

Resonancia magnética cardíaca: aplicaciones clínicas

Cardiac magnetic resonance: clinical applications

G. Bastarrika¹, U. Sprengel², J. Sáenz de Buruaga³, C. Romero⁴, E. Alegría³, A. Benito¹, J. Barba³

RESUMEN

La enfermedad cardiovascular es la causa más frecuente de mortalidad en los países desarrollados y constituye un grave problema social, económico y sanitario. Aunque existen muy diversas técnicas útiles para diagnosticar las enfermedades cardíacas, con frecuencia es preciso realizar más de una prueba para llegar a un diagnóstico concreto. La resonancia magnética es una técnica inocua, bien tolerada y segura que actualmente se encuentra disponible en la mayoría de los centros hospitalarios. Esta técnica permite estudiar en una única exploración la anatomía del corazón y valorar de forma cualitativa, semicuantitativa y cuantitativa los parámetros de función cardíaca. Es útil para el estudio de las enfermedades valvulares, miocardiopatías y de la enfermedad pericárdica. Aporta información de la anatomía y función cardíaca y vascular en las cardiopatías congénitas complejas. Además, con la administración de contraste intravenoso, permite conocer la viabilidad miocárdica en la cardiopatía isquémica. Por tanto, la resonancia magnética cardíaca se perfila como una de las técnicas más prometedoras para el estudio de la patología cardíaca congénita y adquirida.

Palabras clave. Resonancia magnética. Corazón. Enfermedades cardíacas.

ABSTRACT

Cardiovascular disease is the most frequent cause of mortality in the developed countries and represents a serious social, economic and health problem. Although very diverse, useful techniques exist for diagnosing cardiac diseases, it is frequently necessary to ask for more than one test to reach a specific diagnosis. Magnetic resonance is a harmless, well tolerated and safe technique, which is currently available in the majority of hospitals. This technique makes it possible in a single exploration to study the anatomy of the heart and to make a qualitative, semi-quantitative and quantitative assessment of the parameters of cardiac function. It provides information of cardiac and vascular anatomy and function in complex congenital cardiopathies. Besides, with the administration of intravenous contrast, it enables knowledge to be gained of myocardial viability in ischaemic cardiopathy. Hence, cardiac magnetic resonance is emerging as one of the most promising techniques for the study of congenital and acquired cardiac pathology.

Key words. Magnetic resonance. Heart. Cardiac diseases.

An. Sist. Sanit. Navar. 2005; 28 (1): 49-58.

1. Servicio de Radiología. Clínica Universitaria. Universidad de Navarra. Pamplona.
2. Medizinische Klinik I. St. Johannes Hospital. Dortmund.
3. Departamento de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. Clínica Universitaria. Universidad de Navarra. Pamplona.
4. Servicio de Cardiología Pediátrica. Hospital Virgen del Camino. Pamplona.

Aceptado para su publicación el 17 de noviembre de 2004.

Este trabajo se realizó tras la concesión de una beca SERAM-Industria 2003.

Correspondencia:

Gorka Bastarrika
Servicio de Radiología
Clínica Universitaria
Universidad de Navarra
Avda. Pío XII, 36
31008 Pamplona
Tfno: 948 255400
Fax: 948 296500
E mail: bastarrika@unav.es

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades cardiovasculares en general, y la cardiopatía isquémica en particular, constituyen la principal causa de muerte en nuestra población y son responsables del 10-12% de la mortalidad por todas las causas¹, por lo que el diagnóstico adecuado de estas enfermedades adquiere una relevancia especial. Además de la anamnesis, la exploración física y el estudio electrocardiográfico, con frecuencia se requieren técnicas de imagen para este propósito. A lo largo de las últimas décadas el desarrollo técnico se ha traducido en la creación de técnicas de imagen inocuas (no invasivas) como la ecocardiografía, la resonancia magnética (RM) cardíaca y la tomografía computarizada (TC) cardíaca que, progresivamente, se están imponiendo en la práctica clínica diaria. La ecocardiografía continúa siendo la técnica de primera elección para el diagnóstico y control evolutivo de múltiples enfermedades cardíacas. Sin embargo, la RM se considera la exploración complementaria a la ecocardiografía cuando ésta no es concluyente por el tipo de patología cardíaca o por dificultades técnicas y se considera la técnica de primera elección para el estudio de algunas patologías cardíacas.

Desde el punto de vista técnico la RM presenta unas características que hacen que esta herramienta se pueda considerar como la exploración idónea para el estudio de la patología cardiovascular en general: es una técnica inocua, el paciente no se expone a radiaciones ionizantes y permite obtener imágenes en cualquier plano con alta resolución espacial y con una excelente capacidad de diferenciación tisular sin necesidad de emplear contraste intravenoso². Desde su implantación en la práctica clínica habitual, es cada vez mayor el número de indicaciones clínicas para las que se considera de gran utilidad la RM cardíaca. Además de la cuantificación de la función cardíaca, la valoración de la perfusión y viabilidad miocárdica en pacientes con antecedentes de cardiopatía isquémica constituye una de las indicaciones de mayor relevancia clínica. Otras indicaciones de gran interés incluyen el estudio de: enfermedad valvular, miocardiopatías, enfermedad pericárdica (pericarditis cons-

trictiva), masas cardíacas, cardiopatías congénitas (pre y postcirugía) y vascularización coronaria³.

Función del ventrículo izquierdo

La RM es una técnica robusta para la medición del volumen porque permite delimitar el borde endocárdico y epicárdico con una definición excelente (Fig. 1). La sincronización ECG posibilita la obtención de imágenes cardíacas en momentos concretos del ciclo. Así, se pueden realizar mediciones exactas de la función, volumen miocárdico y masa ventricular del ventrículo izquierdo y del derecho. También se pueden demostrar aneurismas y áreas de adelgazamiento de la pared así como el remodelado miocárdico secundario a infartos de miocardio previos. Las secuencias cine RM permiten visualizar y valorar de forma semicuantitativa las anomalías de la contractilidad regional y objetivar la función sistólica. Las secuencias con marcaje o tatuaje (*tagging*) permiten analizar de forma cuantitativa las anomalías de la contractilidad de la pared ventricular (Fig. 2)⁴.

Perfusión y viabilidad miocárdica

La RM cardíaca permite analizar la motilidad miocárdica, el engrosamiento de la pared del miocardio en reposo y tras la administración de dobutamina a dosis crecientes (estrés farmacológico). Excepto en los casos secundarios a una estenosis

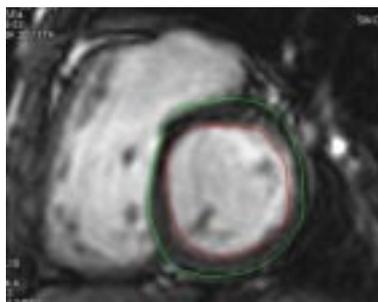


Figura 1. Secuencia de cine-RM en eje corto. La resonancia magnética permite definir de manera precisa los bordes endocárdico y epicárdico del corazón, por lo que se puede cuantificar la función cardíaca.

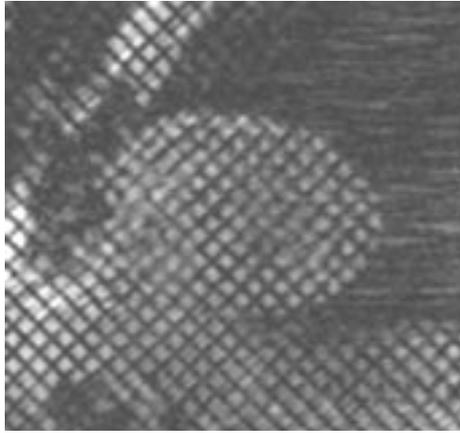


Figura 2. Estudio cardíaco en eje corto. Las secuencias con marcaje o tatuaje (tagging) permiten analizar de forma cuantitativa las anomalías de la contractilidad ventricular.



Figura 3. Realce tardío. Captación tardía miocárdica transmural en el territorio de la arteria coronaria descendente anterior, indicando un infarto de evolución crónica con tejido no viable (flechas).

coronaria severa, los defectos de perfusión producidos por isquemia miocárdica únicamente se pueden detectar bajo condiciones de estrés⁵. El empeoramiento de la contracción miocárdica en las fases sucesivas del estudio tras el estrés farmacológico confirma la presencia de enfermedad arterial coronaria hemodinámicamente significativa.

Los estudios de perfusión miocárdica se pueden realizar empleando secuencias potenciadas en T1 que permiten obtener múltiples cortes con una resolución temporal elevada⁶. El estudio de perfusión se lleva a cabo tras la administración intravenosa de Gd-DTPA (contraste de distribución extracelular) en reposo y durante el estrés farmacológico (adenosina). Las áreas que persisten con intensidad de señal baja, tras la inyección intravenosa de contraste, representan áreas de hipoperfusión miocárdica y se corresponden con áreas regionales de isquemia o infarto. Las áreas de edema después del infarto agudo, la necrosis miocárdica y la cicatriz (evolución tardía) presentan un exceso de agua extracelular, lo que implica un gran volumen de distribución en el que se acumula el Gd-DTPA. Los estudios realizados instantes después de administrar Gd-DTPA

muestran realce del miocardio normal y áreas hipointensas secundarias a hipoperfusión en las áreas de infarto. Por el contrario, en los estudios realizados 15-20 minutos después de la inyección de Gd-DTPA (secuencias FLASH, SSFP) se observa lavado de contraste por parte del tejido normal y acúmulo del mismo en el líquido extracelular de la cicatriz miocárdica, por lo que los infartos antiguos aparecen hiperintensos en secuencias potenciadas en T1. Una cicatriz con una extensión transmural mayor del 50% del grosor miocárdico tiene menor probabilidad de recuperación funcional tras un procedimiento de revascularización⁷ (Fig. 3).

Enfermedad valvular

La valoración de la disfunción valvular por RM incluye la demostración en secuencias cine-RM del jet de la estenosis o insuficiencia valvular y la dilatación o hipertrofia de las cavidades cardíacas. El jet se manifiesta como una zona hipointensa debida a un vacío de señal que indica la existencia de un flujo turbulento⁸ (Fig. 4). Asimismo, en los planos transversales se puede cuantificar el área de apertura valvular en los casos de estenosis (Fig. 5).



Figura 4. Insuficiencia mitral y tricúspide. Secuencia de cine-RM en un plano de cuatro cámaras que muestra una zona hipointensa adyacente a la válvula mitral (flechas) y tricúspide (puntas de flecha) debido a turbulencias por flujo retrógrado durante la sístole ventricular en relación con insuficiencia.

Las imágenes de RM con secuencias de contraste de fase poseen información acerca de la velocidad de la sangre y es posible cuantificar el flujo sanguíneo a través de las válvulas cardíacas afectas y determinar así la severidad de la enfermedad valvular. De esta manera, las secuencias cine con codificación de velocidad permiten medir las velocidades pico a través del área de estenosis, con las que se puede calcular el gradiente de presión transvalvular (Fig. 6). Estas secuencias también permiten visualizar las estructuras anatómicas por lo que se pueden estudiar tanto los cambios morfológicos como los volúmenes de flujo de forma conjunta, en tiempo real⁸.

Miocardiopatías

En los casos en que la ecocardiografía (técnica de elección) presente limitaciones la RM constituye una técnica útil para diagnosticar la miocardiopatía hipertrófica y la miocardiopatía dilatada, ya que permite valorar tanto el grosor miocárdico como el gradiente del tracto de salida y los movi-



Figura 5. Imagen cine-RM en el plano transversal de la válvula aórtica en la que se objetiva una estenosis aórtica con un área de apertura valvular de 0,85 cm².

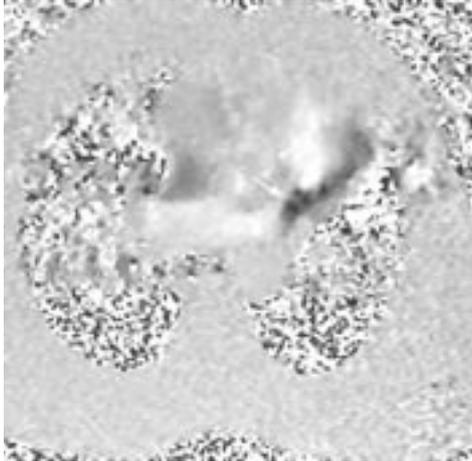


Figura 6. Secuencia de cine-RM de contraste de fase en un plano transverso-oblicuo. Se observa un jet diastólico (flecha) en la válvula pulmonar indicando una insuficiencia pulmonar (flecha).

mientos anormales del septo y de las válvulas¹⁰.

Miocardopatía restrictiva

La miocardopatía restrictiva se produce como consecuencia de diversas enfermedades infiltrativas del miocardio que provocan rigidez y restricción: amiloidosis, sarcoidosis, esclerodermia, tumor carcinóide, fibrosis endomiocárdica, etc. También existe una forma idiopática. La pericarditis constrictiva y la miocardopatía restrictiva presentan una clínica superponible y con frecuencia resulta difícil diferenciar ambas entidades. Es importante realizar un diagnóstico correcto, ya que la pericarditis constrictiva se puede tratar quirúrgicamente. La RM permite cuantificar en la miocardopatía restrictiva el grosor del pericardio normal y, en ocasiones, engrosamiento miocárdico¹¹.

La pericarditis constrictiva se produce como consecuencia de fibrosis y calcificación progresiva del pericardio secundaria a una respuesta inflamatoria (pericarditis infecciosa), neoplasias, enfermedades del tejido conectivo, fracaso renal, cirugía cardíaca, tratamiento radioterápico, etc. Un grosor pericárdico ≥ 4 mm se debe consi-

derar como engrosamiento pericárdico y, en el contexto clínico apropiado, es un hallazgo diagnóstico de pericarditis constrictiva (Fig. 7). Se pueden observar, además, otros hallazgos asociados como son la marcada dilatación de la aurícula derecha, las venas suprahepáticas y la vena cava inferior. El ventrículo derecho suele presentar un tamaño normal o disminuido¹². La RM cardíaca es de especial utilidad para realizar el diagnóstico diferencial entre ambas entidades ya que es una técnica de gran sensibilidad para valorar el pericardio. La tomografía computarizada (TC) también se puede emplear para dicha valoración, especialmente en los casos en que exista calcificación pericárdica¹³.

Miocardopatía arritmogénica del ventrículo derecho

La miocardopatía arritmogénica del ventrículo derecho (MAVD) es una de las indicaciones más comúnmente aceptadas de la RM cardíaca. Se trata de una enfermedad debida a la alteración primaria del miocardio, de predominio del ventrículo derecho, con adelgazamiento total o parcial del miocardio y sustitución del tejido

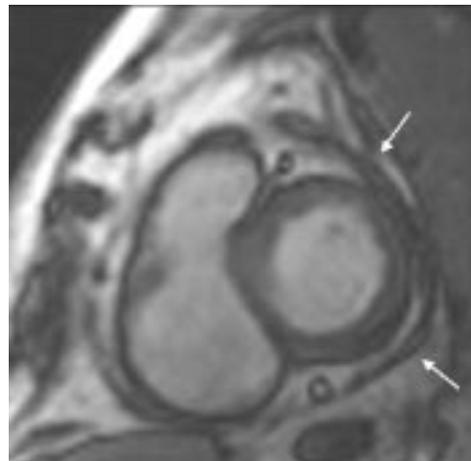


Figura 7. Secuencia de cine-RM en el eje corto. Engrosamiento pericárdico (flechas) manifestado como una línea hipointensa engrosada que afecta sobre todo a la cara lateral del ventrículo izquierdo. El estudio de la función cardíaca puso de manifiesto signos de pericarditis constrictiva.

muscular por tejido adiposo o fibroso¹⁴. En fases avanzadas de la enfermedad puede evolucionar hacia un aumento de las cavidades derechas del corazón. Es una enfermedad que puede provocar muerte súbita y se reconoce una historia familiar hasta en un 30% de los casos. El diagnóstico de esta entidad mediante las técnicas convencionales (ecocardiografía, angiografía) puede resultar difícil. La biopsia endomiocárdica puede aportar resultados falsos negativos debido a errores de muestreo.

En la MAVD los hallazgos por RM son: aumento de la intensidad de señal del miocardio debida a la sustitución grasa del mismo en secuencias potenciadas en T1, adelgazamiento de la pared libre del ventrículo derecho, disminución del engrosamiento sistólico de la pared, alteración de la función del ventrículo derecho (aquinesia o disquinesia) con abombamiento en el lugar de la fibrosis miocárdica. Se puede observar, además, disminución de la fracción de eyección y alteración del llenado ventricular en la diástole. Las cavidades derechas pueden presentar un tamaño normal o dilatado¹⁵.

Las secuencias cine son de gran utilidad para determinar la existencia de áreas de disfunción del ventrículo derecho (abombamiento focal, aquinesia, disquinesia). Se pueden emplear secuencias TSE potenciadas en T1 sin y con saturación grasa en las regiones de interés.

Tumores cardíacos y enfermedad metastásica

Las neoplasias malignas cardíacas primarias son raras e incluyen: mixoma, lipoma, angiosarcoma, rabiomioma, fibroma y hemangioma. El mixoma es el tumor cardíaco benigno más frecuente y su localización habitual es la aurícula izquierda. El angiosarcoma es el tumor maligno más frecuente y generalmente se origina en la aurícula derecha. La afectación secundaria del corazón es mucho más común. Aunque existen diversas vías de diseminación, la enfermedad metastásica se produce con mayor frecuencia como consecuencia de la extensión local de neoplasias adyacentes (pulmón, pleura, mediastino). Otras vías de diseminación son la hematogena y la

extensión a través de la vena cava. Característicamente las metástasis presentan amplia base de implantación o invaden el miocardio y, por el contrario, la mayor parte de los tumores benignos son intraluminales y poseen un pedículo estrecho (Fig. 8)³.

El estudio de las masas cardíacas debe incluir secuencias anatómicas y secuencias GRE, útiles para definir con exactitud el tamaño tumoral, determinar su punto de anclaje a las paredes cardíacas e identificar la invasión del miocardio. Las secuencias potenciadas en T1 antes y después de Gd-DTPA permiten determinar el realce de la masa y son útiles para distinguir los trombos (masa intracavitaria más frecuente del corazón) de los tumores.

Cardiopatías congénitas

La valoración por RM cardíaca de las cardiopatías congénitas precisa de un conocimiento exhaustivo de las manifestaciones clínicas específicas de cada enfermedad y de la disposición anatómica de

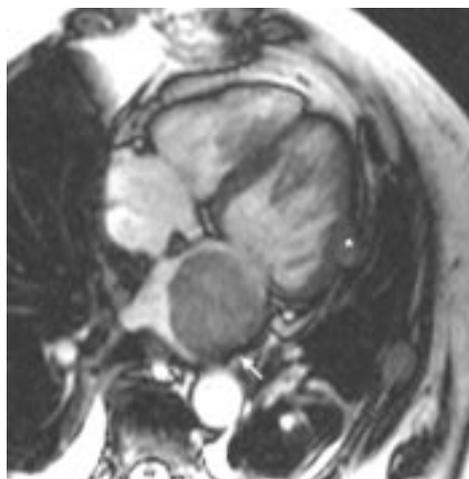


Figura 8. Imagen de cine-RM en cuatro cámaras en la que se objetiva una masa bien definida, intracavitaria en la aurícula izquierda (metástasis). Nótese su amplia base de implantación (flecha). Se observa, además, afectación del miocardio de la cara lateral del ventrículo izquierdo (*).

las estructuras en cada anomalía. Se deben conocer, además, las técnicas de reparación quirúrgica y las posibles complicaciones de la cirugía realizada. La RM es una técnica útil no sólo para el seguimiento postquirúrgico de los pacientes (valoración de los shunts, estenosis de los injertos, etc.) sino también para diagnosticar anomalías no detectadas anteriormente como defectos del tabique interauricular, comunicación interventricular (CIV), persistencia del conducto arterioso, coartación de aorta (Fig. 9) o anomalías de las venas pulmonares⁸.

Para valorar las cardiopatías congénitas se emplean tanto secuencias de "sangre negra" como secuencias de "sangre blanca" anatómicas, así como secuencias cine, útiles para obtener información funcional. La angiografía por RM con secuencias 3D-GRE tras la administración intravenosa de contraste (gadolinio, Gd-DTPA) (0,2 mmol/Kg a 2 ml/seg) es de gran utilidad tanto para valorar la aorta como para valorar la vascularización pulmonar arterial y venosa (Fig. 10). Es posible detectar estenosis de arterias pulmonares periféricas, colaterales bronquiales, valorar anomalías del retorno venoso pulmonar, etc. Las reconstrucciones multiplanares (*multiplanar reconstruction-MPR*) y las imágenes de proyección de máxima intensidad (*maximum intensity projection-MIP*) permiten valorar las estructuras vasculares en distintos planos, todo a lo largo de su recorrido.



Figura 9. Angiografía por RM con secuencias 3D-GRE. Control evolutivo de paciente con coartación de aorta intervenida en la infancia, actualmente asintomático. Continúa identificándose un estrechamiento de la aorta a la altura de la reparación quirúrgica, indicando una recoartación (flecha).

Las cardiopatías congénitas que generalmente se estudian por RM cardíaca son: transposición de grandes vasos, tetralogía de Fallot (Fig. 11), persistencia del conducto arterioso, defectos septales (comunica-

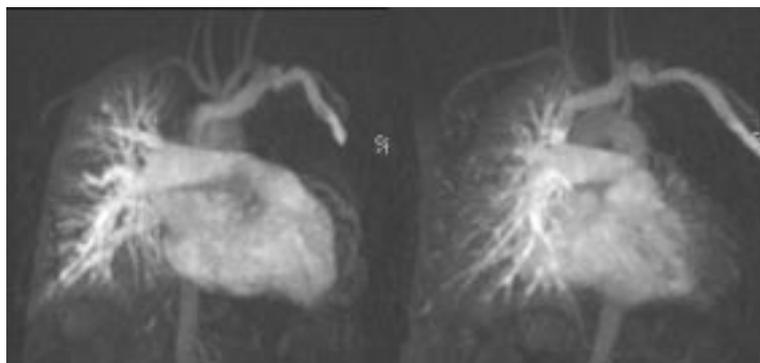


Figura 10. Angiografía dinámica por RM con secuencias 3D-GRE. Fase vascular pulmonar. Atresia pulmonar izquierda. Nótese la ausencia de vascularización del pulmón izquierdo por parte de las ramas pulmonares. La arteria pulmonar derecha es normal.

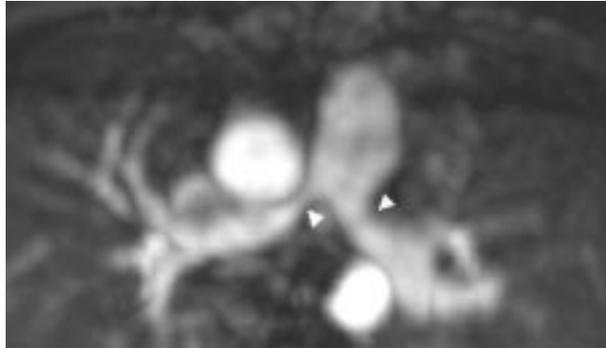


Figura 11. Angiografía por RM con secuencias 3D-GRE. Estenosis de arteria pulmonar bilateral en niña con tetralogía de Fallot intervenida (puntas de flecha). El diámetro del tronco principal de la arteria pulmonar se encuentra conservado.

ción interventricular, interauricular), venas pulmonares anómalas, coartación de aorta y otras cardiopatías congénitas complejas (Fig. 12)¹⁶.

ANGIOGRAFÍA CORONARIA POR RESONANCIA MAGNÉTICA

El estudio coronario con objeto de descartar enfermedad coronaria es una aplicación de RM que ha suscitado gran inte-

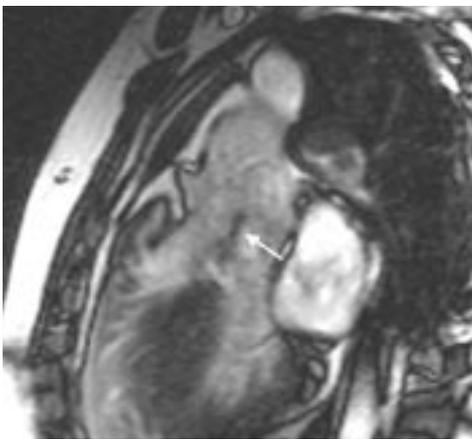


Figura 12. Tronco común tipo IV. Secuencia de cine-RM en un plano sagital oblicuo. Nótese un único tracto de salida común para ambos ventrículos. Válvula troncal insuficiente (flecha), con un jet sistólico retrógrado. Existe, además, comunicación interventricular. La vascularización pulmonar era anormal, a través de arterias bronquiales.

rés en la comunidad científica. La valoración de las arterias coronarias requiere de técnicas con gran resolución espacial y hoy en día, con las técnicas habituales de RM, todavía resulta difícil. Las arterias coronarias presentan un trayecto tortuoso, son de pequeño calibre y se encuentran en continuo movimiento debido a la contracción cardíaca y a los movimientos respiratorios. Actualmente se pueden analizar el origen y las regiones proximales de las arterias coronarias y su bifurcación; sin embargo, es más difícil visualizar las porciones más distales (Fig. 13).

Hoy en día se considera que las aplicaciones clínicas establecidas de la angiografía coronaria por RM son valorar las anomalías del origen y trayecto de las arterias coronarias, detectar aneurismas de las arterias coronarias y determinar la permeabilidad de los injertos aortocoronarios. Se pueden emplear tanto secuencias en apnea como secuencias con sincronización respiratoria¹⁷. Las secuencias GRE-3D tras la administración intravenosa de contraste también se pueden emplear para valorar la permeabilidad de los injertos aortocoronarios¹⁸.

CONCLUSIONES

Las aplicaciones cardíacas de la RM son cada vez más numerosas. Esta técnica diagnóstica se perfila como la técnica idónea complementaria a la ecocardiografía convencional, tanto para valorar enfermedades del miocardio como para establecer



Figura 13. Angiografía por RM con secuencia 3D-GRE. Origen y trayecto proximal de la arteria coronaria derecha y del tronco principal izquierdo. CD: coronaria derecha; CI: coronaria izquierda.

la extensión de la afectación secundaria a cardiopatía isquémica, estudiar la anatomía y los cambios postquirúrgicos de las cardiopatías congénitas, realizar estudios valvulares, etc. Sin duda, la RM cardíaca es una técnica en continuo desarrollo y es posible que, en un futuro reciente, destaque como la exploración de primera elección para el diagnóstico de múltiples enfermedades cardíacas.

Agradecimientos

Agradecimiento al equipo de resonancia magnética cardiovascular de St. Johannes Hospital de Dortmund.

BIBLIOGRAFÍA

1. BOIX R, ARAGONES N, MEDRANO MJ, VILLAR F, BANEGAS JR, RODRÍGUEZ ARTALEJO F et al. Tendencias en la mortalidad por cardiopatía isquémica en 50 provincias españolas. *Rev Esp Cardiol* 2003; 56: 850-856.
2. PUJADAS S, REDDY GP, WEBER O, LEE JJ, HIGGINS CB. MR imaging assessment of cardiac function. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19: 789-799.
3. POUSTCHI-AMIN M, GUTIÉRREZ FR, BROWN JJ, MIROWITZ SA, NARRA VR, TAKAHASHI N et al. Performing cardiac MR imaging: an overview. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2003; 11: 1-18.
4. MANNING WJ, PENNELL DJ. Cardiovascular magnetic resonance. Philadelphia: Churchill Livingstone; 2002.
5. BARKHAUSEN J, HUNOLD P, JOCHIMS M, DEBATIN JF. Imaging of myocardial perfusion with magnetic resonance. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19: 750-757.
6. HUNOLD P, MADERWALD S, EGGEBRECHT H, VOGT FM, BARKHAUSEN J. Steady-state free precession sequences in myocardial first-pass perfusion MR imaging: comparison with TurboFLASH imaging. *Eur Radiol* 2004; 14: 409-416.
7. 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; 100: 1992-2002.
8. HEATLIE GJ, POINTON K. Cardiac magnetic resonance imaging. *Postgrad Med J* 2004; 80: 19-22.
9. DIDIER D, RATIB O, LERCH R, FRIEDLI B. Detection and quantification of valvular heart disease with dynamic cardiac MR imaging. *Radiographics* 2000; 20: 1279-99; discussion 1299-301.
10. 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; 108: 54-59.

11. SOLER R, RODRIGUEZ E, REMUINAN C, BELLO MJ, DIAZ A. Magnetic resonance imaging of primary cardiomyopathies. *J Comput Assist Tomogr* 2003; 27: 724-734.
12. ASHER CR, KLEIN AL. Diastolic heart failure: restrictive cardiomyopathy, constrictive pericarditis, and cardiac tamponade: clinical and echocardiographic evaluation. *Cardiol Rev* 2002; 10: 218-229.
13. WANG ZJ, REDDY GP, GOTWAY MB, YEH BM, HETTS SW, HIGGINS CB. CT and MR imaging of pericardial disease. *Radiographics* 2003; 23 Spec No: S167-80.
14. TANDRI H, BOMMA C, CALKINS H, BLUEMKE DA. Magnetic resonance and computed tomography imaging of arrhythmogenic right ventricular dysplasia. *J Magn Reson Imaging* 2004; 19: 848-858.
15. TANDRI H, FRIEDRICH MG, CALKINS H, BLUEMKE DA. MRI of arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy/dysplasia. *J Cardiovasc Magn Reson* 2004; 6: 557-563.
16. REDDY GP, HIGGINS CB. Magnetic resonance imaging of congenital heart disease: evaluation of morphology and function. *Semin Roentgenol* 2003; 38: 342-351.
17. BOTNAR RM, STUBER M, DANIAS PG, KISSINGER KV, MANNING WJ. Coronary magnetic resonance angiography-methods. In: Pennell DJ, editor. *Cardiovascular magnetic resonance*. Philadelphia: Churchill Livingstone 2002: 196-214.
18. WINTERSPERGER BJ, ENGELMANN MG, VON SMEKAL A, KNEZ A, PENZKOFER HV, HOFLING B et al. Patency of coronary bypass grafts: assessment with breath-hold contrast-enhanced MR angiography-value of a non-electrocardiographically triggered technique. *Radiology* 1998; 208: 345-351.