

Aplicación del método de resonancia magnética cardiovascular en el estudio de las cardiopatías congénitas

Aloha Meave,* Erick Alexanderson*

Resumen

La resonancia magnética cardiovascular (RMCV) es el método de imagen no invasivo ideal para el diagnóstico de las cardiopatías congénitas (CC) ya que ofrece importante información anatómica y funcional en el mismo estudio. Este método es útil para llevar un seguimiento a largo plazo del paciente con cardiopatía congénita. Las principales ventajas de la RMCV consisten en que es un estudio de imagen no invasivo y en que está exento de radiación ionizante. El objetivo de este artículo es el demostrar que las cardiopatías congénitas pueden ser diagnosticadas mediante la resonancia magnética con una mayor precisión comparada con otros métodos de imagen cardiovascular.

Summary

APPLICATION OF CARDIOVASCULAR MAGNETIC RESONANCE IN CONGENITAL HEART DISEASE

Cardiovascular magnetic resonance (CVMR) is the best non invasive imaging technique for the diagnosis of congenital heart disease (CHD) as it gives important information concerning anatomy and function of the heart in the same exploration. This method is useful for the follow up of the patient with congenital heart disease. The most important benefits of CVMR are the non invasiveness of the same and the lack of ionic radiation. The objective of this article is to demonstrate that congenital heart disease can be diagnosed with CVMR with a higher precision compared with other cardiovascular imaging techniques.

(Arch Cardiol Mex 2006; 76: S2, 141-151)

Palabras clave: Diagnóstico. Resonancia magnética. Cardiopatías congénitas.
Key words: Diagnostic. Magnetic resonance. Congenital heart disease.

Con el advenimiento de la resonancia magnética cardiovascular (RMCV) se han podido identificar y caracterizar de manera no invasiva y tridimensional los defectos estructurales del corazón y de los vasos periféricos.¹ La RMCV es el método ideal en la valoración integral de CC (CC), por las siguientes razones: la resolución espacial y capacidad multiplanares del método permite una adecuada valoración de la anatomía cardíaca y vascular, esta información anatómica se complementa con el análisis funcional tanto ventricular como de flujo en sistema valvular y a nivel vascular. La RMCV se ha constituido como una verdadera herramienta complementaria a la ecocardiogra-

fía en la evaluación detallada de las CC simples y complejas. Mediante esta técnica se analizan: la anatomía, la disposición, las dimensiones y a su vez la funcionalidad de las estructuras cardíacas, así como de estructuras vasculares. El método de RMCV es no operador dependiente y permite un seguimiento a largo plazo facilitado por su alta reproducibilidad, no invasión, acceso a campos de visión relativamente complejos y el estar exento de radiación ionizante. Este último punto es especial importante al considerar la exploración de pacientes pequeños, en los que se realiza el procedimiento bajo anestesia por la necesidad de cortos períodos de apnea.

* Instituto Nacional de Cardiología "Ignacio Chávez". México, D.F.

Correspondencia: Aloha Meave. Instituto Nacional de Cardiología, "Ignacio Chávez". (INCICH, Juan Badiano Núm. 1. Col. Sección XVI, Tlalpan 14080. México, D.F.).



Fig. 1. Paciente escolar preparado para exploración de RMCV, sedado asistido por anestesiólogo, con bobina colocada sobre el tórax e inyector de gadolinio. Todo este material compatible con RM.

La valoración se efectúa en aproximadamente 35 minutos con una exploración tanto cardíaca como vascular (*Fig. 1*).

Protocolo

En un examen completo de las CC se aplica el siguiente protocolo:

Obtención de imágenes ortogonales (sagital, axial, coronal) en secuencia turbo spin echo, HASTE; con la finalidad de realizar una valoración inicial de la disposición, morfología y dimensiones de las cavidades cardíacas, su relación con las estructuras vasculares y resto de estructuras mediastinales; así como configuración de los hemitórax (*Fig. 2*).

La información funcional es obtenida con secuencias cine eco de gradiente en los planos cuatro cámaras, eje corto ventricular de la base al ápex, tractos de salida ventriculares y sagital oblicuo de la aorta (*Fig. 3*). Estos datos son analizados para obtener la función ventricular, volúmenes y masa tanto izquierda como derecha con un software denominado ARGUS o bien MASS.

Cuando la clínica lo amerita se realiza análisis con secuencias de mapeo de flujo para obtener medición de velocidades de flujo y volúmenes de flujo del corazón y vascular.

La utilización del material de contraste endovenoso denominado gadolinio es útil en la caracterización vascular arterial y venosa con la secuencia 3DTOF, posterior reformateo y análisis 3D.

En la planeación y análisis de la exploración se aplica el método de segmentación, el cual consta en determinar el *situs* atrial, la concordancia tan-

to auriculoventricular como ventriculoarterial y la valoración de la configuración y función valvular e integridad del septum interauricular e interventricular. Posteriormente se caracteriza la configuración, el diámetro y disposición de la aorta, de la arteria pulmonar y el drenaje venoso.

Morfología atrial, determinación del *situs*, isomerismo

Se define la anatomía propia del atrio derecho (AD) cuya orejuela tiene una base ancha y triangular a diferencia del atrio izquierdo (AI) con orejuela elongada y de base angosta. El AD recibe las venas cava superior e inferior y el izquierdo las venas pulmonares.

En el *situs solitus* el AD es anterior y derecho, y el izquierdo, posterior e izquierdo. En el caso del *situs inversus* se refiere a la imagen en espejo del *situs solitus*.

Morfología ventricular, conexión atrioventricular

La conexión atrioventricular es biventricular al conectarse los atrios a un ventrículo y univentricular cuando los atrios se conectan a un ventrículo. Se caracteriza morfológicamente a cada ventrículo y se determina su disposición. El ventrículo izquierdo con aspecto compacto del músculo y dos músculos papilares. El ventrículo derecho de morfología triangular con aspecto trabeculado y banda moderadora (*Fig. 4*).

En la conexión atrioventricular se analiza el tipo y el modo de unión entre los atrios y ventrículos. El tipo de unión atrioventricular se refiere a la anatomía de la unión atrioventricular.

En la conexión atrioventricular concordante, el AD se conecta al ventrículo derecho y el AI se conecta al ventrículo izquierdo (*Fig. 5*); en la conexión atrioventricular discordante el AD se conecta al ventrículo izquierdo y el AI, al ventrículo derecho, independientemente de la posición espacial que guardan estos segmentos entre sí. Es posible que exista conexión atrioventricular concordante con el AD a la derecha y el ventrículo derecho a la izquierda, y un AI a la izquierda con un ventrículo izquierdo a la derecha. Esta forma de relación espacial se conoce como criss-cross o conexiones atrioventriculares cruzadas (*Fig. 6*).

Existe doble entrada a un ventrículo cuando la mayor parte del diámetro de los orificios atrioventriculares de una válvula atrioventricular co-

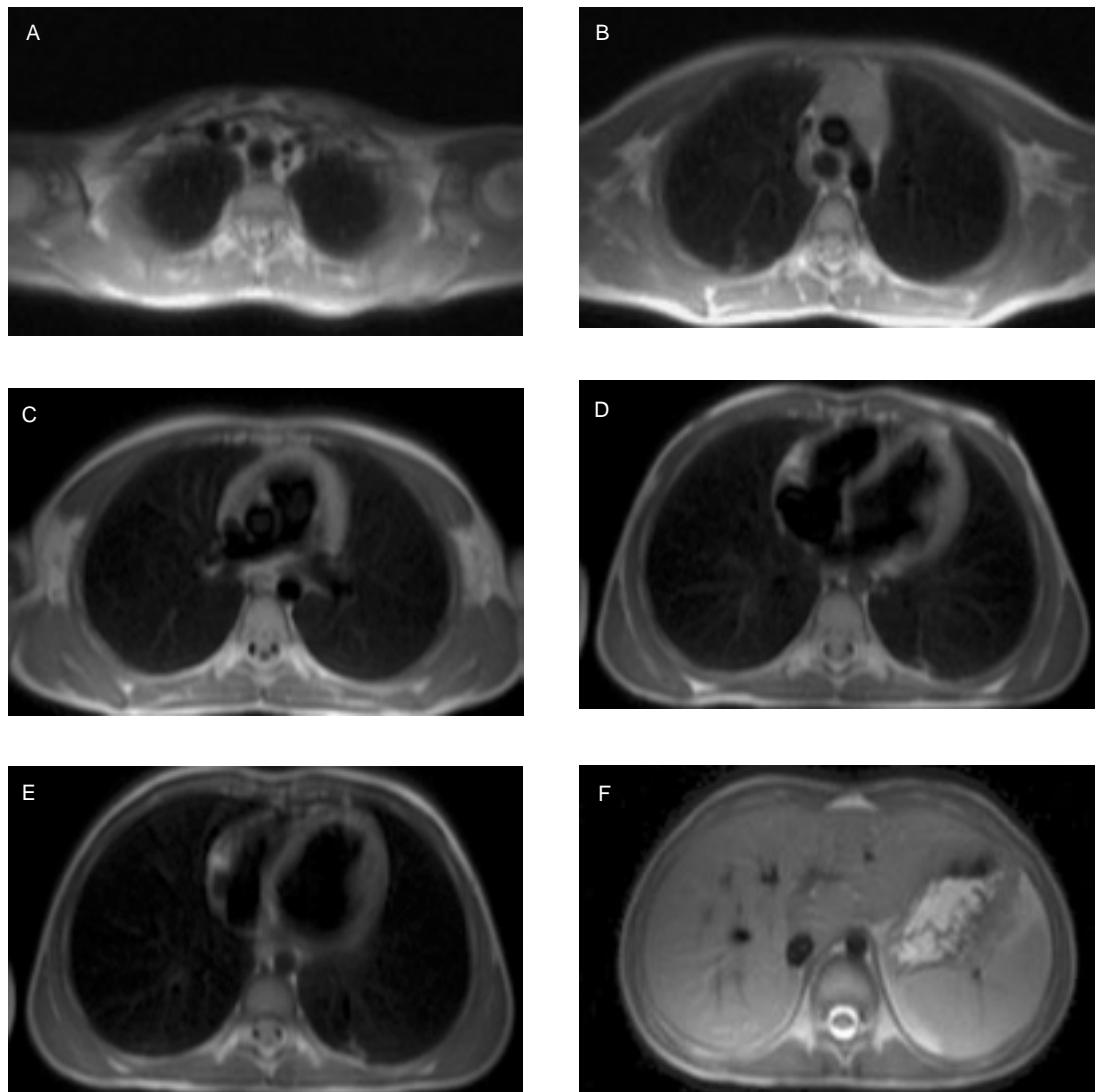


Fig. 2. Secuencia HASTE en plano axial torácico, en donde se observan las cavidades cardíacas y su relación con estructuras vasculares y mediastinales.

mún se conecta a uno de los ventrículos (*Fig. 7*). Y se conoce como ausencia de una conexión atrioventricular a aquel tipo de conexión en el que falta una de las válvulas atrioventriculares, como es el caso de la atresia tricuspídea, en la que el AD no se conecta a la masa ventricular; está separado del corazón por el surco atrioventricular y el AD se comunica con el izquierdo por medio de un defecto septal interatrial (*Fig. 8*).

Conexión ventriculoarterial

La conexión ventriculoarterial concordante es cuando la arteria pulmonar se conecta al ventrículo de-

recho, y la aorta, al izquierdo; en la discordante, la aorta se conecta al ventrículo derecho, y la arteria pulmonar al izquierdo.

Existe doble cámara de salida del ventrículo derecho o del izquierdo cuando un orificio sigmoideo se conecta completamente, y el otro en más del 50%, con uno de los ventrículos, o bien cuando más de la mitad de los dos orificios sigmoideos se conectan con una cámara ventricular.

Única vía de salida de un ventrículo cuando un solo tronco arterial se conecta a la masa ventricular (*Fig. 9*), por lo que el tronco común, la atresia pulmonar sin conexión del tronco arterial con la masa ventricular y la atresia aórtica

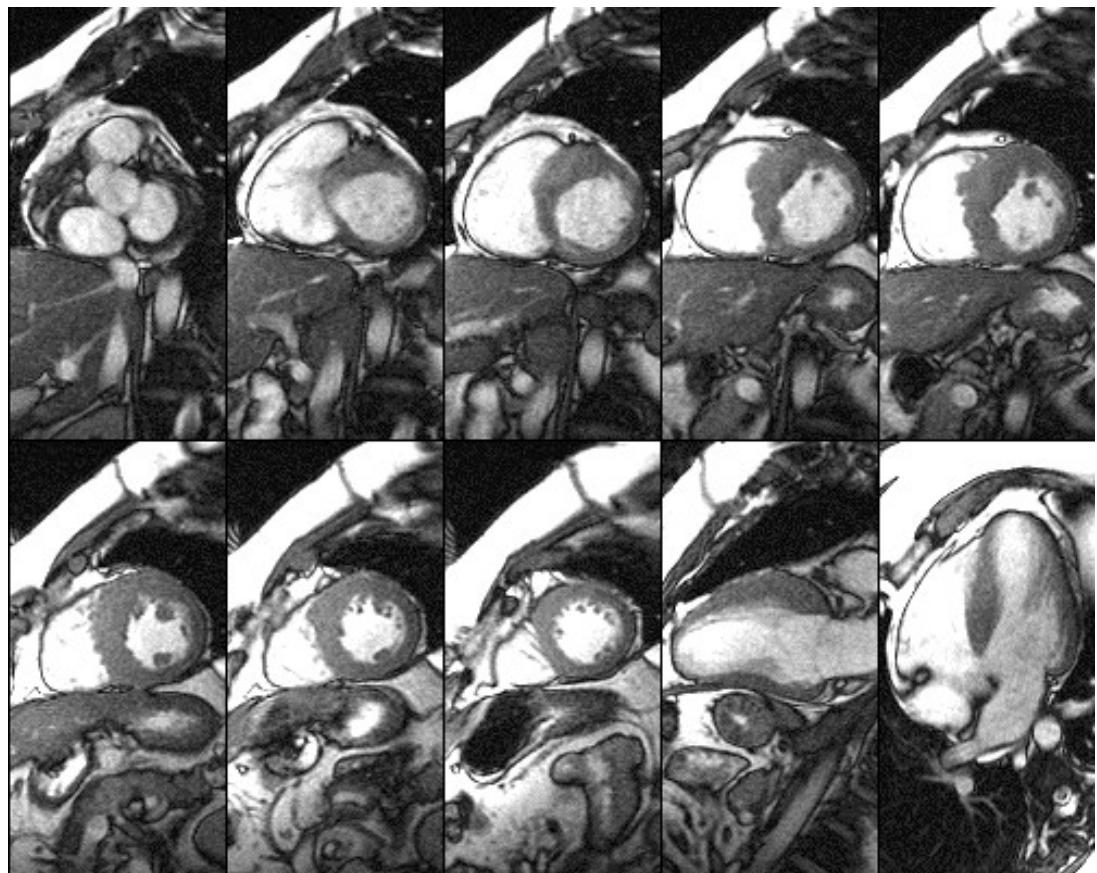


Fig. 3. Imagen cine eco de gradiente en plano cuatro cámaras, dos cámaras y eje corto ventricular de la base al apex.

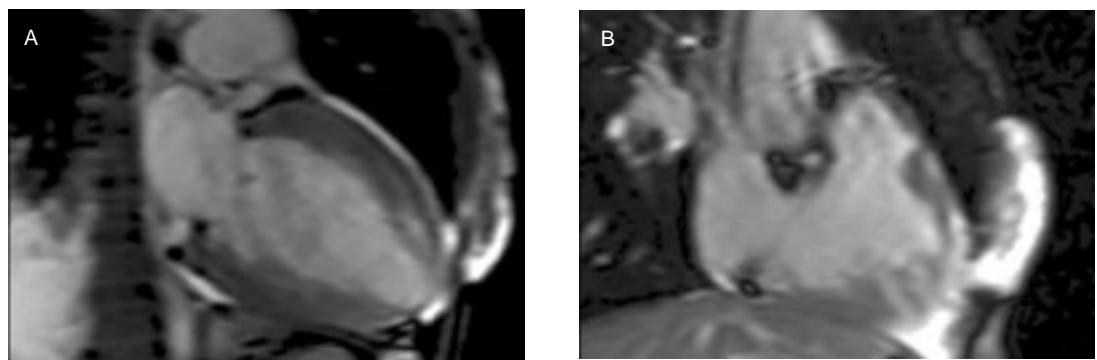


Fig. 4. Dos cámaras ventriculares, izquierdo (A) y derecho (B). Se caracterizan claramente la morfología tanto auricular como ventricular.

sin conexión de la aorta con la masa ventricular se consideran como única vía de salida.

Valoración de la función ventricular

En el caso de las CC el uso de cines eco de gradiente permite una adecuada, rápida y reproducible

valoración ventricular en ejes cortos de la base al apex, método con el que se obtiene un valor cuantitativo de la función ventricular izquierda y derecha, así como del flujo volumétrico. Los cines proporcionan información completa en 3D de imágenes al final de la diástole y final

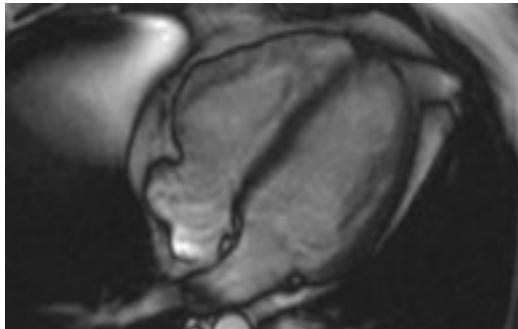


Fig. 5. Cuatro cámaras ventriculares. Se observa la morfología de las cavidades cardíacas y se define la concordancia auriculoventricular.

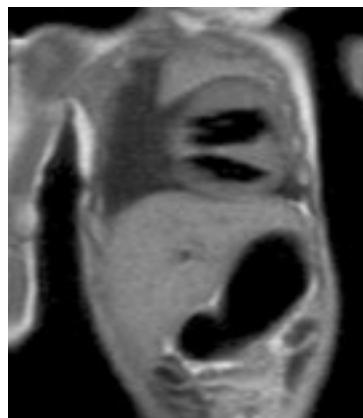


Fig. 6. Criss-Cross, caracterización ventricular izquierda y derecha con delimitación horizontal del septum interventricular.

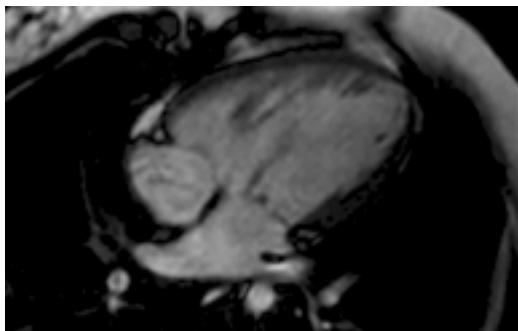


Fig. 7. Doble entrada a ventrículo izquierdo.

de la sístole cubriendo la totalidad de ambos ventrículos permitiendo el cálculo de la masa ventricular izquierda y derecha, volúmenes y fracción de expulsión.

En pts pediátricos en especial el método tiene una aplicación importante ya que al contar con una

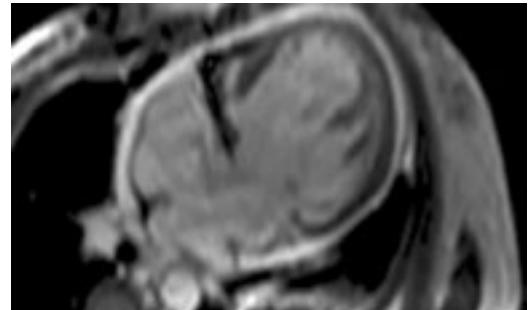


Fig. 8. Atresia tricuspídea. Se define la banda fibrosa conformada por el piso del atrio derecho, la amplia comunicación interauricular y estrecha comunicación ventricular con ventrículo derecho hipoplásico.

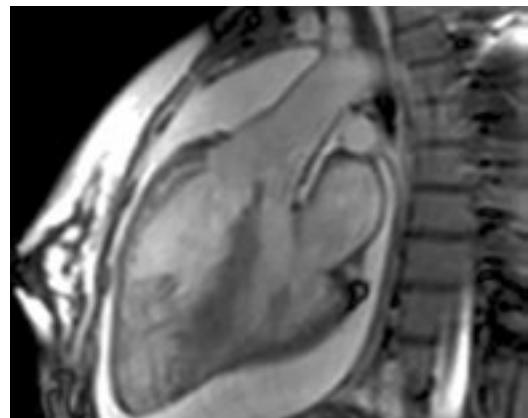


Fig. 9. Tronco común.

excelente resolución espacial delimita claramente el contorno endocárdico y epicárdico, lo que permite una valoración exacta del engrosamiento y masa miocárdica. Se ha planteado la posibilidad de calcular la masa ventricular derecha, la cual se dificulta por la configuración marcadamente trabeculada, sin embargo es posible (*Fig. 10*).

Valoración de cortocircuitos

La secuencia de mapeo de flujo aporta una medición directa de flujo pulmonar y aórtico valorando el volumen latido de ambos ventrículos. Además de valorar anormalidad valvular la secuencia de mapeo de flujo permite caracterizar cortocircuitos.

Evaluaciones específicas

Comunicación interatrial e interventricular. Los defectos septales son causas comunes de cortocircuitos en ocasiones detectados hasta la edad adulta. (*Figs. 11 y 12*).

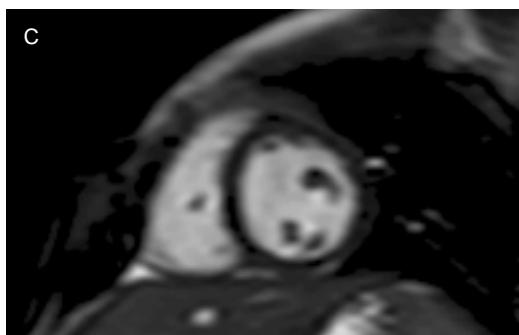
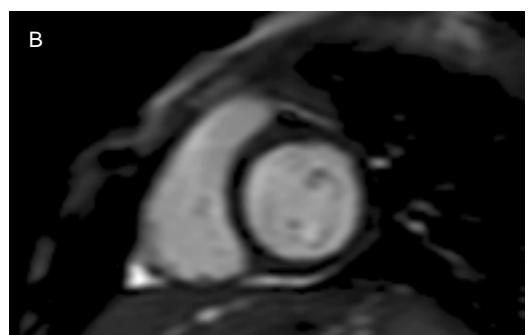
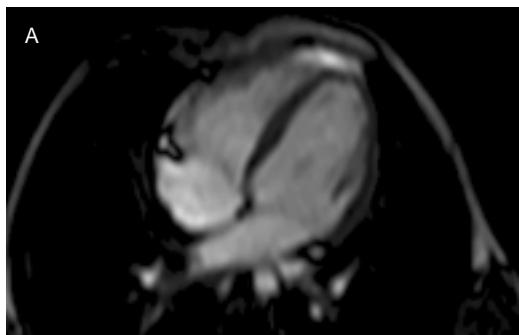


Fig. 10 A, B, C. Delimitación exacta de los contornos endocárdico y epicárdico en cuatro cámaras y ejes cortos ventriculares.

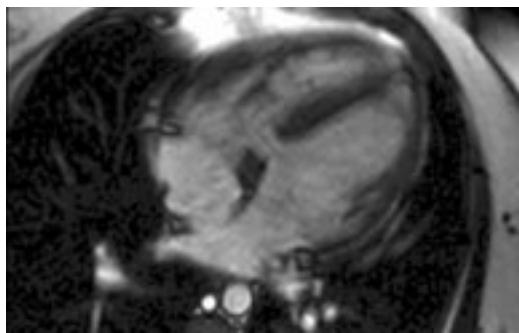


Fig. 11. Comunicación interventricular en paciente adulto.

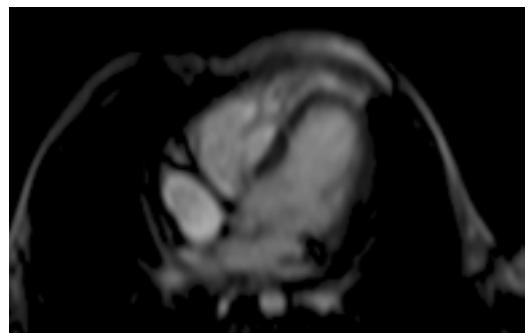


Fig. 12. Comunicaciones interventriculares en neonato.

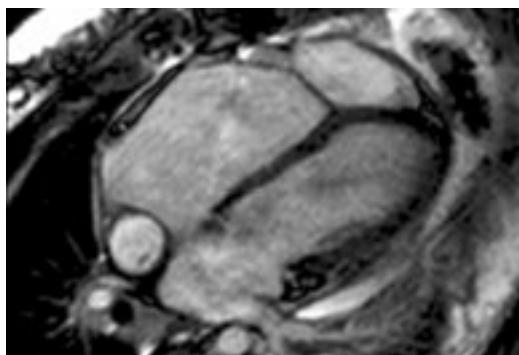


Fig. 13. Ebstein. Se define la atrialización ventricular y adosamiento tricuspídeo.

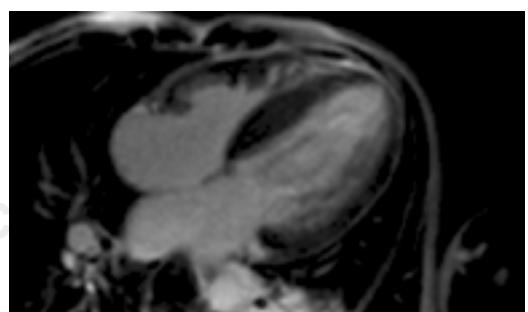


Fig. 14. Caracterización tisular, miocardio sin evidencia de fibrosis.



Fig. 15. Anatomía coronaria. Arteria coronaria izquierda.

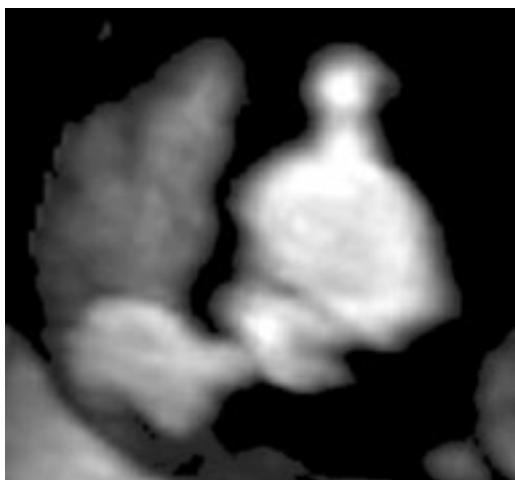


Fig. 16. Dilatación aneurismática coronaria en enfermedad de Kawasaki.

El defecto septal atrial más común es el septum secundum o fosa ovalis, localizado en la porción central del septum atrial. El seno venoso localizado más alto justo por debajo a la entrada de la vena cava superior al AD y algunas veces asociado a conexión anómala de venas pulmonares. Los defectos septales son también causa de cortocircuito de izquierda a derecha y se pueden presentar de manera aislada o bien en combinación con otras malformaciones. Los defectos septales son diagnosticados con ecocardiografía transtorácica o bien transesofágica; sin embargo

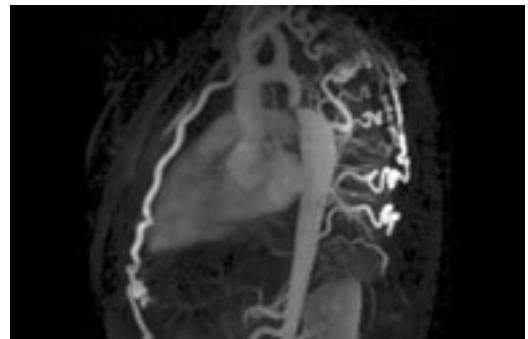


Fig. 17. Coartación aórtica.

en el caso de lesiones asociadas (discordancia atrioventricular, ventriculoarterial, conexiones anómalas sistémicas o pulmonares) se dificulta el definir la topografía de los segmentos por lo que la RMCV permite una excelente definición tanto anatómica como funcional.

Los cines eco de gradiente y mapeo de flujos permiten delimitar claramente la localización del defecto, dimensiones, así como también pueden ser medidos los flujos sistemicopulmonares. Toda esta información es indispensable para la planeación del abordaje. La repercusión hemodinámica de la afección es posible cuantificarse como ya se mencionó previamente. En el caso de una comunicación atrial o ventricular, además de que es factible encontrar el defecto septal con los cortes ordinarios, se puede realizar una prueba en la cual se anula la señal de la sangre que existe en el lado izquierdo con el fin de delimitar un cortocircuito, de esta forma, incluso en presencia de defectos septales muy pequeños, el defecto se hace evidente. La sensibilidad y especificidad de la RMCV es del 100% en la identificación de defectos del septum atrial y ventricular.

El método permite además excluir la presencia de otros cortocircuitos como es la conexión anómala de venas pulmonares en el que a la ecocardiografía se le dificulta el diagnóstico.

Anormalidades valvulares

Anomalidades valvulares congénitas simples (estenosis mitral) y complejas (Ebstein) son posibles de evaluar con RMCV (Fig. 13). Especialmente útil es en los casos de insuficiencias y la repercusión hemodinámica de la patología valvular en los volúmenes y función de los ventrículos.

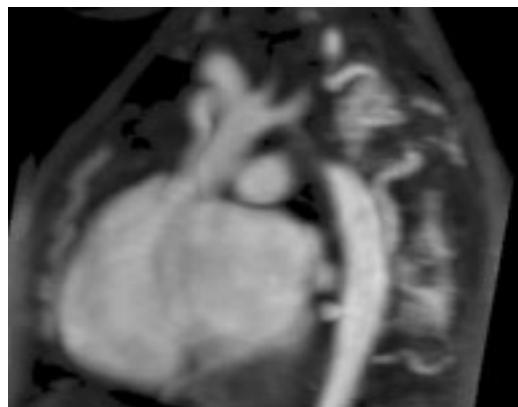


Fig. 18. Interrupción del arco aórtico.

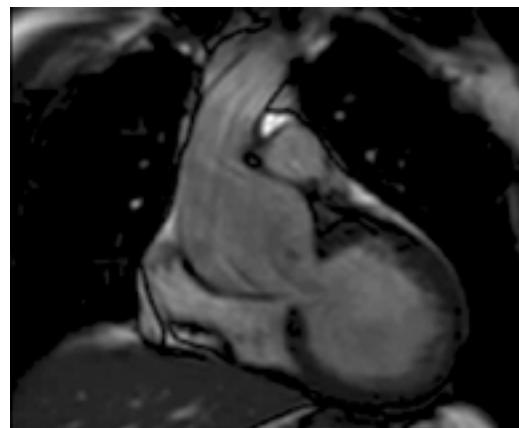


Fig. 19. Dilatación sinotubular en Marfan.

Tetralogía de Fallot

La tetralogía de Fallot es bien caracterizada por resonancia magnética tanto en el diagnóstico y caracterización inicial como en el seguimiento. La tetralogía incluye cabalgamiento de la aorta, defecto septal membranoso, estenosis pulmonar infundibular e hipertrofia ventricular derecha, en algunos casos además de estenosis de las arterias pulmonares y en casos severos colaterales pulmonares. Se realiza una exploración completa para realizar una caracterización de la patología ya diagnosticada por ecocardiografía. La valoración de función ventricular así como de caracterización tisular para descartar fibrosis miocárdica son de vital importancia como factor pronóstico del pte llevado a corrección. El seguimiento de adultos corregidos es altamente reproducible y permite valorar la función ventricular derecha (Fig. 14).

Anomalías de las arterias coronarias

La RMCV es de utilidad en el diagnóstico de patología congénita o inflamatoria de las arterias coronarias, como es el caso de la enfermedad de Kawasaki. En el origen anómalo de las arterias coronarias se caracterizan los troncos principales así como vistas inaccesibles como es el caso del trayecto aortopulmonar (Fig. 15). En el caso de enfermedad de Kawasaki se delimita el tronco de las coronarias con caracterización de los aneurismas y valoración de permeabilidad de los mismos. Se realiza una valoración cardíaca integral con diámetros ventriculares, valoración de la movilidad y engrosamiento miocárdico. Así como también se identifican y delimitan zonas necróticas miocárdicas, lo cual

es de importante valor pronóstico. El seguimiento es posible en estos pacientes sin condicionar afección ya que se trata de un método no invasivo (Fig. 16).

Anormalidad vascular

La coartación de la aorta es una patología congénita frecuente en nuestro medio. Mediante la RMCV es posible determinar la presencia de la coartación, la extensión, severidad, involucro del arco aórtico, dilatación postestenótica y definir la repercusión fisiológica que ha tenido sobre el corazón mediante el análisis de la función ventricular izquierda. Además, se estima el gradiente de flujo a través de la zona de coartación aplicando la secuencia de mapeo de flujo, cuantificando a su vez la circulación colateral. El volumen de flujo es estimado en dos localizaciones: en la porción justo distal a la coartación y a nivel infradiafragmático. La presencia de circulación colateral indica coartación significativa (Fig. 17).

La RMCV muestra a detalle las características de los anillos vasculares, su relación con anomalías del arco aórtico y otras estructuras. El doble arco aórtico condiciona compresión de la tráquea y el esófago bien caracterizado con una angiorresonancia. En el caso de anomalías en la emergencia de la subclavia izquierda es posible seguir el trayecto claramente y determinar si condiciona algún compromiso. En el caso de interrupción de aorta (Fig. 18) el método permite definir la localización exacta, así como el conducto arterioso asociado y la repercusión de la patología. En niños la determinación del conducto arterioso persistente se realiza con ecocar-

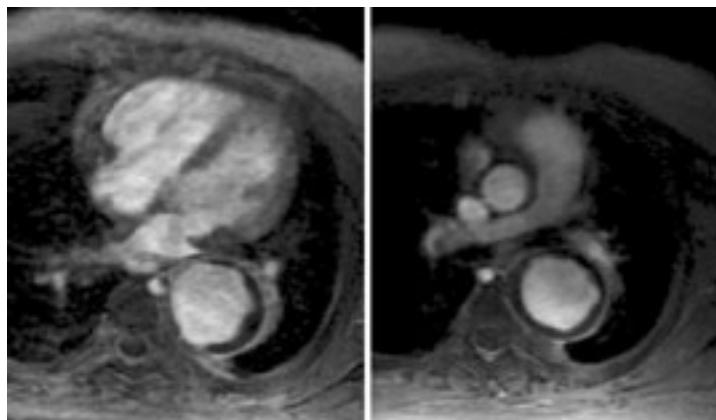


Fig. 20. Aneurisma de aorta descendente asociado a hematoma intramural.

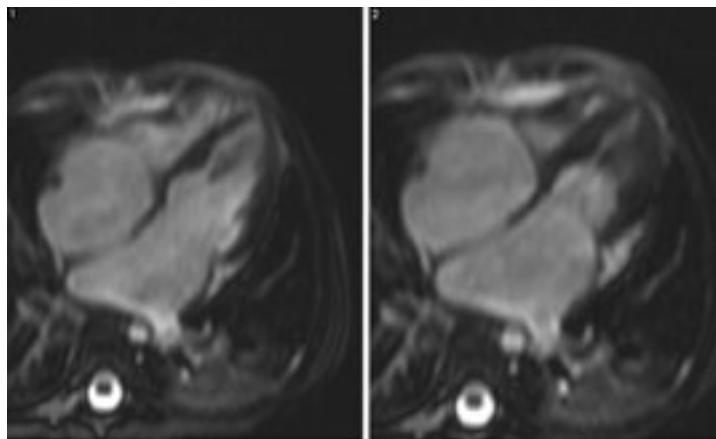


Fig. 21. Miocardiopatía restrictiva. Dilatación biauricular.

diografía; sin embargo la RM complementa la información en caso de existir asociación a alguna otra patología. En el paciente adulto es necesaria la exploración con RMCV ante la sospecha clínica de cortocircuito sin lograr demostrarlo con ecocardiografía.

Síndrome de Marfan

El desarrollo de aneurismas en esta patología es de gran importancia en el pronóstico. La cirugía profiláctica y en especial la terapia endovascular han contribuido a incrementar la sobrevida en estos pacientes. El método permite un seguimiento estrecho del diámetro aórtico, función valvular aórtica y ventricular izquierda. Se realiza una exploración completa de aorta con adquisición en planos axiales y coronales en cines eco de gradiente de la raíz en donde se caracteriza claramente la porción sinotubular (Fig. 19).

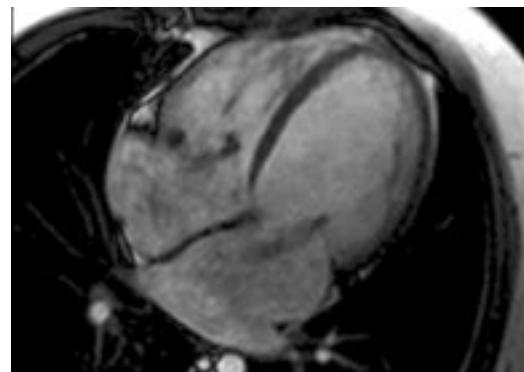


Fig. 22. Miocardiopatía dilatada.

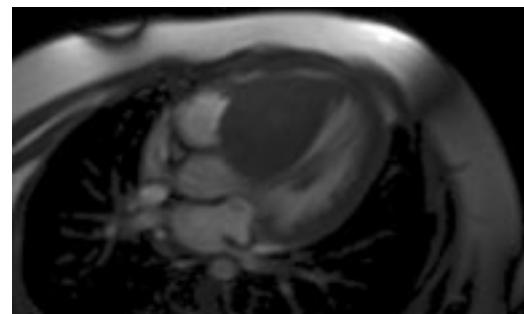


Fig. 23. Miocardiopatía hipertrófica septal.

Por lo general se complementa con angiorresonancia para caracterización completa de la aorta y cortes axiales de cines en diversos niveles para valorar la distensibilidad de la misma. En el caso de complicaciones como es la disección se valora la localización y extensión involucrada, el sitio de entrada, la integridad del FLAP, diámetro y trayecto de la luz verdadera y falsa, se determina el compromiso de troncos supraaórticos y emergencia de arterias viscerales (Fig. 20). Se aplica en estos casos cines eco de gradiente, mapeos de flujo y angiorresonancia. Todo esto para normar la conducta terapéutica que por lo general es combinada (cirugía-terapia endovascular). El enfoque multidisciplinario en estos pts es de vital importancia. Posterior al manejo, en el caso de colocación de endoprótesis se realiza seguimiento de la exclusión de la luz falsa y remodelación de la pared de la aorta.

Transposición de las grandes arterias

La transposición de las grandes arterias es una de las malformaciones congénitas más cianóticas. En el caso de la transposición completa existe discordancia ventriculoarterial en presencia

de concordancia auriculoventricular. Al ser corregidos los pacientes con redirección del flujo la RMCV es el método ideal para valoración la función ventricular y morfología.

Estenosis o atresia de la arteria pulmonar

La valoración del tracto de salida del ventrículo derecho se realiza con cines eco de gradiente con análisis de la función valvular, diámetro del tronco de la arteria pulmonar y confluencia de las ramas. Incluso es posible el obtener medición del flujo de las ramas pulmonares de manera independiente al aplicar mapeo de flujo.

Miocardiopatías

En el caso de la miocardiopatía hipertrófica, restrictiva y dilatada se evalúan con una exploración única, no invasiva en la que se valora la morfología de ambos ventrículos con obtención de volúmenes ventriculares tanto izquierdo como derecho, masa, engrosamiento y caracterización tisular. Para esto último se aplica material de contraste endovenoso y se determina un patrón de reforzamiento tardío, que puede orientar hacia alguna patología específica, como sería la fibroelastosis endomiocárdica en el caso de una miocardiopatía restrictiva. En el caso de la miocardiopatía hipertrófica se caracteriza la afección, se valora si existe compromiso del tracto de salida del ventrículo izquierdo y posterior a la administración del material de contraste endovenoso se determinan zonas fibróticas, las cuales son potenciales focos arritmogénicos, lo que nos demuestra el importante valor pronóstico del método (*Figs. 21, 22 y 23*).

Tumores

La RMCV es el método de imagen ideal en el diagnóstico de neoplasias. Al contar con diversas secuencias que optimizan la caracterización del tumor, es posible determinar la localización, configuración, bordes y componentes del mismo, lo que permite el concluir una sospecha diagnóstica bastante acertada.

Cardiopatías congénitas en el paciente adulto. La RMCV contribuye al manejo informado de los pts con CC. A diferencia de la ecocardiografía, la RMCV se vuelve más sencilla de practicar

conforme el paciente crece. La capacidad de la RMCV de proporcionar información tanto estructural como funcional le proporciona una amplia gama de aplicaciones clínicas. En el estudio del pte con CC, la RMCV ofrece información anatómica de la alteración, la cual puede ser utilizada por el cardiólogo intervencionista o por el cirujano para realizar procedimientos claramente planeados y con una visión tridimensional del campo con el que se enfrentarán durante estos procedimientos. Además, permiten el seguimiento a corto y largo plazo de los pacientes una vez que se haya corregido la alteración congénita.

Contraindicaciones. Las contraindicaciones para la realización de un estudio de RMCV a diferencia de la creencia que existe son muy pocas, las cuales se enumeran a continuación:

Presencia de marcapaso, desfibrilador implantable o neuroestimulador.

Clips ferreos intracraneales.

Implantes o cuerpos extraños metálicos intraoculares.

Fragmento metálico (ej. proyectil) cercano a una estructura vital.

Implante coclear o audífono.

Prótesis valvular Starr-Edwards modelo 6000.

Claustrofobia

En conclusión, la RMCV es el método de imagen no invasivo novedoso y complejo con diversas aplicaciones clínicas que cubre por completo las necesidades diagnósticas en la patología cardiovascular. Es un método que utiliza radiación no ionizante con capacidad multiplana y excelente resolución tanto temporal como espacial con la capacidad de caracterizar los tejidos. La utilización de materiales de contraste sin nefrotoxicidad u otro efecto tóxico incrementa la utilidad del método. A diferencia de otros métodos diagnósticos no invasivos la RMCV ofrece una evaluación integral de la anatomía, función, perfusión y determinación de viabilidad cardíaca en una sola sesión. Los protocolos por RMCV para analizar la estructura cardíaca, así como función segmentaria y global están bien establecidos. La RMCV se encuentra en una importante etapa de desarrollo con aplicaciones clínicas claras hoy en día.

Referencias

1. POHOST GM, LYNNE H, DOYLE M: *Clinical use of Cardiovascular Magnetic Resonance*. Circulation 2003; 10: 647-653.
2. Attie, Fause, *Cardiopatías Congénitas en el Adulto*, Capítulo 2, Ed. Elsevier España, 2003, Madrid, España.
3. Task Force of the European Society of Cardiology, in Collaboration with the Association of European Paediatric Cardiologists, *The Clinical Role of magnetic resonance in cardiovascular disease*. Eur Heart J 1998; 19: 19-39.
4. BOGAERT J, ET AL: Follow up of patients with previous treatment for coarctation of the aorta: *Comparison between contrast-enhanced MR angiography and fast spin-echo MR imaging*. Eur Radio 2000; 10: 1847-54.
5. RIQUELME C, ET AL: MR imaging of coarctation of the aorta and its postoperative complications in adults: *Assessment with spin-echo and cine-MR imaging*. Magn Reson Imaging 1999; 17: 1737-46.
6. HOLMQVIST C, ET AL: *Pre-operative evaluation with MR in tetralogy of Fallot and pulmonary atresia with ventricular septal defect*. Acta Radiol 2001; 42: 63-9.
7. HELBING WA, ET AL: *Clinical applications of cardiac magnetic resonance imaging after repair of tetralogy of Fallot*. Pediatr Cardiol 2000; 21: 70-9.
8. DONNELLY LF, ET AL: *MR imaging of cono-truncal abnormalities*. Am J Roentgenol 1996; 166: 925-8.
9. BAKER EJ, ET AL: *Magnetic Resonance imaging at a high field strength ventricular septal defects in infants*. Br Heart J 1989; 62: 305-10.
10. PARSONS JM, ET AL: *Morphological evaluation of atrioventricular septal defects by magnetic resonance imaging*. Br Heart J 1990; 64:138-45.
11. AHMED S, SHELLOK FG: *Magnetic Resonance imaging safety*. J Cardiovasc Magn Reson 2001; 3(3): 171-182.

