

Resonancia magnética en la valoración de los cortocircuitos congénitos

José M. Oliver-Ruiz^a y Monserrat Bret-Zurita^b

^aUnidad de Cardiopatías Congénitas del Adulto. Servicio de Cardiología. Hospital Universitario La Paz. Madrid. España.

^bUnidad de Cardiopatías Congénitas del Adulto. Servicio de Radiología. Hospital Universitario La Paz. Madrid. España.

Durante muchos años, el cateterismo cardiaco y la angiocardiógrafa han sido los métodos diagnósticos principales para la valoración morfológica y funcional de los cortocircuitos congénitos, pero las técnicas hemodinámicas son cruentas, precisan la inyección de contraste yodado y la exposición a los rayos X, y no están exentas de complicaciones, sobre todo en la población pediátrica. En las últimas 2 décadas, la ecocardiografía ha ido desplazando progresivamente a los métodos invasivos en la evaluación global y el diagnóstico definitivo de los niños y adultos con cardiopatías congénitas¹. Aunque la ecocardiografía es una técnica segura, de bajo coste y alta rentabilidad diagnóstica, también tiene limitaciones importantes. La imagen ecocardiográfica es menos nítida en el niño mayor y en el adulto que en el lactante y el niño pequeño, en los que se pueden utilizar transductores de alta frecuencia con gran resolución espacial, y las intervenciones quirúrgicas múltiples pueden añadir mayor deterioro de la imagen. Aunque la ecocardiografía proporciona una gran definición anatómica de casi cualquier estructura intracardiaca, permanece prácticamente «ciega» a todo lo que ocurre fuera del corazón a partir de unos pocos centímetros de las conexiones vasculares. Esta técnica es especialmente vulnerable en la valoración de los drenajes venosos pulmonares o sistémicos o la circulación arterial pulmonar periférica y es muy imprecisa en la evaluación de la aorta torácica, las fístulas congénitas o quirúrgicas, o las colaterales sistémicas. Las limitaciones de la ecocardiografía en la valoración funcional son aún más importantes. El tamaño y la función de las cavidades izquierdas pueden ser bien valorados por ecocardiografía bidimensional, pero su utilidad en la evaluación de las cámaras derechas es mucho menor. La función ventricular de-

recha es especialmente evasiva al ecocardiograma, pero en cardiopatías congénitas el ventrículo derecho puede tener tanta o mayor importancia que el izquierdo, sobre todo cuando es el ventrículo sistémico. La eco-Doppler cardiaca permite realizar una excelente valoración cuantitativa de las estenosis valvulares y una buena valoración cualitativa o semicuantitativa de las insuficiencias valvulares y los cortocircuitos intracardiacos, pero de nuevo su valor es mucho más limitado cuando las obstrucciones o cortocircuitos están localizados fuera del corazón. Más aún, la exacta determinación cuantitativa de los cortocircuitos es uno de los pilares básicos en los que descansan muchas indicaciones quirúrgicas, pero la cuantificación de los cortocircuitos congénitos permanece como una de las limitaciones más importantes de la ecocardiografía Doppler. Aunque la presión sistólica pulmonar puede ser determinada con precisión suficiente por la aplicación de la ecuación de Bernoulli a la velocidad máxima de la insuficiencia tricúspide, esta técnica no permite determinar la presión pulmonar arterial media, la resistencia vascular pulmonar o la respuesta al oxígeno y los vasodilatadores en las que se apoyan las indicaciones terapéuticas de las cardiopatías congénitas con hipertensión pulmonar grave por cortocircuito sistémico-pulmonar.

Valoración morfológica por cardiorresonancia

Durante los últimos años, la resonancia magnética (RM) ha surgido como una técnica diagnóstica de importancia creciente en la valoración de las cardiopatías congénitas en el niño y el adulto². Esta técnica tiene múltiples capacidades para la evaluación morfológica y funcional de los cortocircuitos congénitos y es especialmente sensible en aquellos aspectos en los que la información ecocardiográfica es más deficiente. La RM no padece las limitaciones de ventana que tiene la ecocardiografía, por lo que la imagen no se encuentra afectada por el tamaño del tórax o las operaciones previas. No obstante, también tiene sus propias limitaciones, como los marcapasos o los desfibriladores, las arritmias, la claustrofobia, los artefactos respiratorios (si no se puede mantener una apnea adecuada) o la ne-

VÉASE ARTÍCULO EN PÁGS. 907-13

Correspondencia: Dr. J.M. Oliver Ruiz.
Unidad de Cardiopatías Congénitas del Adulto.
Hospital Universitario La Paz.
P.º de la Castellana, 261. 28046 Madrid. España.
Correo electrónico: joliver.hulp@salud.madrid.org

Full English text available from: www.revespcardiol.org

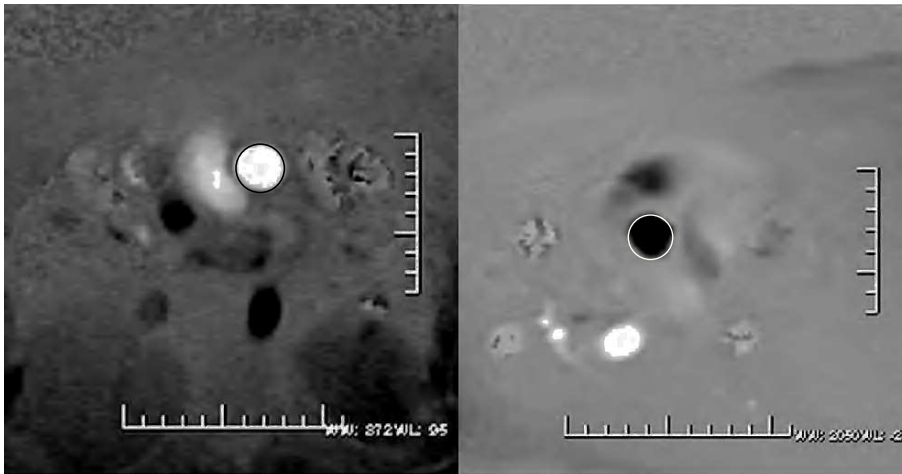


Fig. 1. Imágenes de fase con proyecciones oblicuas para obtener un plano perpendicular a la dirección de la arteria pulmonar (izquierda) y la aorta (derecha). Se observa un «círculo» de intensidad de señal blanca (arteria pulmonar) o negra (aorta ascendente), dependiendo de la dirección del flujo. Sobre estos círculos se traza la región de interés para medir los parámetros de velocidad y flujo de cada vaso.

cesidad de sedación o intubación en niños pequeños o pacientes que no pueden colaborar.

Las secuencias *spin-echo* con sincronismo electrocardiográfico (ECG-gated) y las secuencias *echo* de gradiente en modo cine proporcionan la información morfológica básica³. Estas técnicas permiten una definición muy precisa de la anatomía intracardiaca y extracardiaca que compite favorablemente con la ecocardiografía en muchos aspectos. Son especialmente útiles en la determinación del situs viscerocardiaco, la conexión y el curso de las grandes venas y arterias, algunos defectos septales que pueden ocultarse a la imagen ecocardiográfica (como la comunicación interauricular, el seno venoso y las comunicaciones interventriculares de localización supracristal o en el septo de entrada posterior), la definición anatómica de la vía de salida del ventrículo derecho, el origen y el curso proximal de las arterias coronarias y, sobre todo, la valoración del tamaño y la función de las cavidades cardíacas, y muy especialmente del ventrículo derecho⁴. En muchos pacientes operados con baffles de redirección del flujo intraauricular, con técnicas de conexión auriculopulmonar o cavopulmonar, con conductos protésicos o con grandes parches de ampliación de las vías de salida o del istmo aórtico, la RM se ha convertido en una técnica insustituible para el seguimiento a largo plazo y la detección precoz de las complicaciones.

Otra capacidad de la RM es la angio-RM con contraste intravenoso (gadolinio). Este método proporciona una imagen tridimensional con un amplio campo de visión que demuestra el curso y la morfología de los vasos que están fuera de la óptica del ecocardiograma^{5,6}. Es especialmente útil para demostrar los patrones de drenaje venoso pulmonar, las anomalías de las arterias pulmonares, la anatomía de la aorta torácica, las fístulas quirúrgicas o las colaterales sistémico-pulmonares. La utilización del gadolinio como material de contraste permite también detectar el realce tardío

de la pared miocárdica por fibrosis o necrosis provocadas por infartos o por efecto de las intervenciones quirúrgicas previas⁷.

Resonancia con secuencias de contraste de fase

La RM no se ha quedado atrás en la valoración funcional de las lesiones obstructivas, las insuficiencias valvulares y la cuantificación de los cortocircuitos. Para ello se emplean, principalmente, las secuencias de contraste de fase o de mapeo del flujo⁸. El método utilizado está basado en el principio de que los protones en movimiento, sometidos a un campo magnético, cambian su ángulo de fase en proporción a la velocidad del flujo. En estas secuencias se aplica un gradiente bipolar que hace que el tejido estacionario no tenga señal y los espines en movimiento vayan relajándose de manera progresiva (cambiando el ángulo de fase) en función de su velocidad. Las proyecciones longitudinales en la misma dirección del vaso o del *jet* de flujo son muy difíciles de cuantificar y sirven para una valoración cualitativa de la dirección del *jet* y la longitud de la sombra. Así, para realizar cálculos volumétricos se programa la secuencia en cortes perpendiculares al vaso o *jet* en estudio, se define cuál será la velocidad máxima esperada del flujo específico (habitualmente 150 cm/s en la arteria pulmonar y 250 cm/s en la aorta) y se obtienen dos tipos de imagen: la de fase y la de magnitud. Las imágenes de fase son un combinado de píxeles en tonos de gris que varían de intensidad de señal (blanco-negro) según la fase del ciclo cardiaco (sístole o diástole) (fig. 1). Las de magnitud son similares a las obtenidas en el estudio morfológico con secuencias en sangre brillante (fig. 2). Sobre estas imágenes de fase se dibuja el área de interés, que el equipo realiza semiautomáticamente, y se obtienen los valores correspondientes al área del vaso, la velocidad máxima, el flujo total, el volumen por la-

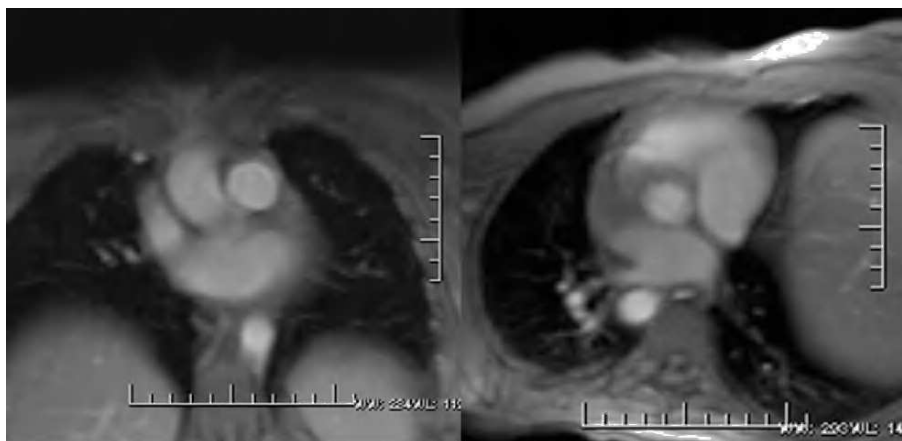


Fig. 2. Imágenes de magnitud obtenidas en el mismo plano que las de fase y que nos facilitan la localización anatómica de las estructuras a estudio.

tido y el flujo anterógrado y retrógrado. Las medidas instantáneas tomadas en múltiples puntos del ciclo cardiaco se trazan contra el tiempo para construir una curva de flujo. La integral del área bajo la curva determina el volumen del flujo durante el ciclo cardiaco. El volumen anterógrado está determinado por la parte de la curva encima de la línea base y el retrógrado, por la curva que está por debajo de esta línea. Conociendo la velocidad máxima y la velocidad media del flujo también se pueden calcular los gradientes de presión mediante la ecuación modificada de Bernoulli, como habitualmente se realiza con Doppler cardiaco. Hay que tener en cuenta que estas secuencias son dos veces más largas que las secuencias ECG-cine normales y que la apnea que debe mantener el paciente es más prolongada; asimismo, un gradiente bipolar único puede dar velocidades erróneas si el campo magnético no es homogéneo⁹.

Esta técnica se utiliza para la valoración funcional de la coartación aórtica (mediante la valoración del flujo colateral y el gradiente de presión transcoartación), las lesiones de ramas pulmonares (determinando el flujo diferencial entre ambas ramas o el gradiente de presión en las estenosis vasculares), la valoración de las lesiones valvulares (determinando el flujo regurgitante o el gradiente de presión) o las lesiones obstructivas de los conductos, bafles intracardiacos, fístulas quirúrgicas o conexiones venosas. Pero su mayor aplicación es la cuantificación de los cortocircuitos.

Cuantificación de los cortocircuitos y la presión pulmonar

La técnica básica consiste en medir simultáneamente el flujo sanguíneo en la aorta ascendente y la arteria pulmonar principal, lo que permite determinar el flujo pulmonar (Q_p), el flujo sistémico (Q_s) y la relación Q_p/Q_s . Numerosos estudios han mostrado la exactitud de esta técnica en la cuantificación de cortocircuitos en adultos y adolescentes^{10,11}. En este número de RE-

VISTA ESPAÑOLA DE CARDIOLOGÍA, Hernández-González et al¹² presentan su experiencia en una población pediátrica con cortocircuitos congénitos e hipertensión arterial pulmonar. Los autores encuentran una excelente correlación con el cateterismo cardiaco para el gasto pulmonar, el gasto sistémico o la relación de flujos, pero la RM tendía a subestimar, en relación con la hemodinámica invasiva, tanto el flujo pulmonar como el sistémico. La subestimación del flujo se puede producir si el vaso de interés no es examinado de forma totalmente perpendicular a la dirección del flujo o si la velocidad máxima seleccionada es más baja que la velocidad pico en algún momento del ciclo cardiaco. Más aún, en niños muy pequeños, con vasos de tamaño reducido, la seguridad del método disminuye porque el número de píxeles puede ser muy escaso. De manera alternativa, la diferencia entre la RM y el método de Fick puede ser también debida a las distintas condiciones del niño durante el cateterismo cardiaco y la RM o a una sobrestimación de los datos obtenidos en la evaluación hemodinámica. En cualquier caso, este estudio confirma la gran utilidad del método en la evaluación de los cortocircuitos cuando se aplica a una población pediátrica con alta sospecha clínica de hipertensión pulmonar.

Sin embargo, la correlación intraclase entre la RM y el cateterismo en la valoración de la presión sistólica pulmonar fue mucho más baja, con una infravaloración importante de la presión pulmonar estimada por RM. En este caso, las limitaciones metodológicas pueden ser mucho más importantes. Al contrario que con el Doppler cardiaco, para determinar la velocidad pico del *jet* de insuficiencia tricúspide éste tiene que ser interrogado perpendicularmente en el área de máxima velocidad. Sin embargo, esto puede ser muy difícil de conseguir porque el plano valvular auriculoventricular se mueve continuamente durante el ciclo cardiaco. Más aún, el plano tricúspide es muy diferente al de la válvula mitral y en pacientes con hipertensión pulmonar y dilatación ventricular puede ser difícil trazar este

plano en un solo corte. Todo ello contribuye a disminuir la resolución espacial lo que, añadido a que la resolución temporal del método es limitada, puede provocar una subestimación de la velocidad máxima del flujo. Así, la determinación de la presión sistólica pulmonar por este método puede ser menos fiable que con el método Doppler. En cualquier caso, ambos métodos, el Doppler cardiaco y la RM con contraste de fase, comparten las mismas limitaciones. Aunque se han descrito índices morfológicos¹³ o con técnica de contraste de fase¹⁴ que pueden estimar la presión arterial pulmonar media o la resistencia vascular pulmonar por RM, el cateterismo cardiaco continúa siendo el patrón de referencia para la evaluación de la hemodinámica pulmonar¹⁵.

Conclusiones

La ecocardiografía Doppler es actualmente la técnica principal para la valoración morfológica y funcional de los cortocircuitos congénitos. No obstante, la RM es una técnica diagnóstica en crecimiento que ofrece información completa en pacientes con mala ventana ecocardiográfica. En algunos defectos septales, como la comunicación interauricular del seno venoso, la comunicación interventricular no homogénea supracristal o los defectos del canal auriculoventricular, la información morfológica de la RM puede ser superior a la de la ecocardiografía. La RM tiene también un valor incremental en la valoración del tamaño y la función del ventrículo derecho o el seguimiento a largo plazo de cardiopatías congénitas complejas operadas. En pacientes con cortocircuitos extracardiacos, especialmente por anomalías del drenaje venoso pulmonar, fístulas quirúrgicas o colaterales sistémicas, la angio-RM se ha convertido ya en la técnica diagnóstica de elección. Cuando la cuantificación de los cortocircuitos se convierte en un argumento clave en la indicación quirúrgica, la valoración por RM con contraste de fase es una alternativa sería a los estudios invasivos. Sin embargo, en pacientes con hipertensión pulmonar grave relacionada con un cortocircuito sistémico-pulmonar congénito, las decisiones terapéuticas, quirúrgicas o farmacológicas continúan necesitando el cateterismo cardiaco derecho para determinar con precisión la presión pulmonar, la resistencia vascular y la respuesta al oxígeno y los vasodilatadores.

BIBLIOGRAFÍA

1. Oliver Ruiz JM, Mateos García M, Bret Zurita M. Evaluación de las cardiopatías congénitas en el adulto. *Rev Esp Cardiol.* 2003; 56:607-20.
2. Pujadas S, Carreras F, Subirana MT, Jiménez Borreguero J, Alomar X, Pons Lladó G. Estudio de las cardiopatías congénitas por resonancia magnética cardiaca. *Rev Esp Cardiol Supl.* 2006;6: 57E-64E
3. Wang ZJ, Reddy GP, Gotway MB, Yeh BM, Higgins CB. Cardiovascular shunts: MR imaging evaluation. *Radiographics.* 2003;23:S181-94.
4. Grothues F, Moon JC, Bellenger NG, Smith G, Klein H, Pennell D. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function, and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J.* 2004;147:218-22.
5. Ferrari VA, Scott CH, Holland GA, Axel L, Sutton MS. Ultrafast three-dimensional contrast-enhanced magnetic resonance angiography and imaging in the diagnosis of partial anomalous pulmonary venous drainage. *J Am Coll Cardiol.* 2001;37:1120-8.
6. Carreras F, Guillaumet E, Pujadas S, López-Salguero R, Ligeró C, Leta R, et al. Estudio morfológico de las venas pulmonares por angiorresonancia magnética *Rev Esp Cardiol.* 2005;58:1226-9.
7. Babu-Narayan SV, Kilner PJ, Li W, Moon JC, Goktekin O, Davlouros PA, et al. Ventricular fibrosis suggested by cardiovascular magnetic resonance in adults with repaired tetralogy of Fallot and its relationship to adverse markers of clinical outcome. *Circulation.* 2006;113:405-13.
8. Underwood SR, Firmin DN, Klipstein RH, Rees RS, Longmore DB. Magnetic resonance velocity mapping: clinical application of a new technique. *Br Heart J.* 1987; 57:404-12.
9. Varaprasathan GA, Araoz PA, Higgins CB, Reddy GP. Quantification of flow dynamics in congenital heart disease: applications of velocity-encoded cine MR imaging. *Radiographics.* 2002;22: 895-906.
10. Colletti PM. Evaluation of intracardiac shunts with cardiac magnetic resonance. *Curr Cardiol Rep.* 2005;7:52-8.
11. Esmaeili A, Hohn R, Koch A, Vogl TJ, Hofstetter R, Abolmaali N. Assessment of shunt volumes in children with ventricular septal defects: comparative quantification of MR flow measurements and invasive oximetry. *Clin Res Cardiol.* 2006;95:523-30.
12. Hernández-González MA, Spínola-Zabaleta N, Solorio S, Malacara-Hernández JM, Jarquin VM, Díaz de León V, et al. Resonancia magnética cardiovascular en la cuantificación de los cortocircuitos de izquierda a derecha en los defectos septales cardiacos con hipertensión arterial pulmonar. *Rev Esp Cardiol.* 2007;60: 907-13.
13. Saba TS, Foster J, Cockburn M, Cowan M, Peacock AJ. Ventricular mass index using magnetic resonance imaging accurately estimates pulmonary artery pressure. *Eur Respir J.* 2002;20:1519-24.
14. Mousseaux E, Tasu JP, Jolivet O, Simonneau G, Bittoun J, Gaux JC. Pulmonary arterial resistance: noninvasive measurement with indexes of pulmonary flow estimated at velocity-encoded MR imaging: preliminary experience. *Radiology.* 1999;212:896-902.
15. Pamboucas C, Nihoyannopoulos P. Papel de la resonancia magnética cardiovascular en el diagnóstico y evaluación de la hipertensión arterial pulmonar. *Rev Esp Cardiol.* 2006;59:755-60.