

Uso de la resonancia magnética cardíaca en el estudio de pacientes portadores de hipertensión pulmonar

Esteban Ludueña Clos*
Bettiana Torterolo Lozano*
Adriana García**
Osvaldo Manuale***

Correspondencia

Esteban Ludueña Clos
email: estebanclos@hotmail.com

* *Imágenes Cardiovasculares. Servicio de Cardiología. Hospital Británico de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina.*

** *Diagnóstico por Imagen. Hospital Británico de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina.*

*** *Servicio de Cardiología Hospital Británico de Buenos Aires. Buenos Aires. Argentina.*

Palabras clave

- ▷ Resonancia magnética cardíaca
- ▷ Hipertensión pulmonar
- ▷ Realce tardío
- ▷ Deformación miocárdica

Keywords

- ▷ Cardiac magnetic resonance
- ▷ Pulmonary hypertension
- ▷ Late enhancement
- ▷ Myocardial strain

RESUMEN

La Resonancia Magnética Cardíaca permite la evaluación anatómica y funcional de las cavidades izquierdas y derechas, más el estudio de la circulación aorto-pulmonar en pacientes portadores de hipertensión pulmonar. La información suministrada por este método tiene un gran valor pronóstico previo y durante la terapéutica instaurada. Consta de un conjunto de secuencias anatómicas, funcionales, de deformación miocárdica por bandas de saturación miocárdica (*tagging*) y por seguimiento de marcas (*feature tracking*), de contraste de fase para el flujo pulmonar y aórtico, y tras la administración de gadolinio, para el estudio de fibrosis miocárdica (realce tardío) y de reconstrucción tridimensional del árbol vascular.

ABSTRACT

Cardiac Magnetic Resonance allows the anatomical and functional assessment of left and right cardiac chambers, and aorto-pulmonary vascular tree in patients with pulmonary hypertension. That information has a high prognostic value previous and during treatment. The protocol has a large number of sequences to anatomical and functional assessment, for myocardial strain by tagging and feature tracking, phase contrast for aortic and pulmonary flows and after the administration of gadolinium, for delayed enhancement and tridimensional reconstruction of the vascular tree.

La Resonancia Magnética Cardíaca (Cardio RM) es un método no ionizante con un amplio campo de visión, lo cual permite la evaluación anatómica y funcional de las cavidades izquierdas y derechas (**Vídeo 1**), más el estudio de la circulación aorto-pulmonar. La exploración del parénquima pulmonar por medio de esta técnica sin embargo es difícil, debido a la baja densidad de protones y al elevado número de interfaces tejidos blandos-aire, que reducen la cantidad de la señal emitida.

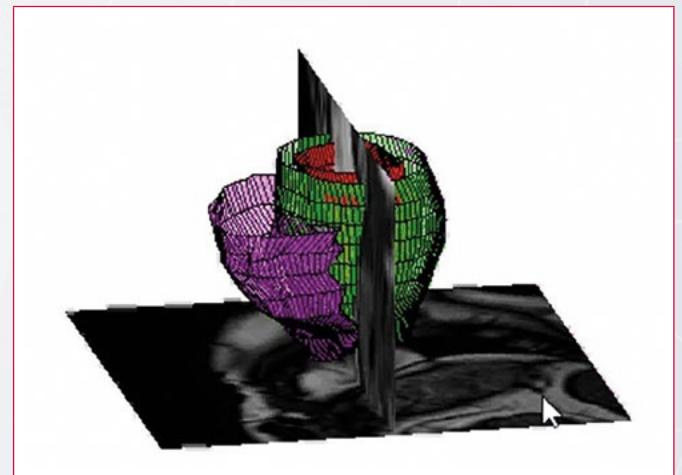
Es un método que es considerado el *gold standard* para el estudio de la anatomía, volúmenes y masa del ventrículo derecho, tanto en sujetos sanos como en aquellos portadores de hipertensión pulmonar, considerando la compleja geometría del ventrículo derecho⁽¹⁻⁵⁾.

El desarrollo de hipertrofia derecha secundario a la hipertensión pulmonar permite inicialmente compensar la sobrecarga de presión, antes que se produzca disfunción y dilatación ventricular derecha.

El deterioro de la función sistólica conduce a la dilatación del anillo tricuspídeo con insuficiencia valvular y dilatación de la aurícula derecha. La caída del volumen sistólico derecho con desplazamiento anormal del *septum* interventricular reduce el llenado ventricular izquierdo y su volumen eyectado. Se asocia además con dilatación de la arteria pulmonar, ingurgitación de la vena cava, derrame pericárdico, entre otras⁽⁶⁻⁷⁾.

La función vascular pulmonar y la del ventrículo derecho tienen valor pronóstico ya que determinan la morbilidad y mortalidad en hipertensión pulmonar. La

información anatómica y hemodinámica brindada por resonancia colaboran en el diagnóstico (con sus distintas causas) y en el seguimiento una vez instaurada la terapéutica vasodilatadora⁽⁸⁾.



Vídeo 1. Modelo de estructura de ventrículo izquierdo y derecho a partir de los datos de la RMN

Los pacientes derivados a Cardio RM, requieren presentar una frecuencia cardíaca estable para el gatillado electrocardiográfico y ser capaces de realizar ap-

neas (idealmente espiratorias) bajo sensor respiratorio. Una vez introducido el paciente en el magneto, se inicia el protocolo para el estudio de hipertensión pulmonar. Este se encuentra compuesto por un conjunto de secuencias, con un orden predeterminado.

Se comienza con la adquisición de imágenes en sangre negra en planos axial, sagital y coronal, para un completo estudio anatómico, como por ejemplo, mediciones del tronco de la arteria pulmonar y sus dos ramas, aorta tórax, etc. Posteriormente se programan las secuencias de cines en los planos ecocardiográficos habituales (dos y cuatro cámaras, eje corto, tracto de salida de ambos ventrículos, etc.) para la evaluación de la función segmentaria ventricular (**Figura 1**). Los cines se realizan con secuencias de precesión libre en estado de equilibrio (*steady state free precession*: SSFP) que presentan una mejor relación señal/ruido con un gran contraste entre el miocardio y la sangre.

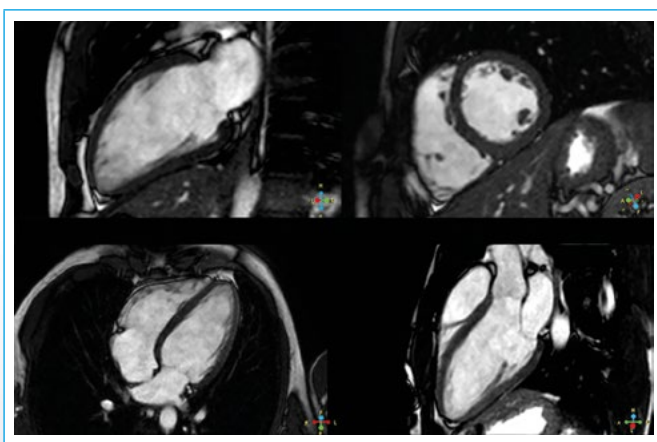
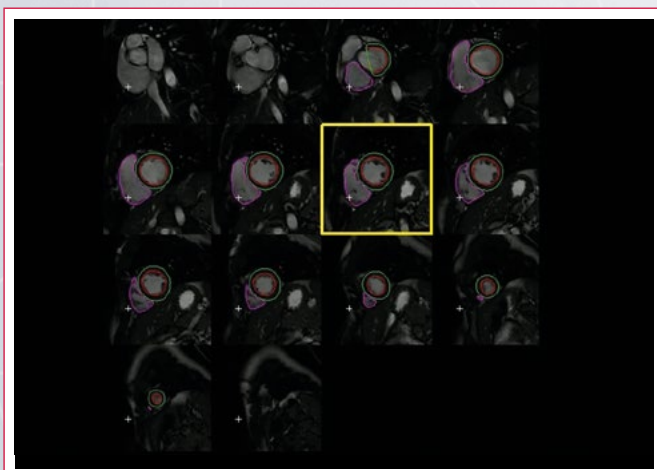


Figura 1. Trazado de los bordes endocárdicos y epicárdicos en ejes cortos (izquierda) para la obtención de los volúmenes y masa ventriculares (derecha)

A través de cortes transversales desde la punta hasta la base de ambos ventrículos es posible, al delinear los bordes endocárdicos y epicárdicos (con el uso de programas especializados en la estación de trabajo), obtener los volúmenes de fin de diástole, fin de sístole, volumen sistólico, gasto e índice cardíaco y la masa ventricular izquierda y derecha⁽⁹⁾ (**Vídeo 2** y **Figura 2**). La correcta definición de bordes es fundamental en estos pacientes debido a los cambios que experimenta la geometría del ventrículo derecho cuando se dilata⁽¹⁰⁾.



Vídeo 2. Seguimiento dinámico en todas las fases del ciclo cardíaco de los bordes endocárdicos y epicárdicos de ventrículo izquierdo y endocárdico de ventrículo derecho

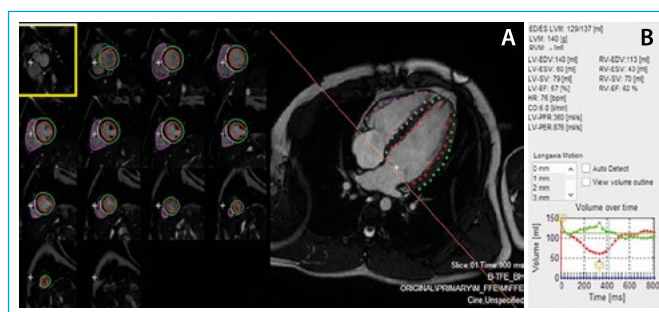
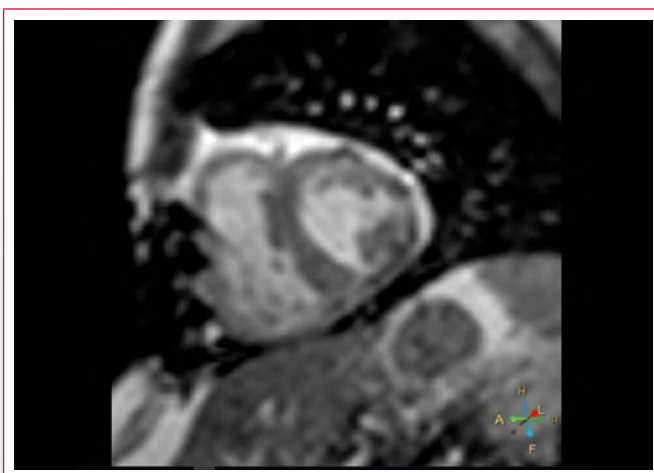


Figura 2. Trazado de los bordes endocárdicos y epicárdicos en ejes cortos (**A**) para la obtención de los volúmenes y masa ventriculares (**B**)

El índice de masa ventricular (cociente entre la masa ventricular derecha e izquierda) proporciona un método no invasivo de estimar la presión media de la arteria pulmonar en pacientes portadores de hipertensión pulmonar, con una sensibilidad del 84% y una especificidad del 71%, comparado con el 89% y 57% respectivamente en ecocardiografía⁽¹¹⁾.

A nivel de eje corto, se pueden hacer secuencias en tiempo real (con pérdida de resolución espacial y mejoría de la temporal) bajo respiración espontánea. Lo cual permite evaluar el comportamiento del *septum* interventricular durante el ciclo cardíaco y las fases inspiratoria y espiratoria (**Vídeo 3**).



Vídeo 3. Secuencias de tiempo real en plano de eje corto, que permite valorar el comportamiento del *septum* interventricular durante respiración libre

La curvatura del *septum* interventricular hacia la izquierda ha sido indicada como un confiable marcador de la presión de la arteria pulmonar⁽¹²⁾. En aquellos pacientes donde se observa un desplazamiento del *septum* interventricular hacia el ventrículo izquierdo, se puede estimar una presión sistólica de la arteria pulmonar de más de 67 mmHg. (**Figura 3**).

Es posible realizar secuencias especiales sobre los mismos ejes obtenidos para los diferentes cines cardíacos.

Uno de ellas es la técnica por marcado miocárdico (*tagging*), que gracias a pre-pulsos de radiofrecuencia se genera una trama cuadrícula en ambos ventrículos permitiendo valorar la deformación miocárdica.

Esta cuadrícula se mueve y deforma cuando el corazón se contrae, perdiendo perpendicularidad las líneas entre ellas. Esto puede ser evaluado cualitativamente en forma visual o cuantitativamente a través de curvas segmentarias con programas adecuados para ello, permitiendo valorar la disincronía del ventrículo derecho respecto al izquierdo⁽¹³⁻¹⁵⁾ (**Figura 4** y **Vídeo 4**).

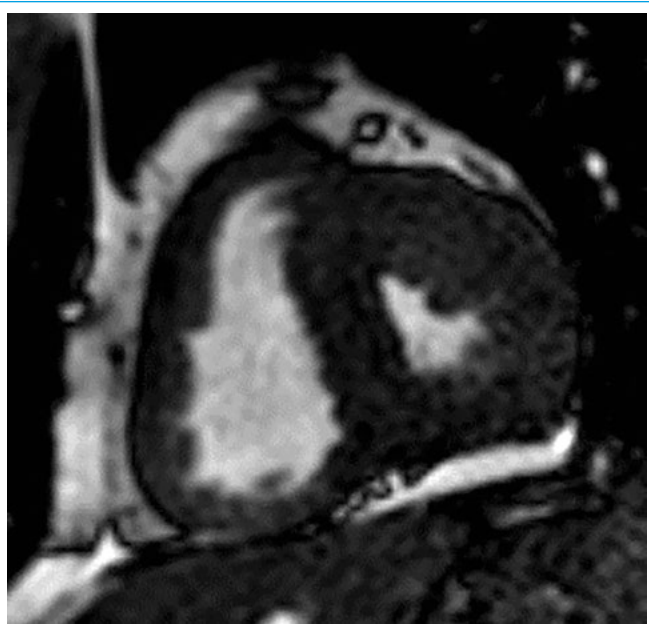


Figura 3. Cine en eje corto, donde se observa el aplanamiento del septum interventricular en sístole, sugestivo de sobrecarga de presión de ventrículo derecho

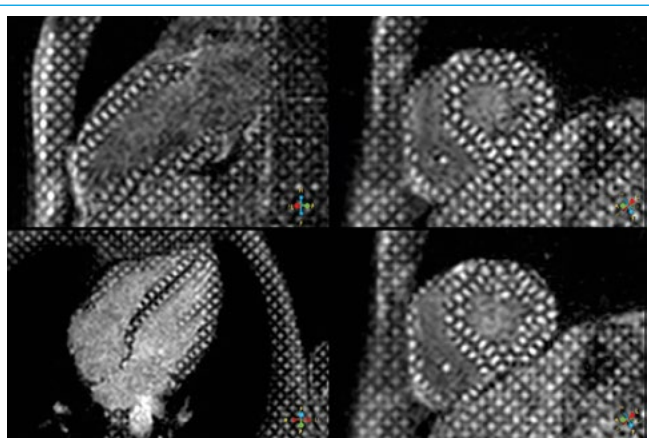
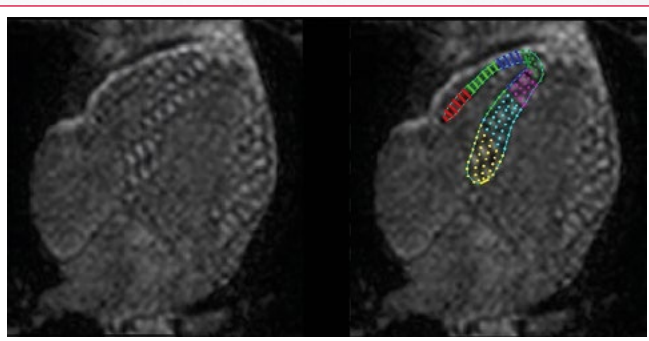
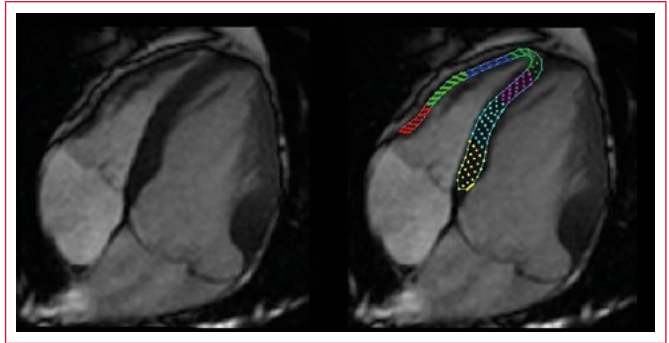


Figura 4. Secuencias de marcado miocárdico (*tagging*), en dos y cuatro cámaras (arriba y abajo a la izquierda, respectivamente), en dos ejes cortos en distintos planos (arriba y abajo a la derecha)



Video 4. Secuencias de *tagging* miocárdico con bordes de ventrículo derecho para análisis de deformación

La deformación además puede ser valorada con los cines adquiridos convencionalmente a través de análisis de *“feature tracking”* tanto del ventrículo izquierdo como del derecho (**Video 5**).



Video 5. Secuencias de cine en 4 cámaras con análisis por *“feature tracking”* de deformación de ventrículo derecho

Con las imágenes anatómicas en sangre negra y los cines adquiridos, es posible conseguir planos de corte perpendicular al plano de las arterias aorta y pulmonar (y sus ramas), para la realización de secuencias de contraste de fase (*Q-flow*) (**Figura 5**, **Figura 6** y **Video 6**).

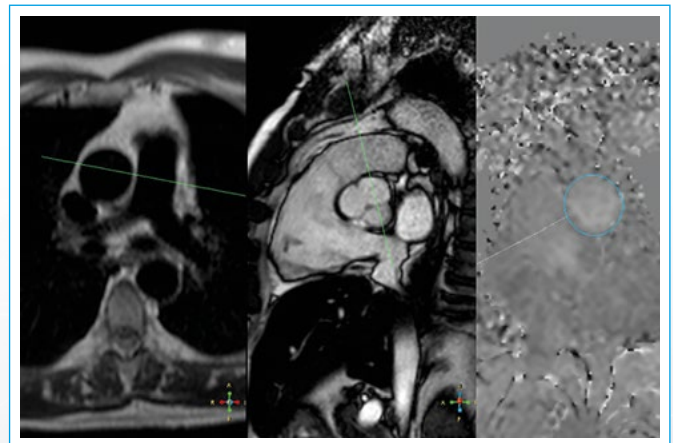


Figura 5. Secuencias de contraste de fase programada sobre el tronco de la arteria pulmonar

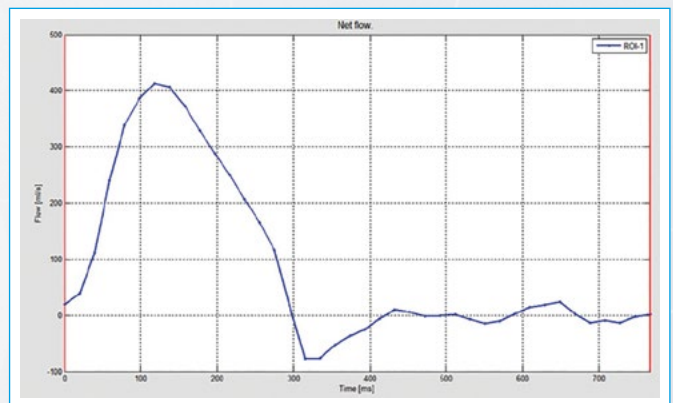
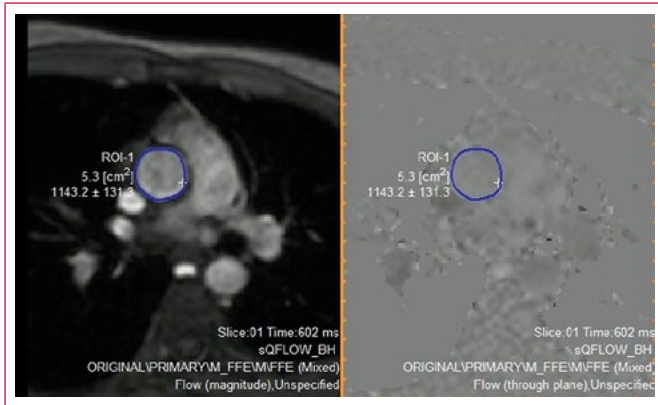


Figura 6. Curva de flujo pulmonar obtenida en la estación de trabajo con secuencia de contraste de fase (*Q-flow*)

En los planos de cine adquiridos (2 y 4 cámaras, eje corto, tracto de salida de ambos ventrículos) se pueden realizar secuencias de eco gradiente de inversión-recuperación (o realce tardío) después de la administración intravenosa de material no ferromagnético (gadolinio) (**Figura 7**). La presencia de fibrosis miocárdica se presenta como áreas hiperintensas por realce del contraste, con señal del miocardio anulada. Se observa en especial a nivel de la inserción de la pared libre del ventrículo derecho con el septum interventricular y se produce secundario a la pérdida de la arquitectura ventricular por hipertrofia y estrés mecánico

(Figura 8). Este hallazgo se asocia directamente con el volumen telediastólico y masa del VD indexado, la presión media de la arteria pulmonar y resistencia vascular pulmonar, e inversamente con la fracción de eyección del ventrículo derecho, constituyéndose como un parámetro pronóstico⁽¹⁹⁻²⁰⁾.



Video 6. Secuencias de contraste de fase (Q-flow) para estudio de flujo de aorta ascendente

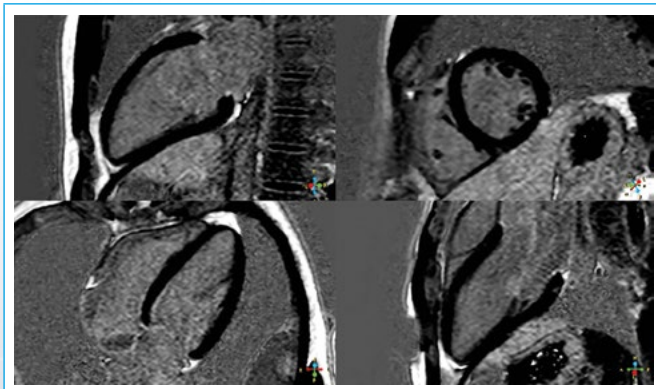


Figura 7. Secuencias de inversión-recuperación (realce tardío) tras la administración de gadolinio, en dos y cuatro cámaras, eje corto y tracto de salida de ventrículo izquierdo

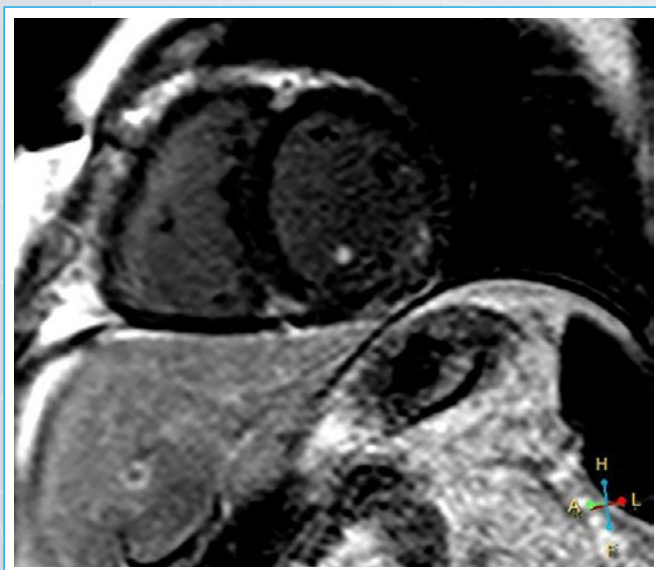


Figura 8. Secuencias de realce tardío donde se observa zonas de hipercaptación (hiperintensas) a nivel de la inserción del ventrículo derecho en el septum interventricular en paciente portador de hipertensión pulmonar crónica

Durante la administración del gadolinio, se realiza una angiografía pulmonar, la cual es de suma utilidad si aún no se ha excluido el diagnóstico de tromboembolismo. Un valor del diámetro de la arteria pulmonar derecha mayor de 28 mm es sensible (89%) y muy específico (100%) para el diagnóstico de HTP crónica⁽²¹⁾.

Es posible evaluar la perfusión pulmonar con la administración de gadolinio, aunque su uso se encuentra poco difundido y requiere mayor investigación para evaluar su utilidad⁽²²⁾.

Resumen

En resumen, la Cardio RM brinda información tanto para el diagnóstico como para el seguimiento, estableciendo variables pronósticas que pueden colaborar con la hemodinamia pulmonar y la ecocardiografía.

Ideas para recordar

- Las variables que se pueden obtener con Cardio RM en pacientes con hipertensión pulmonar asociadas a peor pronóstico de los pacientes incluyen⁽²³⁾:
 - Volumen de fin de diástole de ventrículo derecho > 84 ml/m².
 - Volumen sistólico de ventrículo derecho < 25 ml/m².
 - Volumen de fin de diástole de ventrículo izquierdo < 40 ml/m².
 - Deterioro de la función sistólica derecha.
 - Interdependencia ventricular.
 - Presencia de realce tardío son variables de peor pronóstico en esta población⁽²³⁾.

Bibliografía

1. Pamboucas C, Nihoyannopoulos P. Papel de la resonancia magnética cardiovascular en el diagnóstico y evaluación de la hipertensión pulmonar. *Rev Esp Cardiol.* 2006; 59 (8): 755-760.
2. Grothues F, Moon JC, Bellenger NG, Smith G, Klein H, Pennel D. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function, and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J.* 2004; 147: 218-222.
3. Lorenz CH, Walker ES, Morgan VI, Klein SS, Graham Jr TP. Normal human right and left ventricular mass, systolic function, and gender differences by cine magnetic resonance imaging. *J Cardiovasc Magn Reson.* 1999; 1: 7-21.
4. Mackey ES, Sandler MP, Campbell RM; Graham TP Jr, Atkinson JB, Prie R, Moreau GA: Right ventricular myocardial mass quantification with magnetic resonance imaging. *Am J Cardiol* 1990; 65: 529-532.
5. Boxt LM, Katz J: Magnetic resonance imaging for quantitation of right ventricular volumen in patients with pulmonary hypertension. *J Thorac Imaging* 1993; 8: 92-97.
6. Raymond RJ, Hinderliter AL, Willis PW, Ralph D, Caldwell EJ, Williams W, Ettinger NA, Hill NS, Summer Wr, de Boisblanc B, et al. Echocardiographic predictors of adverse outcomes in primary pulmonary hypertension. *J Am Coll Cardiol* 2002; 39: 1.214:1.219.
7. Heath D, Edwards JE: Configuration of elastic tissue of pulmonary trunk in idiopathic pulmonary hypertension. *Circulation* 1960; 21: 59-62.
8. Wilkins M, Paul G, Strange J, Tunariu N, Gin-Sing W, Banya W, et al. Sildenafil versus endothelin receptor antagonist for pulmonary hypertension (SERAPH) study. *Am J Respir Crit Care Med.* 2005; 171: 1.292-1.297.
9. Heiberg E, Sjögren J, Ugander M, Carlsson M, Engblom H, and Arheden H. Design and Validation of Segment – a Freely Available Software for Cardiovascular Image Analysis, *BMC Medical Imaging*, 2010, 10: 1.

10. Bradlow WM, Hughes M, Keen NG, Bucciarelli-Ducci C, Assomull R, Gibbs JS, Mohiaddin RH. Measuring the heart in pulmonary arterial hypertension (PAH): implications for trial study size. *J Magn Reson Imaging* 2010; 31: 117-124.
11. 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: 1.519-1.524.
12. Roeleveld RJ, Marcus JT, Faes TJ, Gan TJ, Boonstra A, Postmus PE, et al. Interventricular septal configuration at MR imaging and pulmonary arterial pressure in pulmonary hypertension. *Radiology*. 2005; 234: 710-717.
13. Haber I, Metaxas D, Geval T, Axel L. Three-dimensional systolic kinematics of the right ventricle. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. 2005; 289: H1.826-1.833.
14. Fayad ZA, Ferrari VA, Kraitchman DL, Young AA, Palevsky HI, Bloomgarden DC, Axel L. Right ventricular regional function using MR tagging: normals versus chronic pulmonary hypertension. *Magn Reson Med* 1998; 39: 116-123.
15. Marcus JT, Gan CT, Zwanenburg JJ, Boonstra A, Allaart CP, Gotte MJ, Vank-Noordegraaf A. Interventricular mechanical asynchrony in pulmonary arterial hypertension: left-to-right delay in peak shortening is related to right ventricular overload and left ventricular underfilling. *J Am Coll Cardiol* 2008; 51: 750-757.
16. 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.
17. Sanz J, Kuschnir P, Rius T, Salguero R, Sulica R, Einstein AJ, Dellegrottaglie S, Fuster V, Rajagopalan S, Poon M. Pulmonary arterial hypertension: noninvasive detection with phase-contrast MR imaging. *Radiology* 2007; 243: 70-79.
18. Kind T, Maurtiz GI, Marcus JT, van de Veerdonk M, Westerhof N, Vank-Noordegraaf A. Right ventricular ejection fraction is better reflected by transverse rather than longitudinal wall motion in pulmonary hypertension. *J Cardiovasc Magn Reson* 2010; 12: 35.
19. Pamboucas C, Schmitz S, Nihoyannopoulos P. Magnetic resonance imaging in the detection of myocardial viability: the role of delayed contrast hyperenhancement. *Ellenic J Cardiol*. 2005; 46: 108-116.
20. Blyth K, Groenning B, Martin T, Foster JE, Mark PB, Dargie HJ, et al. Contrast enhanced-cardiovascular magnetic resonance imaging in patients with pulmonary hypertension. *Eur Heart J*. 2005; 26: 1.993-1.999.
21. Kruger S, Haage P, Hoffmann R, Breuer C, Bucker A, Hanrath P, et al. Diagnosis of pulmonary arterial hypertension and pulmonary embolism with magnetic resonance angiography. *Chest*. 2001; 120: 156-161.
22. Levin D, Hatabu H. MR Evaluation of pulmonary blood flow. *J Thorac Imaging*. 2004; 19: 241-249.
23. Torbicki A. Cardiac magnetic resonance in pulmonary arterial hypertension: a step in the right direction. *Eur Heart J*. 2007; 28: 1.187-1.189.