

Estudio de las cardiopatías congénitas por resonancia magnética cardiaca

Sandra Pujadas^a, Francesc Carreras^a, M. Teresa Subirana^a, Jesús Jiménez Borreguero^b, Rubén Leta^a, Xavier Alomar^c y Guillem Pons Lladó^a

^aUnidad de Imagen Cardíaca. Servicio de Cardiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona. España.

^bServicio de Cardiología. Hospital Universitario de La Princesa. Madrid. España.

^cServicio de Radiodiagnóstico. Clínica Creu Blanca. Barcelona. España.

Se revisa la utilidad de la cardiorresonancia magnética para el diagnóstico y seguimiento no invasivo de las cardiopatías congénitas, con especial énfasis en las indicaciones más habituales: estudio de los cortocircuitos intracardíacos, estudio anatómico y funcional de la coartación de aorta, seguimiento postoperatorio de la tetralogía de Fallot y valoración postoperatoria de las cardiopatías congénitas complejas.

Palabras clave: Resonancia magnética. Cardiopatías congénitas. Angiografía.

Cardiac Magnetic Resonance in the Assessment of Congenital Heart Disease

This article reviews the usefulness of cardiovascular magnetic resonance in the noninvasive diagnosis and follow-up of congenital heart disease. Particular emphasis is placed on the most frequent reasons for requesting a cardiovascular magnetic resonance study: intracardiac communication, anatomical and functional studies of aortic coarctation, and postoperative follow-up of tetralogy of Fallot and other complex congenital malformations.

Key words: Magnetic resonance imaging. Congenital heart disease. Angiography.

INTRODUCCIÓN

Las cardiopatías congénitas constituyen un grupo de defectos estructurales y, consiguientemente, funcionales cardíacos presentes en el momento del nacimiento. Su espectro clínico abarca desde lesiones asintomáticas hasta malformaciones muy complejas que requieren correcciones quirúrgicas ya en el período neonatal. La extrema complejidad del estudio anatómico y funcional de este tipo de afecciones requiere una técnica diagnóstica por imagen capaz de proporcionar la información morfológica y funcional de forma precisa y reproducible, lo que convierte a la cardiorresonancia magnética (CRM) en la técnica de imagen no invasiva de elección. Las principales ventajas de la CRM respecto de la ecocardiografía son el amplio campo de visión y la excelente resolución espacial de las imágenes, lo que contribuye a proporcionar información anatómica muy detallada tanto en niños como

en pacientes adultos postoperados, en los que la ventana ecocardiográfica puede estar limitada y dificultar su estudio. Además, la CRM se considera la técnica de elección en la valoración de la función ventricular derecha, información fundamental en el seguimiento de muchos de estos pacientes. Por otra parte, las técnicas de angiorresonancia magnética con contraste permiten obtener excelentes imágenes tridimensionales de las estructuras vasculares extracardíacas, de manera que actualmente el número de cateterismos diagnósticos realizados en este tipo de pacientes ha disminuido extraordinariamente.

ESTUDIO ANATÓMICO

Análisis segmentario de la anatomía y las conexiones cardiovasculares

Dada la complejidad de algunas de las anomalías cardíacas congénitas, resulta especialmente útil evaluar de forma escalonada la anatomía de las diferentes estructuras cardiovasculares, así como las conexiones existentes entre ellas. Esto se conoce como «análisis segmentario del corazón», y para ello disponemos de diferentes

Correspondencia: Dr. F. Carreras.
Servicio de Cardiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.
Sant Antoni M. Claret, 167. 08025 Barcelona. España.
Correo electrónico: fcarreras@santpau.es

secuencias que nos permiten obtener información sobre cada uno de los distintos aspectos a analizar.

Para el estudio morfológico de las diferentes estructuras cardiovasculares y sus conexiones las secuencias de *spin echo* T1 (SET1) o de «sangre negra» son las más comúnmente utilizadas. Las nuevas secuencias de eco gradiente –*steady state free precession* (SSFP)– también pueden ser útiles para el estudio morfológico, ya que proporcionan una excelente calidad de las imágenes debido, fundamentalmente, a que el contraste entre la sangre y el miocardio es superior al obtenido en las secuencias SE.

Es aconsejable, en este tipo de afecciones, programar cortes axiales, sagitales y coronales estrictos, evitando en lo posible cortes oblicuos. Ello nos ayudará a mantener referencias anatómicas fiables que serán fundamentales en la localización y el análisis de las conexiones entre las distintas estructuras vasculares.

Este tipo de secuencias nos permitirá identificar rasgos morfológicos característicos de cada una de las cavidades que resultan imprescindibles para iniciar el análisis segmentario de estas afecciones:

1. Posición y orientación del corazón dentro de la caja torácica (levocardia, dextrocardia o mesocardia).

2. Determinar el *situs* y las conexiones venosas. Para ello, y basándonos en la información anatómica obtenida en los cortes axiales, identificaremos morfológicamente las aurículas. La aurícula morfológicamente derecha se caracteriza por una orejuela en forma triangular y con una amplia conexión con el resto de la aurícula. La orejuela de la aurícula morfológicamente izquierda es más estrecha y con forma de dedo. Hablaremos de *situs solitus* cuando ambas aurículas están situadas en su lo-

calización normal (fig. 1). Cuando la aurícula morfológicamente izquierda se encuentra situada a la derecha y la morfológicamente izquierda a la derecha, hablamos de *situs inversus*. Existe también la posibilidad de que ambas aurículas muestren la misma morfología; cuando ambas son morfológicamente derechas o izquierdas, se conoce como *isomerismo auricular* (derecho o izquierdo, respectivamente), y el *situs* se cataloga de *ambiguo*, el cual suele asociarse al síndrome de asplenia cuando el isomerismo es auricular derecho, y al de polisplenia cuando el isomerismo es auricular izquierdo.

Este tipo de secuencias también nos permite hacer un primer análisis del drenaje venoso pulmonar, ya que nos permite visualizar en los distintos cortes las 4 venas pulmonares y seguir su trayecto y drenaje, disponiéndose además de la angiografía 3D con contraste, que aporta información tridimensional muy útil en caso de existir un drenaje venoso pulmonar anómalo (fig. 2).

3. Conexión auriculoventricular. Para poder establecer el tipo de conexión auriculoventricular es necesario, en primer lugar, identificar a los ventrículos basándose en sus características morfológicas. El ventrículo morfológicamente derecho (VD) tiene una forma triangular en los planos axiales, sus paredes son trabeculadas y presenta la banda moderadora. El ventrículo morfológicamente izquierdo (VI), en cambio, muestra una forma elíptica y sus paredes son de superficie más lisa. Otro dato de gran ayuda es la identificación de las válvulas auriculoventriculares.

Cuando la aurícula morfológicamente derecha conecta con el ventrículo morfológicamente derecho y la aurícula morfológicamente izquierda conecta con el ventrículo morfológicamente izquierdo, la conexión auriculoventricular se cataloga de *concordante*. Por el

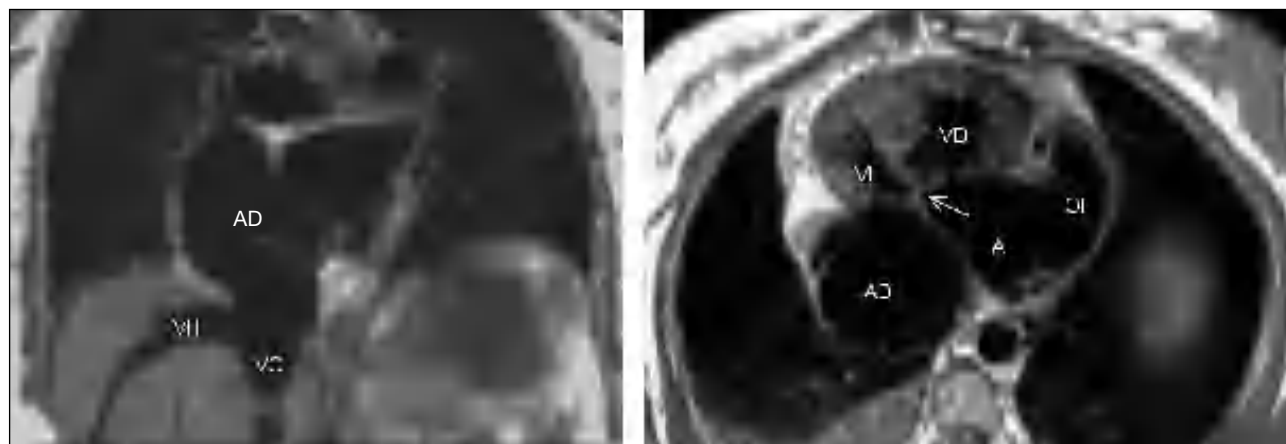


Fig. 1. Identificación del *situs* y de las cámaras cardíacas. Izquierda: plano coronal en SET1 que muestra 1) la vena cava inferior y la vena hepática situadas a la derecha y que drena a la aurícula situada en la derecha, indicativo de un *situs solitus*. Derecha: plano axial SET1 del mismo paciente que muestra 2) el corazón situado en el hemitórax derecho (dextrocardia) y con el ápex apuntando hacia la derecha (dextroversión); 3) una orejuela morfológicamente izquierda (con forma de dedo) situada a la izquierda, identificando la aurícula morfológicamente izquierda; 4) una inserción septal de la válvula auriculoventricular izquierda (flecha) más cerca del ápex que la derecha, identificándola como la válvula tricúspide y, por tanto, al ventrículo conectada a ella como el morfológicamente derecho. En definitiva, tenemos un paciente con una cardiopatía congénita compleja con dextrocardia, dextroversión, *situs solitus* y discordancia auriculoventricular.

AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; OI: orejuela izquierda; VCI: vena cava inferior; VD: ventrículo derecho; VH: vena hepática; VI: ventrículo izquierdo.

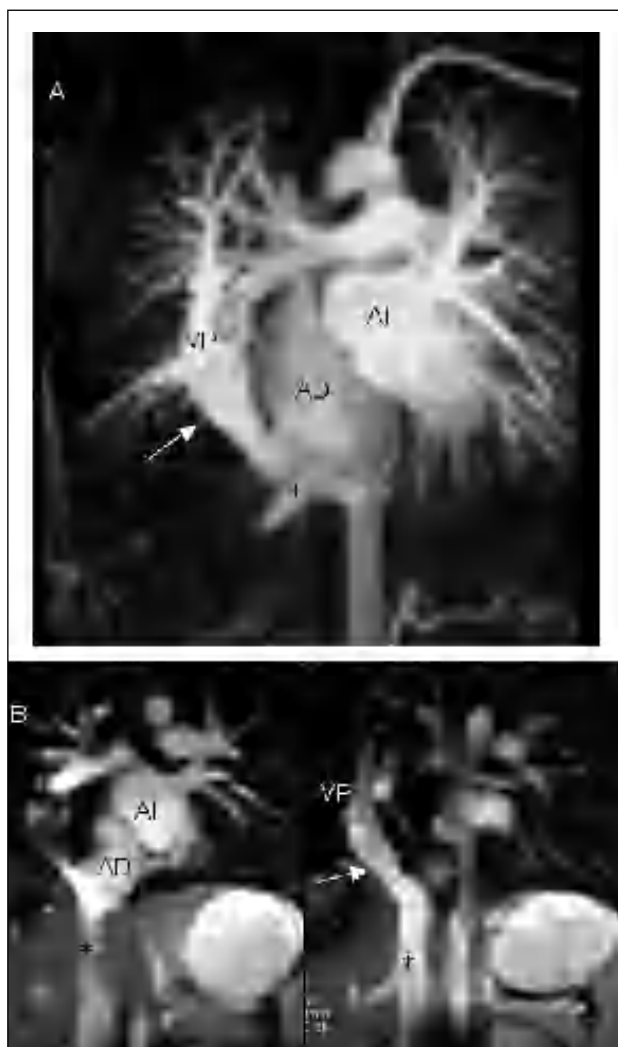


Fig. 2. Síndrome de la cimitarra. Angiografía 3D con contraste en un plano coronal (A) que muestra la imagen que simula una cimitarra (flecha) y que ha dado nombre al síndrome, y que corresponde al colector propio del drenaje venoso pulmonar anómalo de las venas pulmonares derechas a la unión aurícula derecha-vena cava inferior (asterisco). En la parte inferior (B) 2 imágenes MIP consecutivas del mismo paciente en las que se observa el drenaje venoso pulmonar anómalo hacia la porción inferior de la aurícula derecha (izquierda) y a la vena cava inferior (derecha). AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VP: vena pulmonar.

contrario, cuando la aurícula morfológicamente derecha conecta con el ventrículo morfológicamente izquierdo y la aurícula morfológicamente izquierda con el ventrículo morfológicamente derecho, se habla de discordancia auriculoventricular (fig. 3). Cuando existe isomerismo auricular la conexión auriculoventricular se cataloga de ambigua. Asimismo, es posible que una conexión auriculoventricular esté ausente, como ocurre en la atresia tricuspídea o mitral, o que ambas aurículas drenen a un mismo ventrículo, lo que se conoce como doble entrada ventricular.

4. Conexión ventrículo-arterial. Siguiendo el mismo esquema anterior, cuando la aorta se origina del ven-

trículo morfológicamente izquierdo y la arteria pulmonar del morfológicamente derecho hablaremos de concordancia ventrículo-arterial, y viceversa. Es importante recordar que la concordancia ventrículo-arterial es independiente de la posición que ocupan estas estructuras en el espacio.

5. Posición y relación entre los grandes vasos. Los múltiples cortes y el amplio campo de visión que nos proporciona la CRM permiten identificar y definir la posición de las estructuras vasculares extracardíacas. Los cortes coronales y sagitales permiten visualizar la aorta en todo su recorrido, y los cortes axiales son fundamentales en la identificación de la arteria pulmonar, ya que en ellos observamos su bifurcación. Los planos axiales, además, permiten determinar la posición de los grandes vasos: en condiciones normales la aorta ascendente se sitúa posterior y a la derecha de la arteria pulmonar, y el arco aórtico está a la izquierda. De esta manera, independientemente del tipo de conexión ventrículo-arterial, cuando la aorta se encuentre situada en posición anterior a la arteria pulmonar hablaremos de que los vasos están en posición de transposición: L-transposición cuando la aorta esté situada anterior y a la izquierda de la arteria pulmonar (fig. 3); D-transposición cuando la aorta esté situada anterior y a la derecha de la arteria pulmonar.

Angiografía con contraste: morfología y conexiones de las estructuras vasculares

La angiografía tridimensional con contraste aporta información de gran utilidad en el estudio de las estructuras vasculares, importante tanto en el diagnóstico como en la planificación del tratamiento sin necesidad de recurrir al cateterismo convencional¹. El plano utilizado en este tipo de secuencia, así como el momento de adquisición de las imágenes tras la inyección del contraste, dependerá de la estructura a estudiar. Este tipo de secuencias resulta muy útil en el estudio del drenaje venoso pulmonar (para el que se utilizará el plano coronal), en el estudio del árbol vascular pulmonar (plano coronal) y en el estudio de afección aórtica (plano sagital oblicuo). Asimismo, pueden ayudar en la valoración postoperatoria del funcionalismo y dimensiones de conductos protésicos, si bien en estos casos deberá escogerse el plano de estudio individualmente.

ESTUDIO FUNCIONAL

Función sistólica ventricular

La CRM está considerada patrón de referencia en el estudio de la función ventricular², ya que no depende de asunciones geométricas. Este hecho resulta fundamental en el estudio del VD, ya que su particular morfología no se aproxima a ningún modelo geométrico, hecho que ha convertido a la CRM en la técnica de elección para el

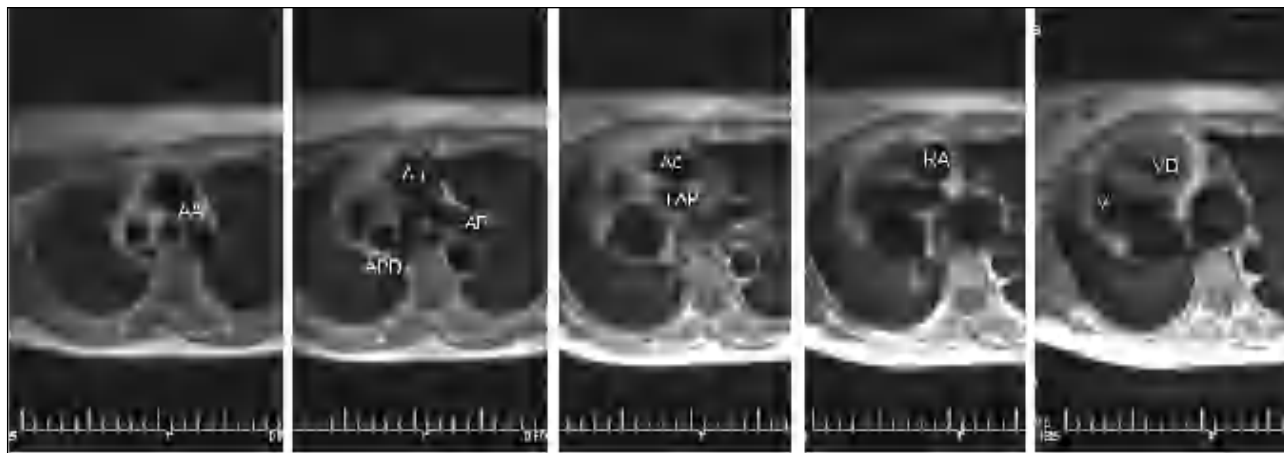


Fig. 3. Estudio anatómico de una transposición corregida de los grandes vasos. Múltiples cortes consecutivos en un plano axial en el que se observa el corazón en dextrocardia y dextroversión, así como la aorta situada anterior al tronco arterial pulmonar, en posición de transposición. Nótese que la aorta se origina del ventrículo morfológicamente derecho y el tronco arterial pulmonar del morfológicamente izquierdo, indicando una discordancia ventrículo-arterial, que en este caso coincidía con una discordancia auriculoventricular.

AA: arco aórtico; Ao: aorta; APD: arteria pulmonar derecha; API: arteria pulmonar izquierda; RA: raíz aórtica; TAP: tronco arterial pulmonar; VD: ventrículo derecho; VI: ventrículo izquierdo.

seguimiento de los pacientes con cardiopatías congénitas³ en los que la función del VD determina, en la mayoría de los casos, el pronóstico y el tratamiento. Para el estudio de la función ventricular se programarán múltiples cortes en una secuencia de cine-RM, orientados en el eje transversal del VI cubriendo desde la base hasta el ápex. No obstante, para el estudio de la función del VD se han publicado también buenos resultados utilizando cortes en el plano axial puro⁴.

Cuantificación de flujos aórtico y pulmonar

La secuencia de contraste de fase permite cuantificar el flujo sanguíneo a través de cualquier estructura vascular. Esta información resulta fundamental en el estudio de los cortocircuitos intracardiacos y otras afecciones como, por ejemplo, la coartación de aorta.

INDICACIONES MÁS HABITUALES DE LA CARDIORRESONANCIA MAGNÉTICA PARA EL ESTUDIO DE LAS CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS

Tras haber descrito el esquema de estudio común a todas las cardiopatías congénitas, conviene recordar que este grupo está constituido por afecciones muy diversas y que, por tanto, el estudio de CRM deberá siempre orientarse a resolver los problemas que cada una de ellas genere a su cardiólogo, utilizando para ello las secuencias y los planos que se consideren adecuados para cada caso particular.

El amplio espectro de anomalías cardíacas congénitas existentes y la extraordinaria complejidad de algunas de ellas impiden sintetizar en este monográfico el análisis de cada una de ellas individualmente, y trascien-

de el objetivo de esta revisión. No obstante, seguidamente intentaremos destacar los aspectos más importantes de las indicaciones de CRM más habituales en la práctica clínica habitual.

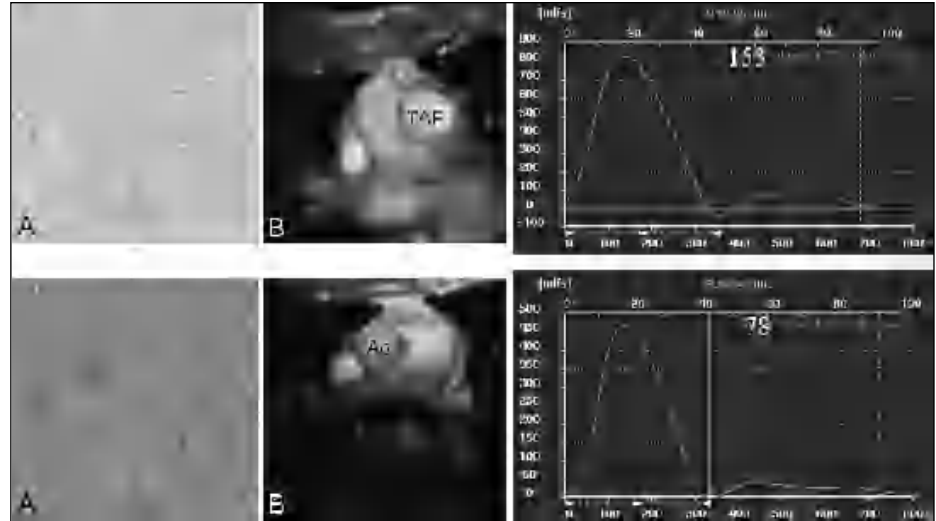
Estudio de los cortocircuitos intracardiacos

La presencia de un defecto anatómico que permita la comunicación entre la circulación pulmonar y la sistémica, resultando en un cortocircuito intracardíaco, es una de las anomalías congénitas más frecuentes con las que nos encontraremos en la práctica clínica. Ante la sospecha de un cortocircuito intracardíaco la CRM debe valorar varios aspectos:

1. Detección y cuantificación del cortocircuito. La CRM, mediante la secuencia de contraste de fase, es la técnica de elección en la valoración de un cortocircuito intracardíaco⁵. Este método ha demostrado ampliamente su validez y exactitud en la valoración del flujo en los grandes vasos⁶, así como su utilidad en el estudio de las cardiopatías congénitas⁷. El estudio consiste en planificar esta secuencia en un plano perpendicular a la aorta ascendente y otro perpendicular al tronco arterial pulmonar para obtener el flujo a través de ese vaso. La relación entre el flujo pulmonar y el flujo aórtico (Qp:Qs) en condiciones normales debe ser 1:1. Una relación en la que el flujo pulmonar sea superior al aórtico es indicativa de la presencia de un cortocircuito izquierda-derecha (fig. 4). De manera que éste es el método utilizado en la detección y valoración de la gravedad de los cortocircuitos intracardiacos. Este método no es válido ante una insuficiencia aórtica y/o pulmonar evidente.

2. Valoración de la sobrecarga hemodinámica. Mediante un estudio de cine-RM obtendremos cálculos

Fig. 4. Izquierda: estudio con secuencias de contraste de fase en un caso con un cortocircuito izquierda-derecha; A: imagen de fase; B: imagen de magnitud, orientadas en un plano perpendicular al tronco arterial pulmonar (panel superior) y a la aorta (panel inferior). Derecha: las curvas de volumen muestran un volumen eyectivo aórtico de 78 ml y pulmonar de 153 ml, indicando un $Q_p:Q_s = 1,96$. Ao: aorta; TAP: tronco arterial pulmonar.



exactos y reproducibles sobre los volúmenes y la función sistólica del VD. Además, los planos axiales nos permiten determinar de forma sencilla y precisa el diámetro del tronco arterial pulmonar y las ramas principales, información que también es muy útil en la valoración de la repercusión del cortocircuito.

3. Localización del cortocircuito. La comunicación interauricular (CIA) es la indicación más frecuente de CRM para la valoración de un cortocircuito. Para visualizar el tabique interauricular, un plano muy útil es el orientado perpendicular al mismo tabique, programando

múltiples cortes finos (6 mm de grosor), consecutivos, que cubran toda la aurícula (fig. 5). Para este tipo de estudios es preferible utilizar una secuencia de cine-RM, ya que ésta presenta menos artefactos que el SET1 y además se puede identificar, en ocasiones, el flujo a través del defecto, lo que ayuda en el diagnóstico. En general, la mayoría de las CIA vienen diagnosticadas por un estudio ecocardiográfico y el estudio de CRM busca, fundamentalmente, la cuantificación del cortocircuito y la valoración del VD. No obstante, en la CIA tipo seno venoso (fig. 6) el diagnóstico ecocardiográfico conlleva mayores dificultades. Además, el tipo localizado junto al drenaje de la vena cava superior se asocia frecuentemente a un drenaje venoso pulmonar anómalo parcial, con la vena pulmonar superior derecha drenando directamente en la aurícula derecha o en la vena cava superior (fig. 6), y la CRM es, en muchas ocasiones, la prueba de primera elección ante esta sospecha diagnóstica. En este caso se practicará también una angiografía 3D con contraste en un plano coronal para visualizar las venas pulmonares y su trayecto.

Otras situaciones que condicionan un cortocircuito son la comunicación interventricular (frecuentemente asociada a otras anomalías), la persistencia de un conducto arterioso y el drenaje venoso pulmonar anómalo (fig. 2).

Estudio anatómico y funcional de la coartación de la aorta

La coartación aórtica consiste en una constricción de la luz aórtica, localizada habitualmente en la aorta descendente proximal, tras el origen de la arteria subclavia izquierda. La CRM es actualmente la técnica no invasiva de elección en el diagnóstico de esta entidad, sobre todo en adultos y niños mayores, porque evita, en la mayoría de los casos, la necesidad de cateterismo con fines diagnósticos. La principal ventaja de la CRM en esta afección, aparte de la inocuidad de la técnica, es la información que nos

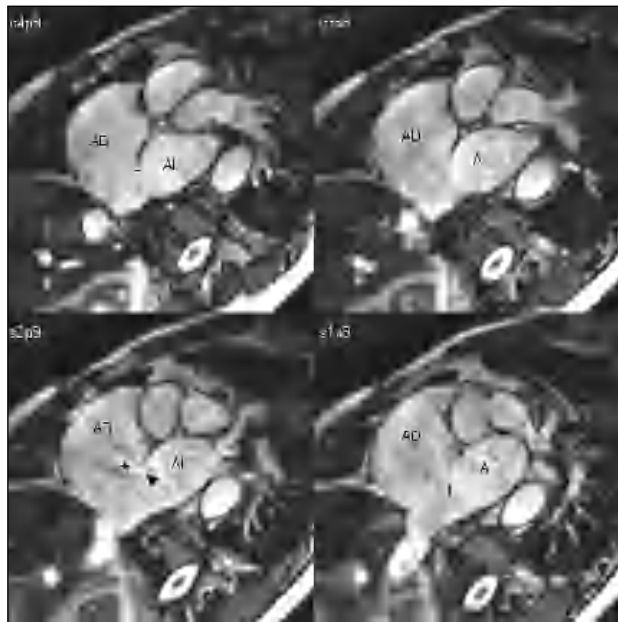


Fig. 5. Cortes consecutivos orientados perpendiculares al tabique interauricular (T) en una secuencia de cine-RM en un caso de comunicación interauricular (CIA) tipo *ostium secundum* (flecha). Nótese que este tipo de secuencias permite visualizar el flujo turbulento a través de la CIA (asterisco). AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; T: tabique interauricular.

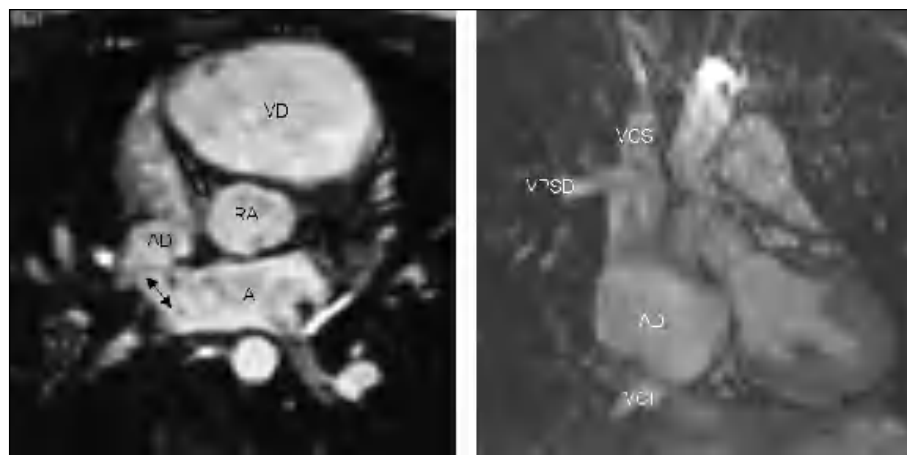


Fig. 6. Izquierda: cine-RM en un plano axial en un paciente con una comunicación interauricular (CIA) tipo seno venoso (flecha). Derecha: plano coronal SSFP de otro paciente con una CIA tipo seno venoso caval superior, en el que se observa la vena pulmonar del lóbulo superior derecho drenando a la vena cava superior.
AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; RA: raíz aórtica; VCI: vena cava inferior; VCS: vena cava superior; VD: ventrículo derecho; VPSD: vena pulmonar superior derecha.

proporciona en referencia a: 1) la coartación propiamente dicha, identificando la coartación y su extensión, la presencia de dilatación poscoartación⁸ y la valoración de su significación hemodinámica por medio de la cuantificación de circulación colateral⁹; 2) otras anomalías frecuentemente asociadas, como arco hipoplásico, válvula aórtica bicúspide y comunicación interventricular, que también pueden valorarse por CRM; 3) control posreparación, ya sea mediante un injerto tubular o tras angioplastia, sin o con implantación de una prótesis endovascular (*stent*).

Así pues, el estudio por CRM de una coartación de aorta combina diferentes aspectos. El estudio morfológico mediante cortes en SET1 axiales y sagitales, así como la angiografía 3D con contraste, orientada en un plano sagital (fig. 7), que aporta no sólo información anatón-

mica tridimensional sino que también muestra la circulación colateral. Otro aspecto que podemos abordar con la CRM es la valoración funcional de la gravedad de la coartación por medio de la técnica de contraste de fase. Este método se basa en la comparación del flujo medido en la aorta distal (en el diafragma) con el medido proximalmente, justo por debajo de la coartación. El flujo retrógrado a través de la circulación colateral dará lugar a que el flujo aórtico distal sea superior al determinado proximalmente (en situación normal es inferior); este aumento es proporcional a la gravedad de la coartación, por lo que permite estimar su repercusión hemodinámica^{9,10}. Este método de cuantificación de la circulación colateral es útil también en el seguimiento y monitorización postratamiento de estos pacientes.



Fig. 7. Angiografía 3D con contraste de una coartación de aorta (flecha negra) que condiciona una extensa red de circulación colateral (flechas blancas). El estudio pone también de manifiesto una hipoplasia del istmo aórtico.

Seguimiento postoperatorio de la tetralogía de Fallot

La tetralogía de Fallot es la cardiopatía congénita cianótica más frecuente. Planificando múltiples cortes consecutivos en SET1 en el plano axial (5-7 mm de grosor) se identifican las características morfológicas diagnósticas de esta afección.

La mayoría de los adultos con tetralogía de Fallot se han sometido a una o más cirugías.

La cirugía paliativa más habitual era la fístula de Blalock-Taussig (arteria subclavia a la arteria pulmonar derecha o izquierda), y que posteriormente ha sido reemplazada por la de Blalock modificada, en la que se conecta un injerto desde la aorta o la arteria braquiocéfálica a la arteria pulmonar también derecha o izquierda. Planos axiales y coronales son particularmente útiles en la identificación de estos cortocircuitos sistémico-pulmonares y en la detección de complicaciones, como estenosis u oclusión¹¹. Además la angiografía 3D puede, en ocasiones, ayudar en la valoración.

La corrección anatómica consiste en el cierre de la comunicación interventricular y la ampliación del infundíbulo, muchas veces, por medio de un parche (fig. 8). Me-

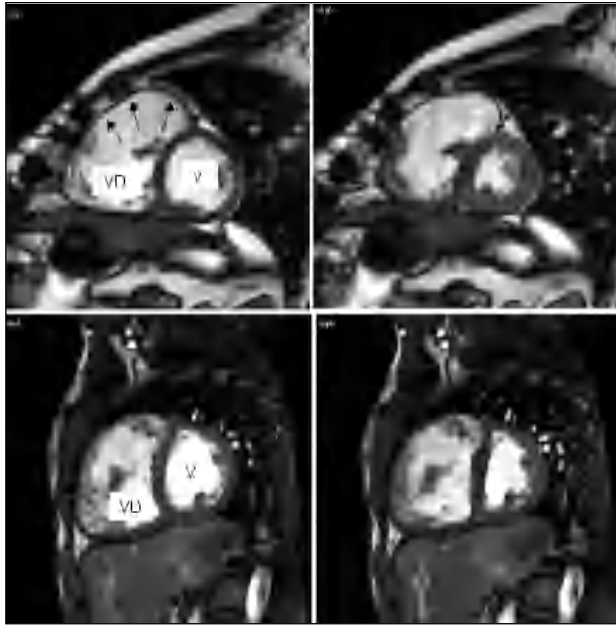


Fig. 8. Imágenes diastólica (izquierda) y sistólica (derecha) en cine-RM en un plano transversal del ventrículo izquierdo (VI) de 2 pacientes con tetralogía de Fallot corregida quirúrgicamente. En el panel superior se observa el parche de ampliación infundibular (flechas), pero con contractilidad del resto del ventrículo derecho, así como del VI, conservadas. En el panel inferior, imágenes de otro paciente que presenta una función sistólica biventricular reducida.

diante cortes axiales consecutivos a través del infundíbulo podremos identificar potenciales complicaciones, como son la estenosis infundibular residual o la dilatación aneurismática del parche, así como obtener medidas fiables de

los diámetros del tronco arterial pulmonar y sus ramas, que también son importantes en el seguimiento de estos pacientes. Por otro lado, cuando se trata de un parche transanular, suele condicionar una regurgitación pulmonar severa que, a largo plazo, puede condicionar la aparición de una insuficiencia ventricular derecha. La CRM es de elección en estos pacientes, ya que la monitorización de la función del VD (fig. 8)¹² y la cuantificación de la regurgitación pulmonar residual¹³ resultan fundamentales en el seguimiento¹⁴. La regurgitación pulmonar se cuantificará mediante una secuencia de contraste de fase en un plano orientado perpendicular al tronco arterial pulmonar (por encima de la válvula pulmonar).

Valoración postoperatoria de las cardiopatías congénitas complejas

En la actualidad, existe un gran número de pacientes adultos con cardiopatías congénitas complejas que han sobrevivido tras varias cirugías. Estos pacientes requieren un seguimiento periódico mediante técnicas de imagen, de las que la CRM se ha convertido en la técnica de elección debido a las ventajas que aporta en este tipo de población (alta resolución espacial de las imágenes, sin problemas de ventana, amplio campo de visión que permite la valoración de estructuras extracardiacas, etc.)¹⁵.

La corrección fisiológica de la transposición de las grandes arterias mediante la técnica de Mustard o Senning o *switch* auricular consiste en la creación de unos canales auriculares mediante los que se deriva el retorno venoso sistémico hacia el VI y el retorno venoso pulmonar hacia el VD. No obstante, como posible complicación de la técnica, pueden existir a lo largo de estas

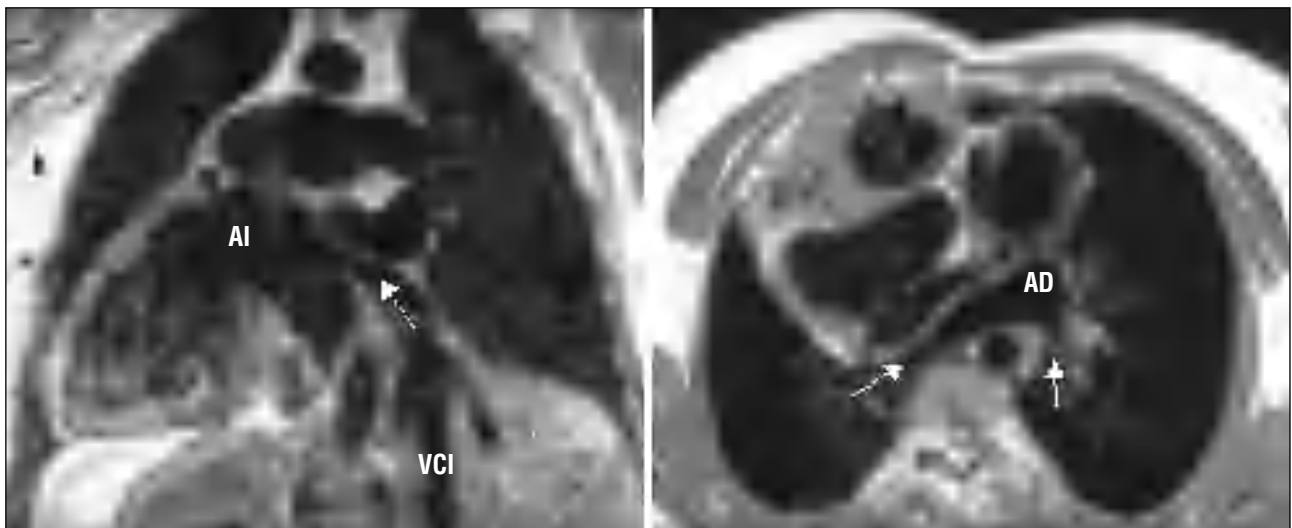


Fig. 9. Paciente con transposición de los grandes vasos corregida mediante la técnica de Mustard o *switch* auricular. Izquierda: plano coronal de *spin echo* en T1 (SET1) que muestra una vena cava inferior situada a la izquierda (*situs inversus*), cuyo flujo se ha derivado quirúrgicamente (flecha) mediante la creación de un canal auricular, hacia el ventrículo izquierdo, por el cual llegará a la circulación pulmonar. Derecha: plano axial SET1 que muestra el canal creado quirúrgicamente (flecha) que drena las venas pulmonares, cuyo flujo dirigido hacia el ventrículo derecho llegará a la circulación sistémica.

AD: aurícula derecha; AI: aurícula izquierda; VCI: vena cava inferior.

nuevas vías zonas estenóticas que dificulten el correcto drenaje venoso sistémico y/o pulmonar. Asimismo, con estas técnicas se mantiene el ventrículo morfológicamente derecho funcionando como ventrículo sistémico, lo que con frecuencia supone una progresiva dilatación y disfunción de ese ventrículo a más o menos largo plazo. El estudio de CRM debe consistir en múltiples cortes consecutivos con una secuencia anatómica sobre planos axiales, sagitales y coronales estrictos, que nos ayudarán a identificar obstrucciones en estos canales (fig. 9), así como un estudio de función ventricular. También se han publicado buenos resultados utilizando la angiografía 3D con contraste en el seguimiento de estos pacientes¹⁶.

Actualmente, siempre que sea posible, en los pacientes con transposición de los grandes vasos se practica una corrección anatómica: intervención de Jatene o *switch* arterial, técnica en la que se establece la normoconexión ventrículo-arterial, conectando la aorta con el VI y la arteria pulmonar con el VD. En estos pacientes se obtendrán imágenes anatómicas en planos axiales y sagitales para valorar la anatomía de los grandes vasos. Una complicación potencial de este tipo de cirugía es una estenosis proximal de la arteria pulmonar derecha y/o izquierda, y que es fácilmente identificada en cortes anatómicos en el plano axial.

La técnica de Fontan o sus variantes (en caso de una atresia tricuspídea o mitral, ventrículo único, etc.) consisten en conectar directamente, o mediante un conducto, la aurícula derecha o las venas cavas al árbol vascular pulmonar. La CRM es útil para controlar el tamaño de la conexión auriculopulmonar o cavopulmonar, e identificar la presencia de una obstrucción¹⁷. Para ello se utilizan planos axiales y coronales, así como una angiografía 3D con contraste orientada en un plano coronal, que será de utilidad para determinar el tamaño de las arterias pulmonares que es de gran importancia pronóstica en estos pacientes¹⁸.

En definitiva, el diagnóstico y el seguimiento de las cardiopatías congénitas, desde el punto de vista de las técnicas de imagen, conllevan diversas dificultades como son las derivadas de la complejidad de la propia afección y de los tratamientos quirúrgicos correctores, la necesidad de realizar una valoración tanto anatómica como funcional y la frecuente participación de estructuras extracardiacas. Disponemos de una técnica como la CRM que permite obtener, en un único estudio, información sobre todos estos aspectos con datos precisos y reproducibles, por lo que actualmente se considera la técnica no invasiva de elección en el diagnóstico y el seguimiento de estos pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Valsangiacomo Buchel ER, DiBernardo S, Bauersfeld U, Berger F. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of the great arteries in patients with congenital heart disease: an accurate tool

- for planning catheter-guided interventions. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2005;21:313-22.
2. Grothues F, Moon JC, Bellenger NG, Smith GS, Klein HU, Pennell DJ. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function, and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J*. 2004;147:218-23.
3. Salehian O, Schwerzmann M, Merchant N, Webb GD, Siu SC, Thérien J. Assessment of systemic right ventricular function in patients with transposition of the great arteries using the myocardial performance index: comparison with cardiac magnetic resonance imaging. *Circulation*. 2004;110:3229-33.
4. Alfakih K, Plein S, Bloomer T, Jones T, Ridgway J, Sivananthan M. Comparison of right ventricular volume measurements between axial and short axis orientation using steady-state free precession magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging*. 2003;18:25-32.
5. Brenner LD, Caputo GR, Mostbeck G, Steiman D, Dulce M, Cheitlin MD, et al. Quantification of left to right atrial cortocircuits with velocity-encoded cine nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 1992;20:1246-50.
6. Rebergen SA, Van der Wall EE, Doornbos J, De Roos A. Magnetic resonance measurement of velocity and flow: technique, validation, and cardiovascular applications. *Am Heart J*. 1993;126:1439-56.
7. Rebergen SA, Niezen RA, Helbing WA, Van der Wall EE, De Roos A. Cine gradient-echo MR imaging and MR velocity mapping in the evaluation of congenital heart disease. *Radiographics*. 1996;16:467-81.
8. Von Schulthess GK, Higashino SM, Higgins SS, Didier D, Fisher MR, Higgins CB. Coarctation of the aorta: MR imaging. *Radiology*. 1986;158:469-74.
9. Steffens JC, Bourne MW, Sakuma H, O'Sullivan M, Higgins CB. Quantification of collateral blood flow in coarctation of the aorta by velocity encoded cine magnetic resonance imaging. *Circulation*. 1994;90:937-43.
10. Mohiaddin RH, Kilner PJ, Rees S, Longmore DB. Magnetic resonance volume flow and jet velocity mapping in aortic coarctation. *J Am Coll Cardiol*. 1993;22:1515-21.
11. Kersting-Sommerhoff BA, Seelos KC, Hardy C, Kondo C, Higgins SS, Higgins CB. Evaluation of surgical procedures for cyanotic congenital heart disease by using MR imaging. *AJR*. 1990;155:259-66.
12. Geva T, Sandweiss BM, Gauvreau K, Lock JE, Powell AJ. Factors associated with impaired clinical status in long-term survivors of tetralogy of Fallot repair evaluated by magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol*. 2004;43:1068-74.
13. Rebergen SA, Chin JG, Ottenkamp J, Van der Wall EE, De Roos A. Pulmonary regurgitation in the late postoperative follow-up of tetralogy of Fallot. Volumetric quantitation by nuclear magnetic resonance velocity mapping. *Circulation*. 1993;88:2257-66.
14. Van Straten A, Vliegen HW, Hazekamp MG, Bax JJ, Schoof PH, Ottenkamp J, et al. Right ventricular function after pulmonary valve replacement in patients with tetralogy of Fallot. *Radiology*. 2004;233:824-9.
15. Duerinckx AJ, Wexler L, Banerjee A, Higgins SS, Hardy CE, Helton G, et al. Postoperative evaluation of pulmonary arteries in congenital heart surgery by magnetic resonance imaging: comparison with echocardiography. *Am Heart J*. 1994;128:1139-46.
16. Fogel MA, Hubbard A, Weinberg PM. A simplified approach for assessment of intracardiac baffles and extracardiac conduits in congenital heart surgery with two- and three-dimensional magnetic resonance imaging. *Am Heart J*. 2001;142:1028-36.
17. Sampson C, Martinez J, Rees S, Somerville J, Underwood R, Longmore D. Evaluation of Fontan's operation by magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol*. 1990;65:819-21.
18. Fogel MA, Donofrio MT, Ramaciotti C, Hubbard AM, Weinberg PM. Magnetic resonance and echocardiographic imaging of pulmonary artery size throughout stages of Fontan reconstruction. *Circulation*. 1994;90:2927-36.