

Cardiopatías congénitas por resonancia magnética y tomografía computarizada con multidetector

Sandra Pujadas^a y Alberto Hidalgo^b

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

^bSección de Radiología Cardiorádica. Servicio de Radiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona. España.

Se revisa la utilidad de la cardioponancia magnética y de la tomografía computarizada con multidetector (TCMD) para el diagnóstico y seguimiento no invasivo de las cardiopatías congénitas, con especial énfasis en las indicaciones más habituales: estudio de los cortocircuitos intracardiacos, estudio anatómico y funcional de la coartación de aorta, seguimiento postoperatorio de la tetralogía de Fallot y valoración postoperatoria de las cardiopatías congénitas complejas. Dado que el TCMD es una técnica cada vez más usada en la evaluación de estos pacientes, se revisará también el amplio número de indicaciones del TCMD y los hallazgos mediante esta técnica en pacientes con cardiopatías congénitas.

Palabras clave: Resonancia magnética. Cardiopatías congénitas. Tomografía.

Congenital Heart Disease Assessment by Cardiac Magnetic Resonance and Multidetector Computed Tomography

This review concerns the application of cardiac magnetic resonance (CMR) and multidetector computed tomography (MDCT) to the noninvasive diagnosis and follow-up of patients with congenital heart disease. Particular emphasis is given to the most common indications for imaging studies: intracardiac communications, the anatomical and functional analysis of aortic coarctation, and postoperative follow-up of the tetralogy of Fallot and other complex forms of congenital heart disease. Since cardiac MDCT is increasingly used to investigate these patients, the review also discusses the wide range of indications for MDCT and the discoveries that have been made using the technique in adults with congenital heart disease.

Key words: Nuclear magnetic resonance. Congenital heart disease. Tomography.

INTRODUCCIÓN

El número de pacientes adultos con cardiopatía congénita (CC) ha aumentado en los últimos años como consecuencia de las mejoras que se han producido en la cirugía, las intervenciones percutáneas y el seguimiento de estos pacientes por cardiólogos especializados en su cuidado y manejo. La complejidad del estudio anatómico y funcional de este tipo de afecciones requiere de técnicas diagnósticas por imagen capaces de proporcionar la información morfológica y funcional de forma precisa y reproducible. La cardioponancia magnética (CRM) es la técnica de imagen no invasiva de elección en la mayoría de los casos. Las principales ventajas de la CRM respecto a 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 incluso en pacientes en el postoperatorio, 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 angio-RM con contraste permiten obtener excelentes imágenes tridimensionales de las estructuras vasculares extracardiacas, que permiten, en muchos casos, evitar el cateterismo¹.

La tomografía computarizada con multidetectores (TCMD) cardíaca ha desempeñado hasta ahora un papel marginal en la valoración de los adultos con CC, pero es muy probable que con los recientes adelantos técnicos aumente su utilización, ya que se trata de una técnica más disponible y que, además, es compatible con marcapasos y desfibrilador automático implantable. La TCMD cardíaca es útil tanto para evaluar estructuras cardíacas como extracardiacas (*shunts*, anastomosis cavopulmonares), aspectos funcionales, como la fracción de eyección, y volúmenes ventriculares derecho e iz-

Correspondencia: Dra. S. Pujadas.
Servicio de Cardiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.
Avda. Antoni M. Claret, 167. 08025 Barcelona. España.
Correo electrónico: spujadas@santpau.cat

ABREVIATURAS

CC: cardiopatía congénita.
CRM: cardiorresonancia magnética.
ETE: ecografía transesofágica.
SET1: *spin-echo T1*.
SSFP: *steady state free precession*.
TCMD: tomografía computarizada con multidetectores.

quierdo, así como arterias coronarias y seguimientos tras intervenciones que afecten tanto a las arterias pulmonares como las venas pulmonares o la aorta².

ANÁLISIS SECUENCIAL DE LAS CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS MEDIANTE CARDIORRESONANCIA MAGNÉTICA Y TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA CON MULTIDETECTOR

Estudio anatómico

Análisis segmentario de la anatomía y conexiones cardiovasculares

Dada la complejidad de algunas de las anomalías cardíacas congénitas, el estudio tanto mediante CRM como mediante TCMD debe analizarse de forma secuencial para evaluar la anatomía de las diferentes estructuras cardiovasculares, así como las conexiones existentes entre ellas.

En CRM disponemos de diferentes 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 utilizadas, aunque también pueden utilizarse las secuencias de eco gradiente —*steady state free precession* (SSFP)—, que proporcionan una excelente calidad de las imágenes con menos artefactos. Es aconsejable en este tipo de afecciones programar cortes axiales, sagitales y coronales estrictos, evitando en lo posible cortes oblicuos, con el fin de mantener referencias anatómicas fiables.

El análisis segmentario ha de realizarse según el siguiente orden:

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

2. *Determinar el situs y las conexiones venosas.* Inicialmente, a partir de los cortes axiales, identificaremos morfológicamente las aurículas. La aurí-

cula 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 en su localización normal. De *situs inversus*, cuando la aurícula morfológicamente izquierda se encuentra a la derecha y la morfológicamente derecha, a la izquierda. Existe también la posibilidad de que ambas aurículas muestren la misma morfología, siendo ambas morfológicamente derechas o izquierdas, lo que 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, aunque actualmente para el estudio de las venas pulmonares está indicada la angiografía 3D con contraste, que aporta información tridimensional muy útil en caso de drenaje venoso pulmonar anómalo.

3. *Conexión auriculoventricular.* Para ello es fundamental identificar los ventrículos según 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. Por otro lado, la identificación de las válvulas auriculoventriculares (la válvula mitral está situada más basal que la tricúspide) puede ser de ayuda. 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 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. Cuando hay isomerismo auricular, la conexión auriculoventricular se cataloga de ambigua. Asimismo, es posible que no haya conexión auriculoventricular, 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 ventriculoarterial.* Siguiendo el mismo esquema anterior, cuando la aorta se origina del ventrículo morfológicamente izquierdo y la arteria pulmonar del morfológicamente derecho, hablaremos de concordancia ventriculoarterial, y vice-

versa. Es importante recordar que la concordancia ventriculoarterial 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 planos axiales permiten determinar la posición de los grandes vasos: en condiciones normales la aorta ascendente se sitúa detrás y a la derecha de la arteria pulmonar, y el arco aórtico está a la izquierda. De esta manera, independientemente del tipo de conexión ventriculoarterial, cuando la aorta esté en posición anterior a la arteria pulmonar, hablaremos de que los vasos están en transposición: L-transposición cuando la aorta esté situada anterior y a la izquierda de la arteria pulmonar; D-transposición cuando la aorta esté situada anterior y a la derecha de la arteria pulmonar.

Hasta ahora, la TC se ha utilizado para valorar las CC, sobre todo en indicaciones no cardíacas (angiografía de arterias pulmonares). No obstante, con la introducción de las TCMD ha aumentado su utilización en indicaciones cardíacas y se ha constituido en una alternativa a la CRM en los pacientes en que no puede realizarse esta técnica. El análisis secuencial mediante TCMD ha de seguir la misma práctica que la seguida mediante CRM. La ventaja de la TCMD es que no hay que decidir planos ni secuencias, sino que se trata de una única adquisición que es estándar y, a continuación, en la estación de trabajo se delimitarán los planos mediante reconstrucciones tridimensional y multiplanar. Es conveniente comenzar la TCMD con una adquisición sin contraste con técnica de baja dosis. Con ella obtendremos información acerca de calcificaciones, conductos y otras estructuras radioopacas que puedan dificultar la interpretación de los hallazgos. A continuación realizaremos la adquisición con contraste. En el caso de que sea necesario obtener información acerca de la función ventricular, se hará una adquisición con sincronización electrocardiográfica. Si no es así, suele bastar una adquisición no sincronizada reconstruida con grosor de corte no mayor de 2 mm (fig. 1)³.

Angiografía con contraste: morfología y conexiones de las estructuras vasculares

La angiografía tridimensional con contraste por CRM 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 convencional. El plano utilizado en este tipo de se-

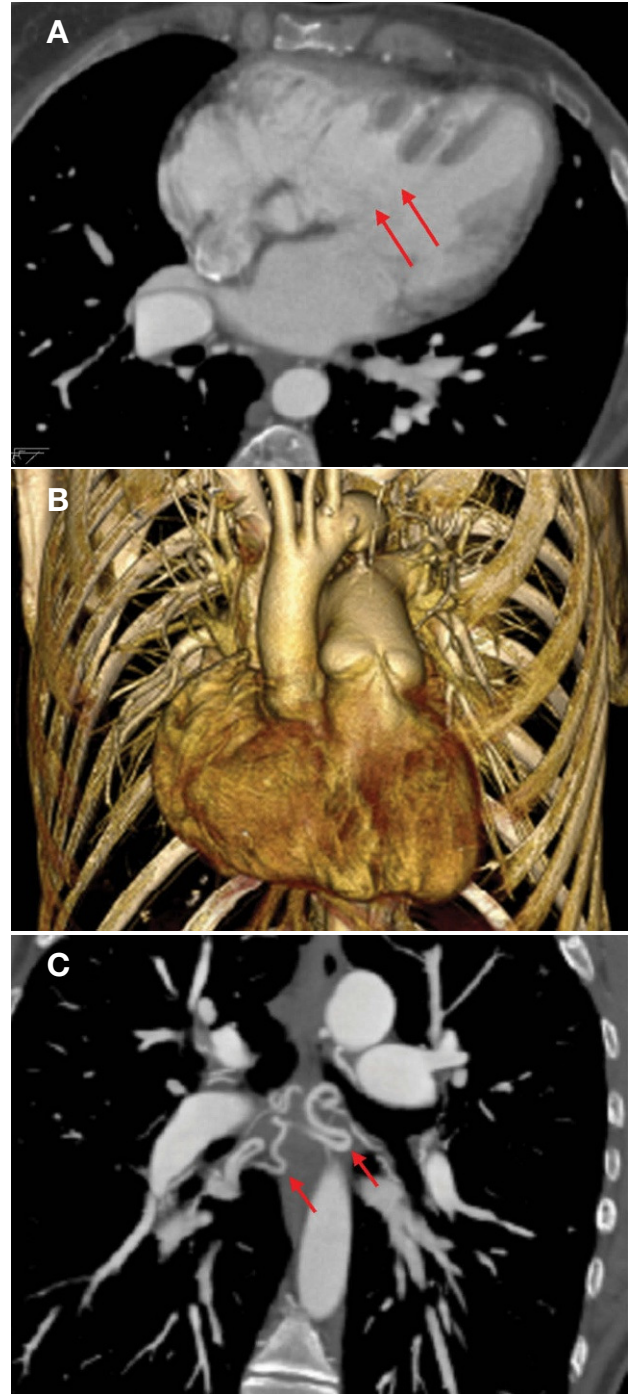


Fig. 1. Con la misma adquisición mediante tomografía computarizada con multidetectores, y tras el procesado en la estación de trabajo, es posible obtener imágenes oblicuas que muestran comunicación interventricular (flechas rojas) en paciente con doble salida del ventrículo derecho (A), reconstrucciones tridimensionales (B) y estudio de estructuras extracardíacas donde se visualiza prominencia de la circulación mediastínica (flechas rojas) (C).

cuencia, 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),

del árbol vascular pulmonar (plano coronal) y de la afección aórtica (plano sagital oblicuo). Asimismo, pueden ayudar en la valoración postoperatoria de la función y las dimensiones de conductos protésicos, si bien en estos casos deberá escogerse el plano de estudio individualmente⁴.

En la actualidad, se prefiere el uso de TCMD al de CRM, ya que la TCMD tiene una mayor resolución y, además, es posible valorar no sólo el lumen, sino también la pared y el resto de la anatomía, como el parénquima pulmonar, la vía aérea y las estructuras óseas.

Estudio funcional

Función sistólica ventricular

La CRM está considerada la prueba de referencia en el estudio de la función ventricular, ya que no depende de presunciones geométricas⁵. 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 la CRM en la técnica de elección para el seguimiento de los pacientes con cardiopatías congénitas en los que la función del VD determina, en la mayoría de los casos, el pronóstico y el tratamiento. 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 puro. Asimismo, los datos preliminares indican que hay una buena correlación entre los hallazgos y los datos funcionales aportados por la TCMD y la CRM⁶. La ventaja, en el caso de la TCMD, es que la información funcional viene incorporada en la adquisición estándar y no son necesarias adquisiciones adicionales. Reconstruyendo los datos en múltiples fases del ciclo cardíaco (generalmente cada 5 o 10%) se pueden calcular los volúmenes telediastólicos y telesistólicos, y por lo tanto el volumen latido, y las fracciones de eyección. En la actualidad, hay aplicaciones que permiten obtener los volúmenes ventriculares izquierdos, así como evaluar la contractilidad total y segmentaria y el grosor de la pared ventricular. No obstante, aunque se ha demostrado una buena correlación entre TCMD, CRM y ETE en lo que respecta a las cifras de la fracción de eyección, la valoración de las alteraciones segmentarias es menos reproducible debido a la peor resolución temporal de la TCMD. En general, hay buena correlación entre TCMD y las demás técnicas a la hora de valorar segmentos acinéticos o discinéticos, pero la correlación es sólo moderada cuando se trata de valorar hipocinesias⁷.

Cuantificación de flujos aórtico y pulmonar

La CRM mediante la secuencia de contraste de fase permite cuantificar el flujo sanguíneo en cualquier estructura vascular. Esta información resulta fundamental en el estudio de los cortocircuitos intracardiacos y otros procesos como, por ejemplo, la coartación de aorta.

La TCMD permite identificar *jets*, pero no cuantificar los flujos aórtico y pulmonar⁸.

Estudio de la fibrosis miocárdica focal mediante el realce tardío

La detección de fibrosis miocárdica focal mediante el realce tardío en pacientes con CC es un hecho descrito sobre todo en pacientes con tetralogía de Fallot reparada⁹. No obstante, el realce tardío en estos pacientes no se realiza de forma sistemática, ya que todavía no ha demostrado tener implicaciones pronósticas. Wald et al¹⁰ observan, en pacientes con tetralogía de Fallot operada, realce tardío, indicativo de fibrosis, más allá de la porción superior del tracto de salida ventricular derecho, lo que los lleva a postular que probablemente estos pacientes se beneficiarían de una cirugía más agresiva de remodelado del ventrículo derecho, si bien todavía faltan estudios en esta dirección para demostrar dicha hipótesis. Por otro lado, Hartke et al¹¹ estudiaron, con realce tardío, a 24 pacientes con CC con sobrecarga del ventrículo derecho secundaria —incluían a pacientes con correcciones quirúrgicas completas o parciales y sin reparaciones— y los compararon con 8 controles. Aunque observaron realce tardío en algunos pacientes, no pudieron establecer una correlación entre la clínica y la severidad de la fibrosis.

En definitiva, el realce tardío permite detectar fibrosis miocárdica focal en estos pacientes; no obstante, todavía son necesarios estudios para demostrar las potenciales implicaciones pronósticas y de manejo de este hallazgo.

INDICACIONES MÁS HABITUALES DE LA CRM Y LA TCMD EN EL ESTUDIO DE LAS CARDIOPATÍAS CONGÉNITAS

Las CC son un grupo de enfermedades muy diversas y es importante que tanto los clínicos que indiquen la exploración como el experto en imagen sean conscientes de las ventajas y limitaciones tanto de la CRM como de la TCMD. Como ya hemos señalado, la mayor limitación de la TCMD en la valoración de las CC es la incapacidad de cuantificar flujos y, por lo tanto, cualquier información sobre los efectos fisiológicos de una válvula anormal son limitados. Por otro lado, la TCMD presenta ma-

mayores resolución y versatilidad que la CRM. El estudio mediante CRM o TCMD siempre deberá orientarse a resolver los problemas que la valoración de cada CC en particular genere al cardiólogo, utilizando para ello la técnica que se considere adecuada 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 trascendiendo el objetivo de esta revisión. No obstante, seguidamente intentaremos destacar los aspectos más importantes de las indicaciones de CRM y TCMD 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, y que resulte en un cortocircuito intracardiaco, es una de las anomalías congénitas más frecuentes con las que nos encontraremos en la práctica clínica. Ante la sospecha de un cortocircuito intracardiaco, la CRM o la TCMD deben 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 intracardiaco¹². 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 ($Q_p:Q_s$) en condiciones normales debe ser 1:1. Una relación en la que el flujo pulmonar sea superior al aórtico es indicativo de cortocircuito izquierda-derecha. Este método no es válido ante una insuficiencia aórtica y/o pulmonar evidente. Como ya se ha comentado previamente, la TCMD no permite cuantificar flujos.

2. *Valoración de la sobrecarga hemodinámica.* Tanto la CRM como la TCMD permiten obtener cálculos precisos y reproducibles sobre los volúmenes y la función sistólica del VD. Además, en los planos axiales determinaremos 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.* En general, la comunicación interauricular (CIA) se diagnostica por 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 el diagnóstico ecocardiográfico conlleva mayores dificultades. Para visualizar el tabique interauricular es muy útil obtener múltiples cortes finos

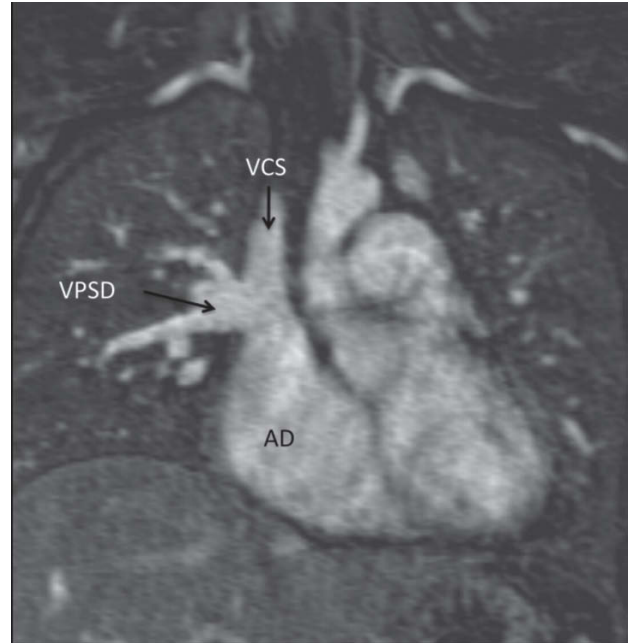


Fig. 2. Imagen MIP (*maximum intensity projection*) de una angiorrsonancia 3D con contraste en un paciente con una comunicación interauricular del seno venoso caval superior con un drenaje anómalo de la vena pulmonar superior derecha a la vena cava superior. AD: aurícula derecha; VCS: vena cava superior; VPSD: vena pulmonar superior derecha.

(6 mm de grosor/0 *gap*) en secuencias de cine-RM orientadas de forma perpendicular al mismo tabique, que cubran toda la aurícula.

Por otro lado, la CIA de seno venoso, que se localiza junto al drenaje de la vena cava superior, se asocia frecuentemente a un drenaje venoso pulmonar anómalo parcial en el que la vena pulmonar superior derecha drena directamente en la AD o en la vena cava superior. En este caso, se practicará también una angiografía 3D con contraste en un plano coronal para visualizar las venas pulmonares y su trayecto (fig. 2).

Otras situaciones que condicionan un cortocircuito son la comunicación interventricular (CIV) (frecuentemente asociada a otras anomalías), la persistencia de un conducto arterioso y el drenaje venoso pulmonar anómalo¹³.

En los casos en que lo principal no sea la cuantificación del cociente $Q_p:Q_s$, o que la CRM haya planteado dudas, está indicada la realización de una TCMD. La TCMD permite identificar el cortocircuito intracardiaco, ya sea CIA o CIV, y además es posible el estudio del árbol vascular pulmonar de manera más precisa que con CRM (figs. 3 y 4).

Estudio anatómico y funcional de la coartación de aorta

La coartación aórtica consiste en una disminución de la luz aórtica situada generalmente en la

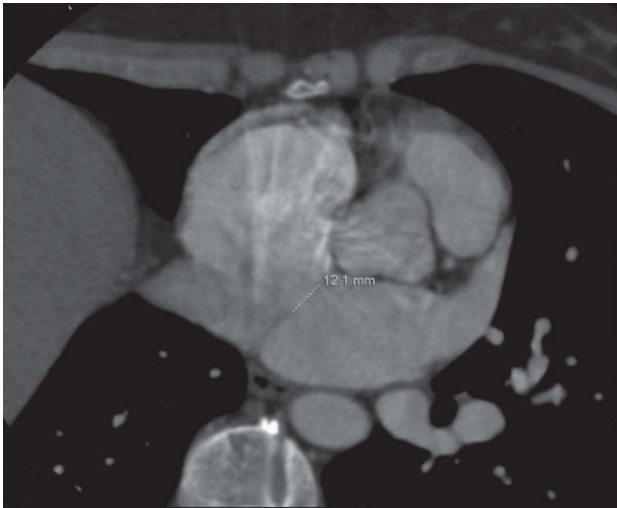


Fig. 3. Comunicación interauricular (CIA) tipo *ostium secundum*. La imagen axial oblicua con reconstrucción tipo MIP (*maximum intensity projection*) muestra una correcta delimitación de la CIA y permite medir su tamaño.

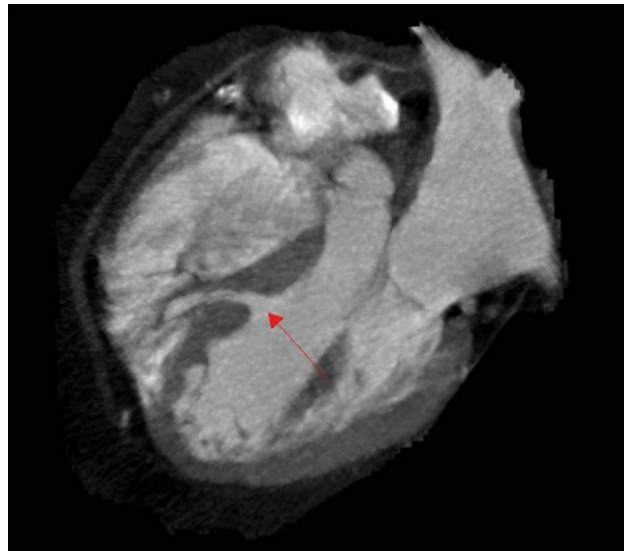


Fig. 4. Comunicación interventricular (CIV) muscular (flecha roja) diagnosticada incidentalmente en un paciente al que se le realizó una tomografía computarizada con multidetectores para estudio de enfermedad coronaria. La reconstrucción multiplanar en 4 cámaras muestra una CIV muscular en el septo medio interventricular con diámetro en origen de 8 mm y área estimada de 8,2 cm².

aorta descendente proximal, tras el origen de la arteria subclavia izquierda. Tanto la CRM como la TCMD están indicadas como técnicas no invasivas que permiten evitar la necesidad de cateterismo con fines diagnósticos. Mediante ambas técnicas, y de forma no invasiva, podemos: *a)* valorar la coartación propiamente dicha, identificando su localización y extensión, así como la presencia de dilatación tras coartación; *b)* diagnosticar otras anomalías concomitantes frecuentes, como arco hipoplásico, válvula de aorta bicúspide y CIV, y *c)* realizar un control tras el tratamiento, bien sea mediante un injerto tubular o tras angioplastia sin o con implantación de una prótesis endovascular (*stent*). La CRM permite, además, valorar la significación hemodinámica de la coartación por medio de la cuantificación de circulación colateral¹⁴.

Estudio de anomalías coronarias

La TCMD es la técnica de imagen de elección en el estudio de las anomalías coronarias. La TCMD tiene la ventaja respecto a la coronariografía invasiva en que, además de ser una técnica no invasiva, permite una mejor definición tridimensional de los orígenes y trayectos de las distintas arterias coronarias¹⁵ (fig. 5).

Las secuencias de CRM para el estudio de las arterias coronarias han mejorado en los últimos años y permiten, en centros experimentados, una adecuada valoración del origen de los troncos proximales. Sin embargo, la resolución espacial y la complejidad del estudio hacen de la TCMD la técnica de primera elección¹⁶.

Seguimiento postoperatorio de la tetralogía de Fallot

La tetralogía de Fallot es la cardiopatía congénita cianótica más frecuente, y la mayoría de los adultos con tetralogía de Fallot han sido sometidos a una o más cirugías.

La cirugía paliativa más habitual era la fistula de Blalock-Taussig (arteria subclavia a la arteria pulmonar derecha o izquierda), y que posteriormente se ha reemplazado por la de Blalock modificada, en la que se conecta un injerto desde la aorta o la arteria braquiocefálica a la arteria pulmonar también derecha o izquierda.

La corrección anatómica consiste en cierre de la CIV y ampliación del infundíbulo, muchas veces por medio de un parche. Es importante identificar potenciales complicaciones, como 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 datos que tener en cuenta en el seguimiento de estos pacientes (figs. 6 y 7). 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 insuficiencia ventricular derecha¹⁷.

Por lo que respecta a los datos anatómicos, la CRM y la TCMD aportan una calidad de información similar, si bien, en algunos casos, las prótesis pueden producir artefactos en las CRM que impidan la valoración de determinadas anomalías y

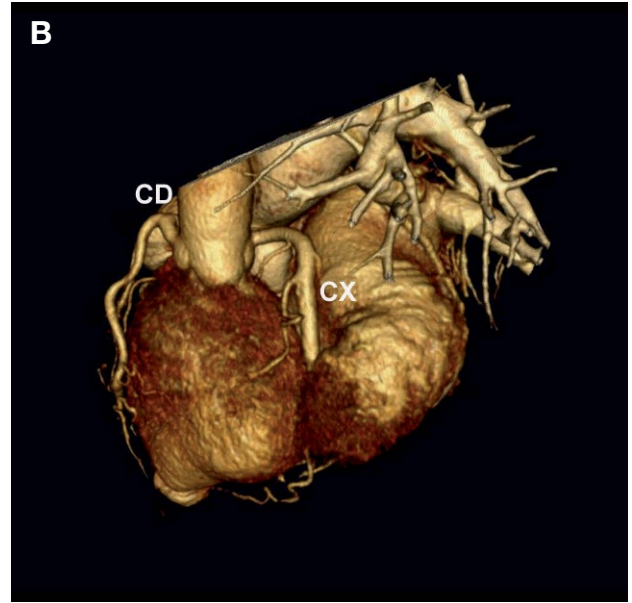
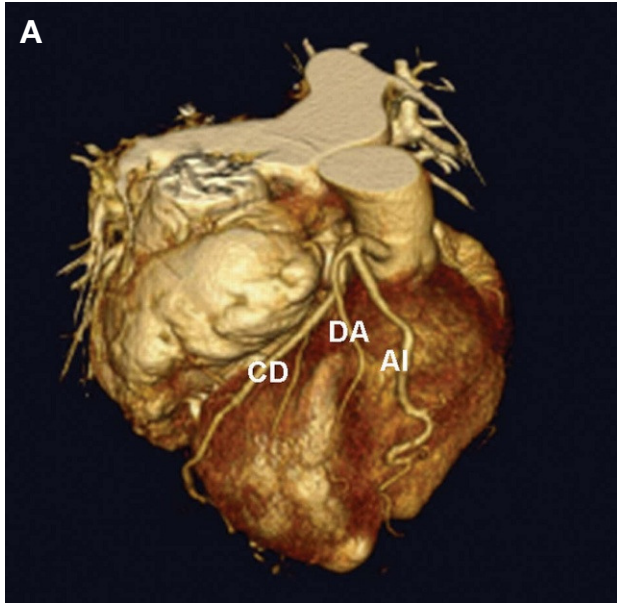


Fig. 5. Arterias coronarias anómalas en un paciente con transposición corregida de grandes vasos. Reconstrucciones tridimensionales. A: la arteria descendente anterior (DA) y la arteria intermedia (AI) se originan en el tercio proximal de la arteria coronaria derecha (CD). B: la arteria coronaria derecha, por su parte, se origina correctamente del seno de Valsalva derecho, mientras que la arteria circunfleja nace del seno de Valsalva posterior.

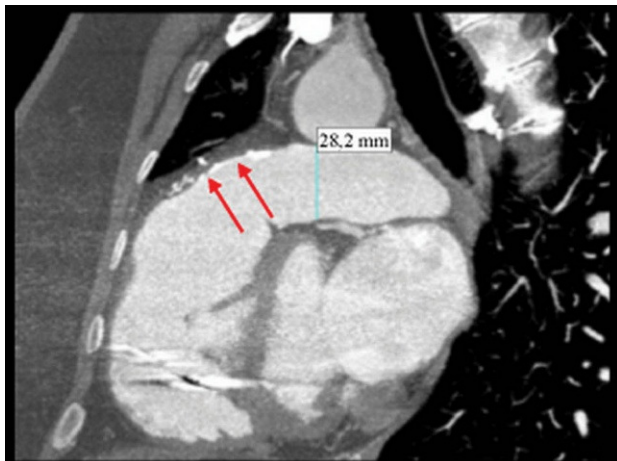


Fig. 6. Tetralogía de Fallot. La reconstrucción multiplanar en plano longitudinal permite observar un tronco arterial pulmonar de dimensiones normales y también el parche de ampliación infundibular (flechas rojas) en la cara anterior del infundíbulo pulmonar parcialmente calcificado.

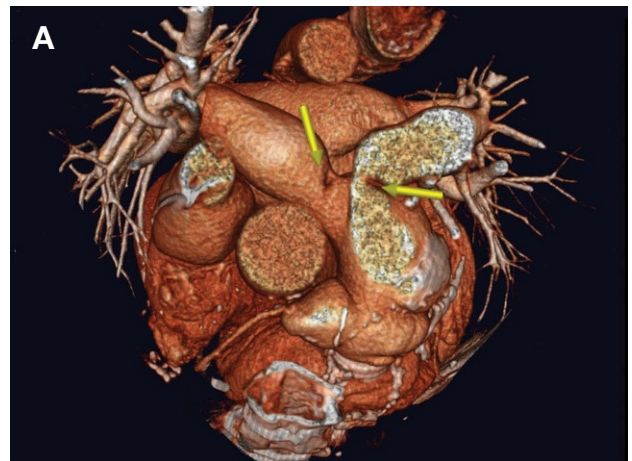


Fig. 7. Las imágenes en 3D (A) y axial (B) muestran la presencia de estenosis en las arterias pulmonares (flechas amarillas y roja) en un paciente con tetralogía de Fallot.

que pueden ser identificadas fácilmente mediante TCMD (fig. 8). La CRM tiene la ventaja de que permite cuantificar flujos y, por lo tanto, puede ser de utilidad cuando se requiera valorar la regurgitación pulmonar. Asimismo, al ser una técnica que no irradia, es preferible si se va a hacer un seguimiento periódico¹⁸.

Valoración postoperatoria de las cardiopatías congénitas complejas

En la actualidad hay un gran número de pacientes adultos con cardiopatías congénitas complejas que han sobrevivido tras varias cirugías. La

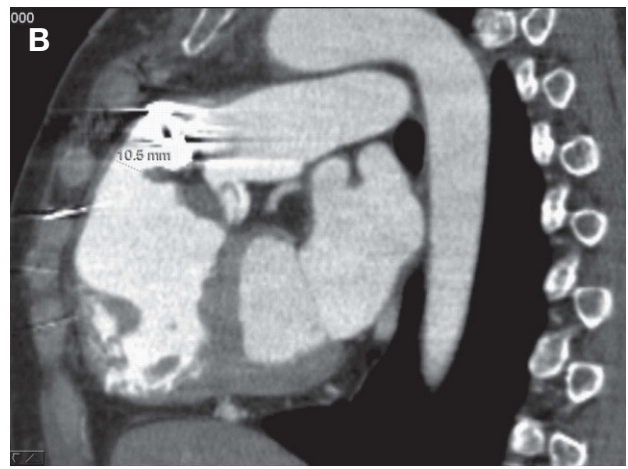
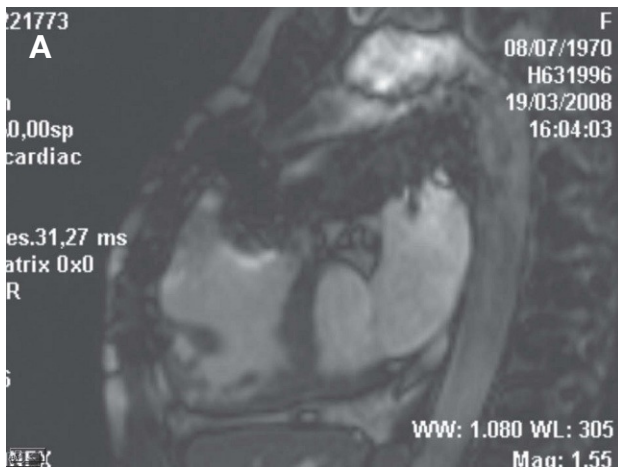


Fig. 8. Paciente con tetralogía de Fallot intervenida con conducto valvulado entre infundíbulo quirúrgico y cara anterior del tronco arterial pulmonar. El artefacto producido por la válvula impide la valoración por resonancia magnética (A) del diámetro del tracto de salida prevalvular, que pudo ser correctamente valorado mediante tomografía computarizada con multidetectores (B).

CRM es la técnica de elección en estos pacientes 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.)¹⁹.

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 a través de los que se deriva el retorno venoso sistémico hacia el ventrículo izquierdo y el retorno venoso pulmonar hacia el ventrículo derecho. 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, así como un estudio de función ventricular. La angiografía 3D con contraste puede resultar útil en casos específicos, pero no está indicada de forma sistemática en el seguimiento de estos pacientes (figs. 9 y 10).

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 ventriculoarterial, conectando la aorta con el ventrículo izquierdo y la arteria pulmonar con el ventrículo derecho. 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.) consiste en conectar directamente, o a través de un conducto, la aurícula derecha o las venas cavas al árbol vascular pulmonar²⁰.

La CRM es útil para controlar el tamaño de la conexión auriculopulmonar o cavopulmonar e identificar obstrucciones. 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 pacientes.

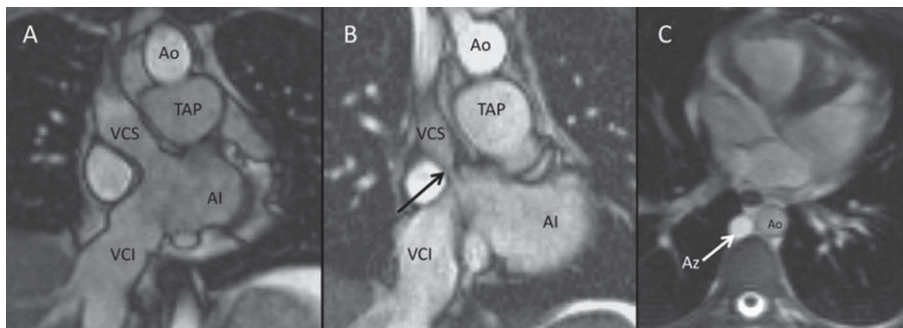


Fig. 9. A: plano coronal oblicuo de un paciente con una intervención de Senning, en la que se observa un buen calibre, sin obstrucción, de los baffles de la vena cava superior y de la vena cava inferior reconducidos a la aurícula izquierda. B: mismo plano de un paciente con intervención de Senning, en el que se observa una obstrucción del baffle de la vena cava superior (flecha). En un plano axial del mismo paciente (C) se observa una dilatación significativa de la vena ácigos (flecha), que es consecuencia de dicha obstrucción. AI: aurícula izquierda; Ao: aorta; TAP: tronco arterial pulmonar; VCI: vena cava inferior; VCS: vena cava superior.

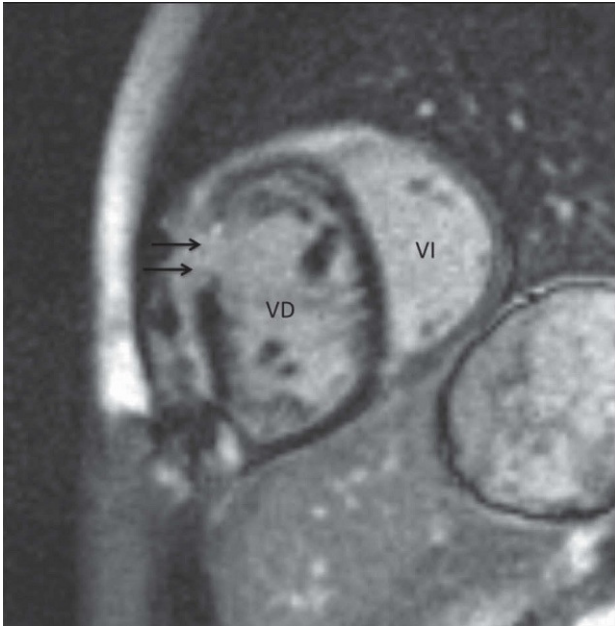


Fig. 10. Imagen en una secuencia de inversión-recuperación orientada en un corte transversal del ventrículo izquierdo (VI) en un paciente con transposición de los grandes vasos con corrección quirúrgica tipo Senning y sobrecarga ventricular derecha secundaria. Se observa realce tardío en la pared libre del ventrículo derecho (VD) (flechas), indicativo de fibrosis miocárdica focal a este nivel.

CONCLUSIONES

El diagnóstico y el seguimiento de las cardiopatías congénitas, en cuanto a las técnicas de imagen, conllevan diversas dificultades 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.

La CRM permite obtener, en un único estudio, información sobre todos estos aspectos con datos precisos y reproducibles, por lo que actualmente está considerada la técnica no invasiva de elección en el diagnóstico y el seguimiento de estos pacientes.

La TCMD permite una valoración integral de la mayoría de los pacientes con CC. Se debe tener en cuenta la carga de radiación de la TCMD, sobre todo si se realizarán múltiples exámenes; por lo tanto, la CRM es la técnica de elección. Sin embargo, la TCMD es una alternativa cuando haya contradicciones o discordancias entre otras técnicas. Además, es una técnica más asequible y apropiada para el estudio de las arterias coronarias, y permite, mediante la modificación sencilla de los protocolos convencionales, el estudio integral de las arterias pulmonares, el árbol coronario epicárdico, los grandes troncos arteriales y venosos y de la función biventricular y la anatomía de válvulas, septos y cámaras cardiacas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fratz S, Hess J, Schuhbaeck A, Buchner C, Hendrich E, Martinoff S, et al. Routine clinical cardiovascular magnetic resonance in paediatric and adult congenital heart disease: patients, protocols, questions asked and contributions made. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2008;10:46-52.
2. Cook SC, Raman SV. Multidetector computed tomography in the adolescent and young adult with congenital heart disease. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2008;2:36-49.
3. Nicol ED, Gatzoulis M, Padley SPG, Rubens M. Assessment of adult congenital heart disease with multi-detector computed tomography: beyond coronary lumenography. *Clin Radiol.* 2007;62:518-27.
4. 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.
5. 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.
6. Sarwar A, Shapiro MD, Nasir K, Nieman K, Nomura CH, Brady TJ, et al. Evaluating global and regional left ventricular function in patients with reperfused acute myocardial infarction by 64-slice multidetector CT: a comparison to magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2009;3:170-7.
7. Sayyed SH, Cassidy MM, Hadi MA. Use of multidetector computed tomography for evaluation of global and regional left ventricular function. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* 2009;3:23-34.
8. Funabashi N, Asano M, Sekine T, Nakayama T, Komuro I. Direction, location, and size of shunt flow in congenital heart disease evaluated by ECG-gated multislice computed tomography. *Int J Cardiol.* 2006;12:399-404.
9. Oosterhorf T, Mulder BJ, Vliegen HW, De Roos A. Corrected tetralogy of Fallot: delayed enhancement in right ventricular outflow tract. *Radiology.* 2005;237:868-71.
10. Wald RM, Haber I, Wald R, Valente AM, Powell AJ, Geva T. Effects of regional dysfunction and late gadolinium enhancement on global right ventricular function and exercise capacity in patients with repaired tetralogy of Fallot. *Circulation* 2009;119:1370-7.
11. Hartke LP, Gilkeson RC, O'Riordan MA, Siwik ES. Evaluation of right ventricular fibrosis in adult congenital heart disease using gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging: initial experience in patients with right ventricular loading conditions. *Congenit Heart Dis.* 2006;1:192-201.
12. Brenner LD, Caputo GR, Mostbeck G, Steiman D, Dulce M, Chaitlin MD, et al. Quantification of left to right atrial shunts with velocity-encoded cine nuclear magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol.* 1992;20:1246-50.
13. 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.
14. 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.
15. Zeina AR, Blinder J, Sharif D, Rosenchein U, Barmeir E. Congenital artery coronary anomalies in adults: non-invasive assessment with multidetector CT. *Br J Radiol.* 2009;82:954-61.
16. Nassenstein K, Breuckmann F, Hunold P, Barkhausen J, Schlosser T. Magnetic resonance coronary angiography: comparison between a Gd-BOPTA and Gd-DTPA spoiled gradient echo sequence and a non-contrast-enhanced steady-state-free-precession sequence. *Acta Radiol.* 2009;50:406-11.

17. 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.
18. Van Straten A, Wliegen 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.
19. 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.
20. 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.