagen en paralelo. Este desarrollo aún no ha concluido ya que se están introduciendo nuevas modalidades y probablemente en unos años muchas secuencias se puedan realizar en tiempo real. Otra línea de investigación se dirige al desarrollo de nuevos contrastes (contrastos ferromagnéticos como el SPIO, para técnicas de imagen molecular, o contrastes con distribución intravascular para mejorar la imagen de las arterias coronarias).

Sin embargo, probablemente muchas de las aplicaciones de la RM que se incorporarán a la práctica clínica en los próximos años no dependan de ulteriores desarrollos técnicos, sino que estén basados en las secuencias actuales. Las series con RM a menudo no tienen suficiente tiempo de seguimiento, por lo que en muchas oca-

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

siones se desconoce el valor pronóstico de un determinado hallazgo (un determinado patrón de realce tardío, por ejemplo). Es de esperar que muchos de ellos se vayan definiendo en los próximos años.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GROTHUES F, SMITH GC, MOON JC, BELLENGER NG, COLLINS P, KLEIN HU, ET AL. *Comparison of interstudy reproducibility of cardiovascular magnetic resonance with two-dimensional echocardiography in normal subjects and in patients with heart failure or left ventricular hypertrophy.* Am J Cardiol. 2002 Jul 1;90(1):29-34.
2. LOTZ J, MEIER C, LEPPERT A, GALANSKI M. *Cardiovascular flow measurement with phase-contrast MR imaging: basic facts and implementation.* Radiographics. 2002 May-Jun;22(3):651-71.
3. LEVINE GN, GOMES AS, ARAI AE, BLUEMKE DA, FLAMM SD, KANAL E, ET AL. *Safety of magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular devices: an American Heart Association scientific statement from the Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology, and the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention: endorsed by the American College of Cardiology Foundation, the North American Society for Cardiac Imaging, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance.* Circulation. 2007 Dec 11;116(24):2878-91.
4. HUNDLEY WG, BLUEMKE DA, FINN JP, FLAMM SD, FOGEL MA, FRIEDRICH MG, ET AL. *ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents.* J Am Coll Cardiol. 2010 Jun 8;55(23):2614-62.
5. KIM RJ, FIENO DS, PARRISH TB, HARRIS K, CHEN EL, SIMONETTI O, ET AL. *Relationship of MRI delayed contrast enhancement to irreversible injury, infarct age, and contractile function.* Circulation. 1999 Nov 9;100(19):1992-2002.
6. KIM RJ, ALBERT TS, WIBLE JH, ELLIOTT MD, ALLEN JC, LEE JC, ET AL. *Performance of delayed-enhancement magnetic resonance imaging with gadoversetamide contrast for the detection and assessment of myocardial infarction: an international, multicenter, double-blinded, randomized trial.* Circulation. 2008 Feb 5;117(5):629-37.
7. WAGNER A, MAHRHOLDT H, HOLLY TA, ELLIOTT MD, REGENFUS M, PARKER M, ET AL. *Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study.* Lancet. 2003 Feb 1;361(9355):374-9.
8. RICCIARDI MJ, WU E, DAVIDSON CJ, CHOI KM, KLOCKE FJ, BONOW RO, ET AL. *Visualization of discrete microinfarction after percutaneous coronary intervention associated with mild creatine kinase-MB elevation.* Circulation. 2001 Jun 12;103(23):2780-3.
9. KUMAR A, ABDEL-ATY H, KRIEDEMANN I, SCHULZ-MENGER J, GROSS CM, DIETZ R, ET AL. *Contrast-enhanced cardiovascular magnetic resonance imaging of right ventricular infarction.* J Am Coll Cardiol. 2006 Nov 21;48(10):1969-76.
10. FRIEDRICH MG, ABDEL-ATY H, TAYLOR A, SCHULZ-MENGER J, MESSROGLI D, DIETZ R. *The salvaged area at risk in reperfused acute myocardial infarction as visualized by cardiovascular magnetic resonance.* J Am Coll Cardiol. 2008 Apr 22;51(16):1581-7.
11. NICCOLI G, BURZOTTA F, GALIUTO L, CREA F. *Myocardial no-reflow in humans.* J Am Coll Cardiol. 2009 Jul 21;54(4):281-92.
12. KIM RJ, WU E, RAFAEL A, CHEN EL, PARKER MA, SIMONETTI O, ET AL. *The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction.* N Engl J Med. 2000 Nov 16;343(20):1445-53.
13. KWONG RY, CHAN AK, BROWN KA, CHAN CW, REYNOLDS HG, TSANG S, ET AL. *Impact of unrecognized myocardial scar detected by cardiac magnetic resonance imaging on event-free survival in patients presenting with signs or symptoms of coronary artery disease.* Circulation. 2006 Jun 13;113(23):2733-43.
14. YAN AT, SHAYNE AJ, BROWN KA, GUPTA SN, CHAN CW, LUU TM, ET AL. *Characterization of the peri-infarct zone by contrast-enhanced cardiac magnetic resonance imaging is a powerful predictor of post-myocardial infarction mortality.* Circulation. 2006 Jul 4;114(1):32-9.
15. HENDEL RC, PATEL MR, KRAMER CM, POON M, CARR JC, GERSTAD NA, ET AL. *ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology.* J Am Coll Cardiol. 2006 Oct 3;48(7):1475-97.
16. WELLNHOFER E, OLARIU A, KLEIN C, GRAFE M, WAHL A, FLECK E, ET AL. *Magnetic resonance low-dose dobutamine test is superior to SCAR quantification for the prediction of functional recovery.* Circulation. 2004 May 11;109(18):2172-4.
17. NAGEL E, LORENZ C, BAER F, HUNDLEY WG, WILKE N, NEUBAUER S, ET AL. *Stress cardiovascular magnetic resonance: consensus panel report.* J Cardiovasc Magn Reson. 2001;3(3):267-81.
18. KLEM I, HEITNER JF, SHAH DJ, SKETCH MH, JR., BEHAR V, WEINSAFT J, ET AL. *Improved detection of coronary artery disease by stress perfusion cardiovascular magnetic resonance with the use of delayed enhancement infarction imaging.* J Am Coll Cardiol. 2006 Apr 18;47(8):1630-8.
19. NAGEL E, KLEIN C, PAETSCH I, HETTWER S, SCHNACKENBURG B, WEGSCHEIDER K, ET AL. *Magnetic resonance perfusion measurements for the noninvasive detection of coronary artery disease.* Circulation. 2003 Jul 29;108(4):432-7.

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

20. JAHNKE C, NAGEL E, GEBKER R, KOKOCINSKI T, KELLE S, MANKA R, ET AL. *Prognostic value of cardiac magnetic resonance stress tests: adenosine stress perfusion and dobutamine stress wall motion imaging*. *Circulation*. 2007 Apr 3;115(13):1769-76.
21. KIM WY, DANIAS PG, STUBER M, FLAMM SD, PLEIN S, NAGEL E, ET AL. *Coronary magnetic resonance angiography for the detection of coronary stenoses*. *N Engl J Med*. 2001 Dec 27;345(26):1863-9.
22. ASSOMULL RG, LYNE JC, KEENAN N, GULATI A, BUNCE NH, DAVIES SW, ET AL. *The role of cardiovascular magnetic resonance in patients presenting with chest pain, raised troponin, and unobstructed coronary arteries*. *Eur Heart J*. 2007 May;28(10):1242-9.
23. LARAUDOGOITIA ZALDUMBIDE E, PEREZ-DAVID E, LARENA JA, VELASCO DEL CASTILLO S, RUMOROSO CUEVAS JR, ONAINDIA JJ, ET AL. *The value of cardiac magnetic resonance in patients with acute coronary syndrome and normal coronary arteries*. *Rev Esp Cardiol*. 2009 Sep;62(9):976-83.
24. MAHRHOLDT H, WAGNER A, JUDD RM, SECHTEM U, KIM RJ. *Delayed enhancement cardiovascular magnetic resonance assessment of non-ischaemic cardiomyopathies*. *Eur Heart J*. 2005 Aug;26(15):1461-74.
25. MCCROHON JA, MOON JC, PRASAD SK, MCKENNA WJ, LORENZ CH, COATS AJ, ET AL. *Differentiation of heart failure related to dilated cardiomyopathy and coronary artery disease using gadolinium-enhanced cardiovascular magnetic resonance*. *Circulation*. 2003 Jul 8;108(1):54-9.
26. ASSOMULL RG, PRASAD SK, LYNE J, SMITH G, BURMAN ED, KHAN M, ET AL. *Cardiovascular magnetic resonance, fibrosis, and prognosis in dilated cardiomyopathy*. *J Am Coll Cardiol*. 2006 Nov 21;48(10):1977-85.
27. BLEEKER GB, KAANDORP TA, LAMB HJ, BOERSMA E, STEENDIJK P, DE ROOS A, ET AL. *Effect of posterolateral scar tissue on clinical and echocardiographic improvement after cardiac resynchronization therapy*. *Circulation*. 2006 Feb 21;113(7):969-76.
28. SEN-CHOWDHRY S, PRASAD SK, SYRIS P, WAGE R, WARD D, MERRIFIELD R, ET AL. *Cardiovascular magnetic resonance in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy revisited: comparison with task force criteria and genotype*. *J Am Coll Cardiol*. 2006 Nov 21;48(10):2132-40.
29. CASTILLO E, TANDRI H, RODRIGUEZ ER, NASIR K, RUTBERG J, CALKINS H, ET AL. *Arrhythmogenic right ventricular dysplasia: ex vivo and in vivo fat detection with black-blood MR imaging*. *Radiology*. 2004 Jul;232(1):38-48.
30. TANDRI H, SARANATHAN M, RODRIGUEZ ER, MARTINEZ C, BOMMA C, NASIR K, ET AL. *Noninvasive detection of myocardial fibrosis in arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy using delayed-enhancement magnetic resonance imaging*. *J Am Coll Cardiol*. 2005 Jan 4;45(1):98-103.
31. RICKERS C, WILKE NM, JEROSCH-HEROLD M, CASEY SA, PANSE P, PANSE N, ET AL. *Utility of cardiac magnetic resonance imaging in the diagnosis of hypertrophic cardiomyopathy*. *Circulation*. 2005 Aug 9;112(6):855-61.
32. KWON DH, SMEDIRA NG, RODRIGUEZ ER, TAN C, SETSER R, THAMILARASAN M, ET AL. *Cardiac magnetic resonance detection of myocardial scarring in hypertrophic cardiomyopathy: correlation with histopathology and prevalence of ventricular tachycardia*. *J Am Coll Cardiol*. 2009 Jul 14;54(3):242-9.
33. MARON MS, FINLEY JJ, BOS JM, HAUSER TH, MANNING WJ, HAAS TS, ET AL. *Prevalence, clinical significance, and natural history of left ventricular apical aneurysms in hypertrophic cardiomyopathy*. *Circulation*. 2008 Oct 7;118(15):1541-9.
34. RUDOLPH A, ABDEL-ATY H, BOHL S, BOYE P, ZAGROSEK A, DIETZ R, ET AL. *Noninvasive detection of fibrosis applying contrast-enhanced cardiac magnetic resonance in different forms of left ventricular hypertrophy relation to remodeling*. *J Am Coll Cardiol*. 2009 Jan 20;53(3):284-91.
35. PETERSEN SE, SELVANAYAGAM JB, WIESMANN F, ROBSON MD, FRANCIS JM, ANDERSON RH, ET AL. *Left ventricular non-compaction: insights from cardiovascular magnetic resonance imaging*. *J Am Coll Cardiol*. 2005 Jul 5;46(1):101-5.
36. MACEIRA AM, JOSHI J, PRASAD SK, MOON JC, PERUGINI E, HARDING I, ET AL. *Cardiovascular magnetic resonance in cardiac amyloidosis*. *Circulation*. 2005 Jan 18;111(2):186-93.
37. ANDERSON LJ, HOLDEN S, DAVIS B, PRESCOTT E, CHARRIER CC, BUNCE NH, ET AL. *Cardiovascular T2-star (T2\*) magnetic resonance for the early diagnosis of myocardial iron overload*. *Eur Heart J*. 2001 Dec;22(23):2171-9.
38. MAHRHOLDT H, GOEDECKE C, WAGNER A, MEINHARDT G, ATHANASIADIS A, VOGELSBERG H, ET AL. *Cardiovascular magnetic resonance assessment of human myocarditis: a comparison to histology and molecular pathology*. *Circulation*. 2004 Mar 16;109(10):1250-8.
39. ABDEL-ATY H, BOYE P, ZAGROSEK A, WASSMUTH R, KUMAR A, MESSROGLI D, ET AL. *Diagnostic performance of cardiovascular magnetic resonance in patients with suspected acute myocarditis: comparison of different approaches*. *J Am Coll Cardiol*. 2005 Jun 7;45(11):1815-22.
40. MAHRHOLDT H, WAGNER A, DELUIGI CC, KISPERT E, HAGER S, MEINHARDT G, ET AL. *Presentation, patterns of myocardial damage, and clinical course of viral myocarditis*. *Circulation*. 2006 Oct 10;114(15):1581-90.
41. BONOW RO, CARABELLO BA, KANU C, DE LEON AC, JR., FAXON DP, FREED MD, ET AL. *ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to revise the 1998 Guidelines for the Management of Patients With Valvular Heart Disease): developed in collaboration with the Society of Cardiovascular Anesthesiologists: endorsed by the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions and the Society of Thoracic Surgeons*. *Circulation*. 2006 Aug 1;114(5):e84-231.
42. KUPFAHL C, HONOLD M, MEINHARDT G, VOGELSBERG H, WAGNER A, MAHRHOLDT H, ET AL. *Evaluation of aortic stenosis by cardiovascular magnetic resonance imaging: comparison with established routine clinical techniques*. *Heart*. 2004 Aug;90(8):893-901.
43. PEREZ-DAVID E, GARCÍA LIZANA M, GARCIA FERNANDEZ MA, ZAMORANO GÓMEZ J, FERREIRÓS DOMÍNGUEZ J, LAFUENTE J. *Usefulness of Magnetic Resonance Imaging in the Evaluation of Cardiac Masses and Pericardial Disease*. *Rev Esp Cardiol*. 2006(6 Supl):30E-40E.
44. WANG ZJ, REDDY GP, GOTWAY MB, YEH BM, HETTS SW, HIGGINS CB. *CT and MR imaging of pericardial disease*. *Radiographics*. 2003 Oct;23 Spec No:S167-80.

## Aplicaciones clínicas de la resonancia magnética cardíaca y del TAC multicorte

Esther Pérez David

45. WARNES CA, WILLIAMS RG, BASHORE TM, CHILD JS, CONNOLLY HM, DEARANI JA, ET AL. *ACC/AHA 2008 Guidelines for the Management of Adults with Congenital Heart Disease: Executive Summary: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (writing committee to develop guidelines for the management of adults with congenital heart disease)*. *Circulation*. 2008 Dec 2;118(23):2395-451.
46. NORTON KI, TONG C, GLASS RB, NIELSEN JC. *Cardiac MR imaging assessment following tetralogy of fallot repair*. *Radiographics*. 2006 Jan-Feb;26(1):197-211.
47. OOSTERHOF T, VAN STRATEN A, VLIAGEN HW, MEIJBOOM FJ, VAN DIJK AP, SPIJKERBOER AM, ET AL. *Preoperative thresholds for pulmonary valve replacement in patients with corrected tetralogy of Fallot using cardiovascular magnetic resonance*. *Circulation*. 2007 Jul 31;116(5):545-51.
48. WANG ZJ, REDDY GP, GOTWAY MB, YEH BM, HIGGINS CB. *Cardiovascular shunts: MR imaging evaluation*. *Radiographics*. 2003 Oct;23 Spec No:S181-94.
49. DILL T, NEUMANN T, EKINCI O, BREIDENBACH C, JOHN A, ERDOGAN A, ET AL. *Pulmonary vein diameter reduction after radiofrequency catheter ablation for paroxysmal atrial fibrillation evaluated by contrast-enhanced three-dimensional magnetic resonance imaging*. *Circulation*. 2003 Feb 18;107(6):845-50.
50. LIU Q, LU JP, WANG F, WANG L, TIAN JM. *Three-dimensional contrast-enhanced MR angiography of aortic dissection: a pictorial essay*. *Radiographics*. 2007 Sep-Oct;27(5):1311-21.