

Papel de la Resonancia Magnética en la Miocardiopatía Hipertrófica y Dilatada en Pacientes Críticos

Daniel Augusto Buendia Gomez¹

danielbuendiaomez@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0313-8588>

Universidad del Sinú - Montería.

Valentina Díaz Cárdenas

valentinadiazca2@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-0497-9329>

Universidad del Norte, Colombia.

Jefferson David Jaimes Bautista

davidmoldred@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-5042-9663>

Universidad industrial de Santander.

Diana Marcela Hernández Muñoz

dianitamh117@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-9923-5840>

Universidad industrial de Santander,
Colombia.

Fabián José Domínguez Olmos

ffabian07@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0005-5623-5487>

Universidad de Cartagena Colombia.

Leonardo Andrés Osorio Martínez

mdleonardoosorion@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0008-5034-7455>

Universidad Del Colombia.

Ruth patricia Hernández Ruiz

ruthhernandezruiz@hotmail.com

<https://orcid.org/0009-0001-5548-7501>

Universidad del Sinú Elías Bechara Zainúm,
Colombia.

Marian Zea Ovando

marianzea07@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0006-2014-5890>

Universidad Pontificia Bolivariana,
Colombia.

RESUMEN

Las miocardiopatías son un grupo variado de enfermedades. Entre las miocardiopatías más conocidas encontramos a la miocardiopatía hipertrófica y dilatada. En la miocardiopatía hipertrófica encontramos una hipertrofia ventricular preferiblemente del ventrículo izquierdo. En cambio, la miocardiopatía dilatada se caracteriza por una dilatación y deterioro de la función ventricular izquierda o de ambos ventrículos. Para su diagnóstico, la RM ha llegado a ser la referencia en la evaluación de los volúmenes y la función ventricular izquierda y derecha, permitiendo además identificar la contractilidad regional e identificar áreas de miocardio no viable con mayor sensibilidad que los estudios isotópicos. Por ello, hemos realizado una búsqueda bibliográfica dando como resultado diferentes reportes de casos en los que la RM ha resultado de gran utilidad en el diagnóstico de la miocardiopatía hipertrófica y dilatada. Por ende, podemos concluir que su utilidad en el área de cardiología permite una mayor precisión en cuanto a masa, volumen y función contráctil del ventrículo izquierdo en estos tipos de miocardiopatías.

Palabras Claves: *resonancia magnética; miocardiopatías; diagnóstico; miocardiopatía hipertrófica.*

¹ Autor Principal

Correspondencia: danielbuendiaomez@gmail.com

Role of Magnetic Resonance Imaging in Hypertrophic and Dilated Cardiomyopathy in Critically Ill Patients

SUMMARY

Cardiomyopathies are a diverse group of diseases. Among the most well-known cardiomyopathies is hypertrophic and dilated cardiomyopathy. In hypertrophic cardiomyopathy, we find ventricular hypertrophy, preferably of the left ventricle. Dilated cardiomyopathy, on the other hand, is characterized by dilation and impairment of left ventricular function or both ventricles. For its diagnosis, MRI has become the reference in the evaluation of left and right ventricular volumes and function, also allowing the identification of regional contractility and the identification of areas of non-viable myocardium with greater sensitivity than isotopic studies. For this reason, we have carried out a bibliographic search resulting in different case reports in which MRI has been very useful in the diagnosis of hypertrophic and dilated cardiomyopathy. Therefore, we can conclude that its usefulness in the area of cardiology allows a ...

Keywords: *magnetic resonance imaging; cardiomyopathies; diagnosis; Hypertrophic cardiomyopathy*

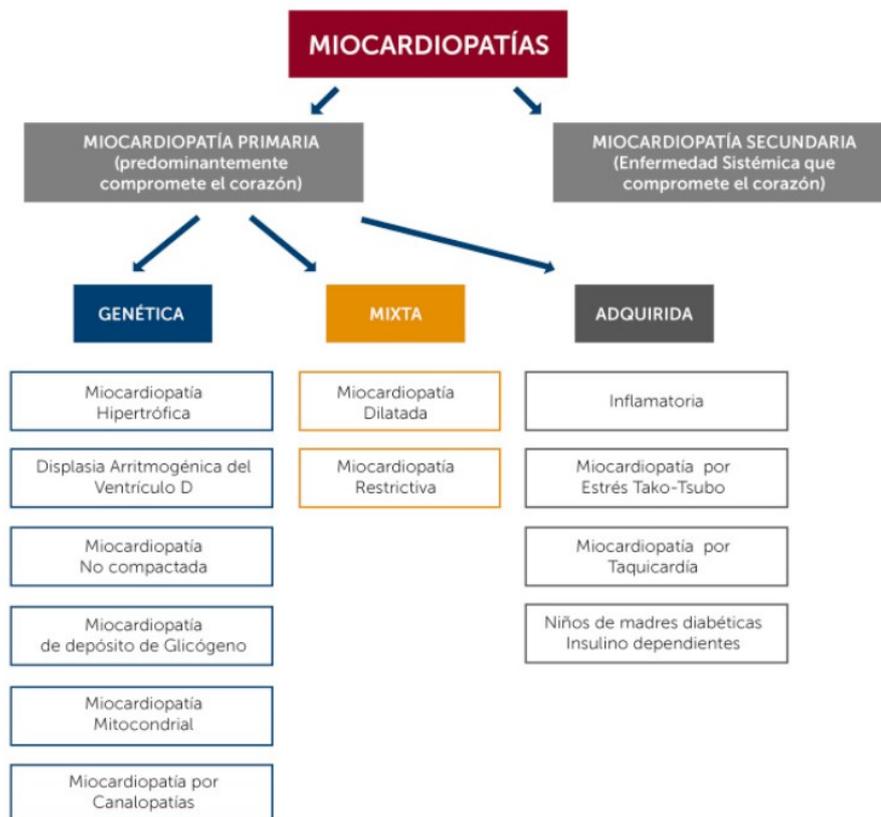
*Artículo recibido 15 septiembre 2023
Aceptado para publicación: 19 octubre 2023*

INTRODUCCIÓN

La RM es una potente herramienta de diagnóstico por imagen sobre todo en el paciente crítico, cuyo uso ha aumentado significativamente en los hospitales de todo el mundo(1). Desde la aparición del primer equipo de uso clínico, en 1981, la técnica se ha extendido por los hospitales de todo el mundo y, según datos de la OCDE, en 2010, más de 25.000 equipos estaban en funcionamiento por todo el planeta. La resonancia nuclear magnética (RNM) ha adquirido en época reciente un valor destacado, especialmente para la caracterización morfológica de la patología en base a su perspectiva tridimensional, en su diferenciación de otras entidades y en la estratificación del riesgo utilizando la técnica de realce tardío de contraste con gadolinio como es el caso de su papel en la identificación de miocardiopatía hipertrófica y dilatada en el paciente crítico (2).

Las miocardiopatías constituyen un grupo heterogéneo de enfermedades cuya nomenclatura y clasificación han permanecido bajo un manto de relativa incertidumbre y confusión. En la actualidad una propuesta de clasificación de la American Heart Association ha tenido un grado de aceptación (Figura 1). En esta se las presenta como “una variedad de enfermedades del miocardio que determinan una disfunción mecánica y/o eléctrica, y exhiben habitualmente hipertrofia o dilatación ventricular inapropiadas, que son debidas a una diversidad de causas, que con frecuencia son de orden genético” (3).

Figura 1. Clasificación de las miocardiopatías según la AHA



Tomado de: Vukasovic, José Luis. "Miocardiopatía dilatada: aspectos genéticos, infecciosos, inflamatorios y del sistema inmune." Revista Médica Clínica Las Condes 26.2 (2015): 210-216.

La miocardiopatía hipertrófica (MCH) es una patología cardíaca de carácter primaria, de transmisión genética, autosómica dominante, con una prevalencia en la población general adulta de 1 en 500, caracterizada por mutaciones en diversos genes que codifican para proteínas del sarcómero que secundariamente generan una hipertrofia parietal fundamentalmente del ventrículo izquierdo, en ausencia de una enfermedad cardíaca o sistémica que pueda explicarla (4). En cuanto a su Fisiopatología, es compleja y multifactorial; destacando la disfunción diastólica, OTSVI, isquemia miocárdica, insuficiencia mitral y arritmias como los principales mecanismos que contribuyen a la sintomatología. La manifestación clínica más llamativa de la MCH es la muerte súbita de origen cardíaco, de la que se describe una incidencia en torno al 2-3% anual en adultos (5). Los síntomas clínicos más relevantes son disnea, dolor torácico, presíncope o síncope (6). Varias complicaciones pueden modificar bruscamente o gradualmente el curso de la enfermedad. Entre ellas se cuentan la fibrilación auricular y una posible devastadora

consecuencia, el AVE embólico, la endocarditis infecciosa, la evolución progresiva a la fase final dilatada y la muerte súbita por fibrilación ventricular. Esta última reconoce ciertos factores de riesgo (tabla 1) cuyo valor predictivo positivo es limitado (7).

TABLA 1. FACTORES DE RIESGO DE MUERTE SÚBITA EN LA MCH *

A) Factores mayores

- 1) Antecedente personal de muerte súbita o taquicardia ventricular sostenida.
- 2) Historia de muerte súbita relacionada a la MCH en al menos un familiar en primer grado.
- 3) Haber experimentado al menos un episodio sincopal reciente.
- 4) Hipertrofia masiva del ventrículo izquierdo (espesor parietal máximo igual o mayor de 30 mm).
- 5) Detección de TVNS en el registro ambulatorio de Holter.
- 6) Respuesta hipotensiva o plana de la presión arterial durante el ejercicio (incremento de la presión arterial menor a 25 mm Hg).

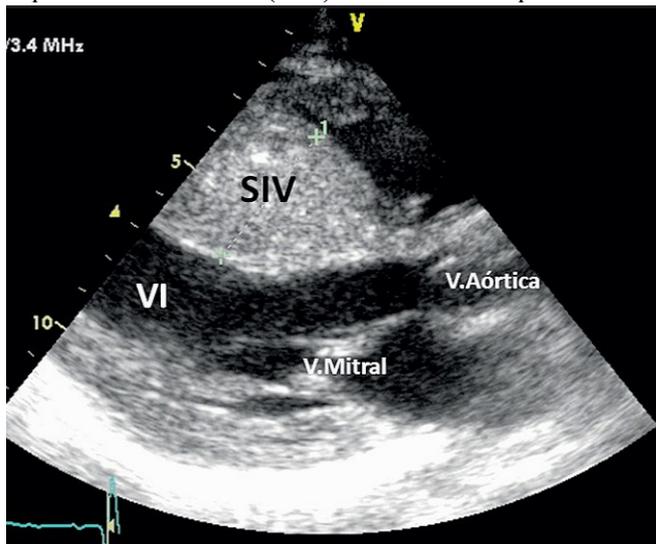
B) Factores menores

- Fibrilación auricular.
- Isquemia miocárdica.
- Obstrucción del TSVI.
- Mutaciones de alto riesgo en el estudio genético.
- Ejercicio físico vigoroso.
- Deterioro de la función sistólica del ventrículo izquierdo (fase final).
- Enfermedad coronaria asociada.
- Presencia de puentes miocárdicos.
- Evidencia de fibrosis miocárdica.
- Ablación septal con alcohol previa.
- Presencia de aneurisma apical
- Edad menor de 40 años.

Información de: . Rickers C, Wilke NM, Jerosch-Herold M, Casey SA, Panse P, Panse N, et al. Utility of cardiac magnetic resonance imaging in the diagnostic of hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 2005; 112: 855-61.

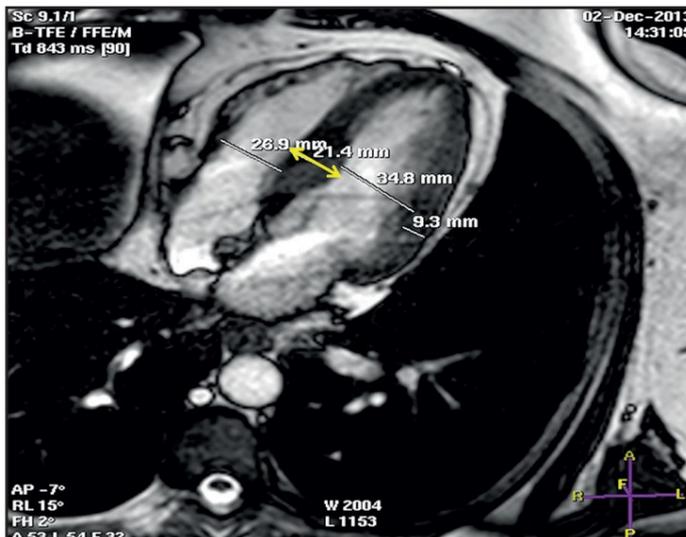
El ecocardiograma transtorácico es el método diagnóstico no invasivo más utilizado que nos aporta información sobre la morfología y el tipo de MCH, la función ventricular tanto sistólica como diastólica, la presencia y gravedad de la OTSVI, el grado de insuficiencia mitral, aspectos fisiopatológicos secundarios a la respuesta aguda y crónica a las medidas terapéuticas, el pronóstico y el screening o tamizaje en familias de portadores de la enfermedad con el fin de identificar formas subclínicas (Figura 2). Sin embargo, la naturaleza tridimensional de la resonancia magnética cardíaca (cardio-RM) permite una definición más precisa del lugar y la extensión de la hipertrofia, en especial en la pared ántero lateral, basal y en el ápex; zonas difíciles de evaluar por ecocardiografía, lo que con frecuencia hace que se pase por alto el diagnóstico (Figura 3) (8).

Figura 2. Ecocardiograma transtorácico en la proyección paraesternal eje largo. Se evidencia un septo interventricular (SIV) severamente hipertrófico compatible con MCH



Tomado de: Carlos Santos Molina Mazón¹, Xenia Martín Cerezo², Lorena Álvarez Vivas², Susana Asensio Flores.²⁰¹⁵

Figura 3. Cardio-RM en la secuencia de 4 cámaras que nos permite localizar y medir con más exactitud la presencia de hipertrofia ventricular. Esta imagen muestra una MCH asimétrica septal (SIV 21.4 mm).

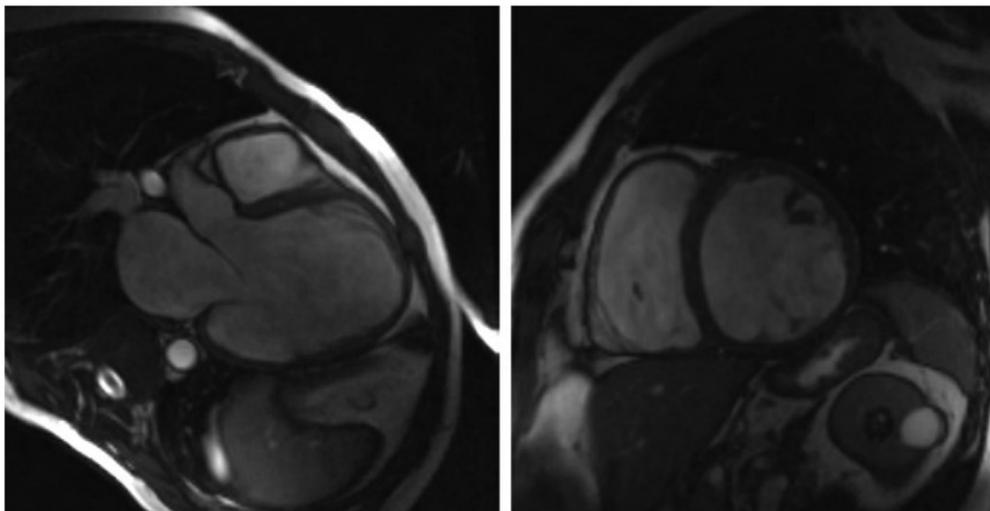


Tomado de: Carlos Santos Molina Mazón¹, Xenia Martín Cerezo², Lorena Álvarez Vivas², Susana Asensio Flores.²⁰¹⁵

Por su parte, la miocardiopatía dilatada (MD) es definida como una enfermedad que afecta al miocardio que se caracteriza por una dilatación y deterioro de la función ventricular izquierda o de ambos ventrículos. La MD es reconocida como una enfermedad transmitida genéticamente en al menos el 30-40% de los casos. Los pacientes con MD presentan una sintomatología similar a aquellos con insuficiencia cardiaca de otra etiología. Las miocardiopatías dilatadas familiares son

heredadas de forma autosómica dominante, en donde la mayoría de los casos presenta sólo el compromiso miocárdico. No obstante, también existen modalidades ligadas al cromosoma X, autosómicas recesivas y formas mitocondriales, sin embargo, estas son escasas y frecuentemente están asociadas a miopatías esqueléticas (9). En este caso, La RM ha llegado a ser la referencia en la evaluación de los volúmenes y la función ventricular izquierda y derecha. Permite además identificar la contractilidad regional e identificar áreas de miocardio no viable con mayor sensibilidad que los estudios isotópicos (Figura 4) (10).

Figura 4. Secuencias cine-RM, 3 cámaras y eje corto de un paciente con una miocardiopatía familiar. Marcada dilatación biventricular



Tomado de: Acuña, JM García, AM López Lago, and JR González Juanatey. "Miocardiopatía dilatada." *Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado* 11.42 (2013): 2500-2506.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica detallada de información publicada más relevante en las bases de datos pubmed, scielo, medline, bibliotecas nacionales e internacionales especializadas en los temas tratados en el presente artículo de revisión. Se utilizaron los siguientes descriptores: resonancia magnética, miocardiopatías, diagnóstico, miocardiopatía hipertrófica, miocardiopatía dilatada, pacientes, imagen diagnóstica. Los datos obtenidos oscilan entre los registros tras la utilización de las diferentes palabras claves. La búsqueda de artículos se realizó en español e inglés, se limitó por año de publicación y se utilizaron estudios publicados desde 2006 a la actualidad.

RESULTADOS

El aumento progresivo de la prevalencia de las enfermedades cardiovasculares en los últimos años, hace cada vez más necesario el desarrollo de métodos diagnósticos precisos, que le proporciona al clínico información adicional para una caracterización más precisa de la enfermedad miocárdica. Las secuencias estándar de imágenes por resonancia magnética (IRM) cardíaca pueden revelar información sobre la masa, los volúmenes y la función contráctil regional del ventrículo izquierdo (VI) en todo tipo de enfermedades de miocardiopatía. Las secuencias de resonancia magnética con contraste permiten la visualización de diferentes patrones y tamaños de infarto. Así mismo, la mejora de la inflamación y el infarto de miocardio (ubicación, transmuralidad y patrón) en la resonancia magnética con contraste se ha utilizado para resaltar las diferencias clave en las enfermedades del miocardio y predecir la recuperación de la función y la curación. Actualmente, las secuencias de imágenes que generan mayor interés en la miocardiopatía incluyen el análisis de la tensión miocárdica, el mapeo de tejidos (T1, T2, T2*) y técnicas de estimación del volumen extracelular (ECV) (11). Actualmente, los valores de T1, T2 y ECV se reconocen no sólo como biomarcadores sólidos para el diagnóstico de miocardiopatías, sino también como factores predictivos para el seguimiento y el pronóstico del tratamiento (12). En pacientes con Miocardiopatía dilatada, se sabe que los valores nativos de T1 y ECV son significativamente más altos y los valores de T1 posteriores al contraste son más bajos en comparación con los de los sujetos de control. Además, los pacientes con MCD también presentan valores aumentados de T2. Los valores nativos de T1 y ECV se correlacionan con los parámetros funcionales del VI (64,73) como la fracción de eyección del VI, la tensión global y otros biomarcadores (13). Otros estudios sugieren que el valor T1 del miocardio sin cicatrices medido con RM Look-Locker con contraste de 1,5 T o 3,0 T está significativamente relacionado con la disfunción cardíaca en la MCD. Con resonancia magnética de 1,5T (n = 16), el valor de T1 miocárdico se correlacionó negativamente con el EDV (r = -0,66) y el volumen telesistólico (ESV; r = -0,68), y positivamente con la FEVI (r = 0,51).); el valor de T1 miocárdico menos T1 en sangre se correlacionó inversamente con EDV (r = -0,70), ESV (r = -0,62) y péptido natriurético cerebral (BNP; r = -0,56). Con resonancia magnética de 3,0T (n = 17), el valor de T1 miocárdico

se correlacionó negativamente con ESV ($r = -0,44$), espesor septal ($r = -0,60$) y BNP ($r = -0,51$), y positivamente con FEVI ($r = 0,61$); el valor de T1 miocárdico menos T1 en sangre se correlacionó negativamente con el BNP ($r = -0,50$) y positivamente con la FEVI ($r = 0,54$) (14). Adicionalmente, un estudio evaluó la función auricular izquierda en pacientes con miocardiopatía dilatada idiopática a través de la RMC obtuvo resultados que sugieren que la tensión del reservorio auricular izquierdo y la tensión del conducto agregan valor pronóstico incremental a los factores de riesgo clínicos y la presencia tardía de realce con gadolinio (todos, $P < .05$), lo que sugiere que son predictores independientes de resultados clínicos adversos en la miocardiopatía dilatada idiopática (15). También se ha podido detallar las características del tejido miocárdico derivadas de la resonancia magnética cardíaca como predictores independientes de eventos relacionados con muerte cardíaca súbita (MSC) en individuos con miocardiopatía dilatada no isquémica, lo que podrían usarse para estratificar a los participantes según diferentes categorías de riesgo (estadística C = 0,74) (16)

Por su parte, la miocardiopatía hipertrófica es fenotípicamente heterogénea, la RMC ofrece una descripción fenotípica precisa de las áreas de hipertrofia focal. Sin embargo, estudios recientes han encontrado que la fibrosis focal e intersticial en la MCH puede progresar a lo largo de los años y dichos cambios pueden estar asociados con remodelación miocárdica y mal pronóstico (17). Varios marcadores de imágenes de RMC adicionales han demostrado valor pronóstico independiente, como la disminución de la tensión del VI mediante seguimiento de características, la disminución de la tensión longitudinal de la aurícula izquierda, la señal T2 elevada y las características de la textura del LGE en la MCH (18) Incluso, la RMC ha tenido la capacidad de predecir eventos cardiovasculares en niños con MCH. En un estudio de 116 pacientes pediátricos encontraron que el síncope, la taquicardia ventricular no sostenida (TVNS) y la extensión del RTG $\geq 2\%$ fueron predictores independientes de eventos. Según la estadística C de Harrel, la combinación de extensión del RTG $\geq 2\%$ y síncope fue el modelo más sólido para predecir eventos. El HR de pacientes con extensión del RTG $\geq 2\%$ y sin antecedentes de síncope fue de 3,6 (1,1-12,2), que aumentó a 37,6 (5,4-161) en aquellos con extensión del RTG $\geq 2\%$ y síncope (19). Lo que nos lleva a considerar la resonancia magnética cardíaca es una medida manual de la

disfunción diastólica del VI y es un predictor independiente de $RTG \geq 10\%$ y disfunción diastólica en la MCH (20). La RMC puede desempeñar un papel importante en el diagnóstico de MCH después de la ecocardiografía bidimensional (2dE) y la ecocardiografía Doppler (21). El rendimiento de este método diagnóstico permite determinar el aumento significativo de los volúmenes de la aurícula izquierda (AI) y de la aurícula derecha (AD) y una reducción en la mayoría de los índices de función contráctil, tensiones y tasas de tensión ($p < 0,05$) en niños con MCH en comparación con los controles (22) Un estudio por medio de la RMC mostró que la textura del miocardio evaluada mediante mapas nativos de T1 está relacionada con características de la enfermedad cardíaca. El fenotipado radiónico del miocardio podría mejorar el rendimiento diagnóstico del mapeo T1 para la detección y clasificación de enfermedades del miocardio (23).

DISCUSIÓN

La resonancia magnética cardiovascular (RMC) es una técnica de imagen clave para el fenotipado cardíaco con un papel clínico importante. Generalmente, la ecocardiografía representa la primera herramienta de diagnóstico confiable y de fácil acceso, que permite la identificación de anomalías cardíacas asociadas, como la enfermedad valvular, y resalta las características asociadas con un pronóstico adverso. La resonancia magnética cardíaca (RMC) se considera el estándar de oro para una evaluación precisa y reproducible de los volúmenes ventriculares y la fracción de eyección. Además, La RMC nos permite realizar una caracterización de tejidos que, mediante nuevas secuencias sofisticadas, podrían obtenerse incluso sin gadolinio (24). Esto ha superado los desafíos impuestos por la compleja anatomía del corazón derecho, lo que ha llevado a una comprensión profunda de la fisiología cardiovascular y fisiopatología (25) (26). Puede evaluar aspectos avanzados de la estructura y función cardíaca, la carga de cicatrices y otras características del tejido miocárdico. Las técnicas de caracterización del tejido miocárdico, en particular el mapeo miocárdico, pueden medir con precisión la magnetización del tejido (T1, T2, T2*) y también el volumen extracelular (27) Sin embargo, los biomarcadores basados en imágenes, incluida la hipertrofia, la heterogeneidad de la intensidad de la señal y la complejidad del borde fibrótico, no pudieron discriminar el riesgo de arritmias ventriculares (28). Pero si permite evaluar el realce retardado (DE), es un estudio esta variable se encontró en todos los pacientes con MCH,

acompañado del acortamiento circunferencial está significativamente afectado en las regiones con DE, independientemente del grado de hipertrofia miocárdica (29). También se puede observar que la longitud de las bolsas apicales y las dimensiones del cuello en sístole y diástole, medidas por RMC, fueron mayores entre aquellos pacientes en quienes se detectaron bolsas en la ecocardiografía, lo que sugiere que sólo se pueden identificar bolsas más grandes en la ecocardiografía (30). La RMC permitió también evaluar la relación entre la obesidad y la miocardiopatía hipertrófica. La magnitud de todos los índices de tensión del VI disminuyó gradual y significativamente a medida que aumentó el IMC, mientras que la fracción de eyección del VI no fue significativamente diferente entre los grupos de IMC ($P = 0,364$) (31). Cui y col. evaluaron las mediciones de la fracción de volumen extracelular en pacientes con MCH y MCD. Encontró por medio de la RMC que los pacientes con miocardiopatía tuvieron tiempos T1 nativos del miocardio y VEC significativamente mayores que los voluntarios sanos ($p < 0,001$). Los análisis de regresión logística multivariada mostraron que el VCE fue un predictor independiente del diagnóstico de MCD y MCH ($OR = 1,556$, $p < 0,001$ y $OR = 1,847$, $p = 0,001$, respectivamente) (32).

CONCLUSIÓN

La resonancia magnética a lo largo de los años se ha convertido en un método diagnóstico de gran utilidad a nivel mundial. En el área de cardiología, las miocardiopatías se han convertido en enfermedades de gran prevalencia como lo son la cardiomiopatía hipertrófica y dilatada, ocasionando un mal funcionamiento del corazón. Por ello, su diagnóstico es de gran importancia. La RM actualmente permite conocer con mayor precisión el lugar y la extensión de la hipertrofia, en especial en la pared ántero lateral, basal y en el ápex; zonas difíciles de evaluar por ecocardiografía, así como el volumen y función ventricular. Por ello, en la actualidad su aplicación en la medicina permite un diagnóstico precoz con la finalidad de darle al paciente un oportuno tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bayarri, Á. Alberich, et al. "Utilización segura de la resonancia magnética. Recomendaciones prácticas para el personal que trabaja con resonancia magnética." *Radiología* 55.2 (2013): 99-106.
- Acuña, JM García, AM López Lago, and JR González Juanatey. "Miocardiopatía dilatada." *Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado* 11.42 (2013): 2500-2506.
- Maron BJ, Towbin JA, Thiene G, Antzelevitch C, Corrado D, Arnett D, et al. Contemporary definitions and classification of the cardiomyopathies. An American Heart Association scientific statement from the Council on Clinical Cardiology, Heart Failure and Transplantation Committee; Quality of Care and Outcomes Research and Functional Genomics and Translational Biology Interdisciplinary Working Groups; and Council of Epidemiology and Prevention. *Circulation* 2006; 113: 1807-16.
- Maron BJ, McKenna WJ, Danielson GK, Kappenberger LJ, Kuhn HJ, Seidman CE, et al. American College of Cardiology/European Society of Cardiology Clinical expert consensus document on hypertrophic cardiomyopathy. *Eur Heart J* 2003; 24: 1965-91
- Mazón, Carlos Santos Molina, Xenia Martín Cerezo, and Lorea Alvarez. "Miocardiopatía hipertrófica." *Enfermería en cardiología: revista científica e informativa de la Asociación Española de Enfermería en Cardiología* 66 (2015): 74-74.
- Loss, Francisco Schossler, Leandro Shigueru Ikuta Ueda, and Alcirley de Almeida Luiz. "Miocardiopatía hipertrófica. Reporte de caso." *Revista Uruguaya de Cardiología* 34.3 (2019): 184-196.
- Harris KM, Spirito P, Maron MS, Zenovich AG, Formisano F, Lesser JR, et al. Prevalence, clinical profile and significance of left ventricular remodeling in the end stage phase of hypertrophic cardiomyopathy. *Circulation* 2006; 114: 216-25.
- Carlos Santos Molina Mazón¹, Xenia Martín Cerezo², Lorena Álvarez Vivas², Susana Asensio Flores. *Enferm Cardiol.* 2015; 22 (66): 74

- R.E. Hershberger, J.D. Siegfried Update 2011: clinical and genetic issues in familial dilated cardiomyopathy *J Am Coll Cardiol*, 57 (2011), pp. 1641-1649
- Acuña, JM García, AM López Lago, and JR González Juanatey. "Miocardiopatía dilatada." *Medicine-Programa de Formación Médica Continuada Acreditado* 11.42 (2013): 2500-2506.
- Saeed M, Liu H, Liang CH, Wilson MW. Magnetic resonance imaging for characterizing myocardial diseases. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2017 Sep;33(9):1395-1414. doi: 10.1007/s10554-017-1127-x. Epub 2017 Mar 31. PMID: 28364177.
- Kim PK, Hong YJ, Im DJ, Suh YJ, Park CH, Kim JY, Chang S, Lee HJ, Hur J, Kim YJ, Choi BW. Myocardial T1 and T2 Mapping: Techniques and Clinical Applications. *Korean J Radiol*. 2017 Jan-Feb;18(1):113-131. doi: 10.3348/kjr.2017.18.1.113. Epub 2017 Jan 5. PMID: 28096723; PMCID: PMC5240500.
- Dass S, Suttie JJ, Piechnik SK, Ferreira VM, Holloway CJ, Banerjee R, et al. Myocardial tissue characterization using magnetic resonance noncontrast t1 mapping in hypertrophic and dilated cardiomyopathy. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2012;5:726–733.
- Tachi M, Amano Y, Kobayashi Y, Mizuno K, Kumita S. Evaluation of nonscarred myocardial T1 value using contrast-enhanced look-locker cardiac MRI and its relationship to cardiac function in dilated cardiomyopathy: Comparison of 1.5 and 3.0 Tesla MRI. *J Magn Reson Imaging*. 2013 Dec;38(6):1395-401. doi: 10.1002/jmri.24131. Epub 2013 Jul 12. PMID: 23852918.
- Li Y, Xu Y, Tang S, Jiang X, Li W, Guo J, Yang F, Xu Z, Sun J, Han Y, Zhu Y, Chen Y. Left Atrial Function Predicts Outcome in Dilated Cardiomyopathy: Fast Long-Axis Strain Analysis Derived from MRI. *Radiology*. 2022 Jan;302(1):72-81. doi: 10.1148/radiol.2021210801. Epub 2021 Oct 26. PMID: 34698565.
- Li Y, Xu Y, Li W, Guo J, Wan K, Wang J, Xu Z, Han Y, Sun J, Chen Y. Cardiac MRI to Predict Sudden Cardiac Death Risk in Dilated Cardiomyopathy. *Radiology*. 2023 May;307(3):e222552. doi: 10.1148/radiol.222552. Epub 2023 Mar 14. PMID: 36916890.

- Han Y, Chen Y, Ferrari VA. Contemporary Application of Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging. *Annu Rev Med.* 2020 Jan 27;71:221-234. doi: 10.1146/annurev-med-041818-015923. PMID: 31986088.
- Hinojar, Rocio, et al. "Prognostic value of left atrial function by cardiovascular magnetic resonance feature tracking in hypertrophic cardiomyopathy." *The International Journal of Cardiovascular Imaging* 35 (2019): 1055-1065.
- Ali LA, Marrone C, Martins DS, Khraiche D, Festa P, Martini N, Santoro G, Todiere G, Panaioli E, Bonnet D, Boddaert N, Aquaro GD, Raimondi F. Prognostic factors in hypertrophic cardiomyopathy in children: An MRI based study. *Int J Cardiol.* 2022 Oct 1;364:141-147. doi: 10.1016/j.ijcard.2022.06.043. Epub 2022 Jun 17. PMID: 35718011.
- O'Brien AC, MacDermott R, Keane S, Ryan DT, McVeigh N, Durand R, Ferre M, Murphy DJ, Teekakirikul P, Keane D, McDonald K, Ledwidge M, Dodd JD. Cardiac MRI e-prime predicts myocardial late gadolinium enhancement and diastolic dysfunction in hypertrophic cardiomyopathy. *Eur J Radiol.* 2022 Apr;149:110192. doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110192. Epub 2022 Feb 3. PMID: 35158215.
- Sardanelli F, Molinari G, Petillo A, Ottonello C, Parodi RC, Masperone MA, Saitta S, Basso M, Caponnetto S. MRI in hypertrophic cardiomyopathy: a morphofunctional study. *J Comput Assist Tomogr.* 1993 Nov-Dec;17(6):862-72. doi: 10.1097/00004728-199311000-00005. PMID: 8227570.
- Mazurkiewicz Ł, Ziółkowska L, Petryka J, Śpiewak M, Małek Ł, Kubik A, Marczak M, Misko J, Brzezińska-Rajszyś G. Batrial performance in children with hypertrophic cardiomyopathy: CMR study. *Eur Radiol.* 2018 Dec;28(12):5148-5159. doi: 10.1007/s00330-018-5519-7. Epub 2018 Jun 7. PMID: 29882072; PMCID: PMC6223845.
- Antonopoulos AS, Boutsikou M, Simantiris S, Angelopoulos A, Lazaros G, Panagiotopoulos I, Oikonomou E, Kanoupaki M, Tousoulis D, Mohiaddin RH, Tsioufis K, Vlachopoulos C. Machine learning of native T1 mapping radiomics for classification of hypertrophic

- cardiomyopathy phenotypes. *Sci Rep.* 2021 Dec 8;11(1):23596. doi: 10.1038/s41598-021-02971-z. PMID: 34880319; PMCID: PMC8654857.
- Porcari A, De Angelis G, Romani S, Paldino A, Artico J, Cannatà A, Gentile P, Pinamonti B, Merlo M, Sinagra G. Current diagnostic strategies for dilated cardiomyopathy: a comparison of imaging techniques. *Expert Rev Cardiovasc Ther.* 2019 Jan;17(1):53-63. doi: 10.1080/14779072.2019.1550719. Epub 2018 Nov 26. PMID: 30457393.
- Cavigli L, Focardi M, Cameli M, Mandoli GE, Mondillo S, D'Ascenzi F. The right ventricle in "Left-sided" cardiomyopathies: The dark side of the moon. *Trends Cardiovasc Med.* 2021 Nov;31(8):476-484. doi: 10.1016/j.tcm.2020.10.003. Epub 2020 Oct 13. PMID: 33065314.
- Marrow BA, Cook SA, Prasad SK, McCann GP. Emerging Techniques for Risk Stratification in Nonischemic Dilated Cardiomyopathy: JACC Review Topic of the Week. *J Am Coll Cardiol.* 2020 Mar 17;75(10):1196-1207. doi: 10.1016/j.jacc.2019.12.058. PMID: 32164893.
- Captur G, Manisty C, Moon JC. Cardiac MRI evaluation of myocardial disease. *Heart.* 2016 Sep 15;102(18):1429-35. doi: 10.1136/heartjnl-2015-309077. Epub 2016 Jun 27. PMID: 27354273.
- O'Hara RP, Prakosa A, Binka E, Lacy A, Trayanova NA. Arrhythmia in hypertrophic cardiomyopathy: Risk prediction using contrast enhanced MRI, T1 mapping, and personalized virtual heart technology. *J Electrocardiol.* 2022 Sep-Oct;74:122-127. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2022.09.004. Epub 2022 Sep 17. PMID: 36183522; PMCID: PMC9729380.
- Kim YJ, Choi BW, Hur J, Lee HJ, Seo JS, Kim TH, Choe KO, Ha JW. Delayed enhancement in hypertrophic cardiomyopathy: comparison with myocardial tagging MRI. *J Magn Reson Imaging.* 2008 May;27(5):1054-60. doi: 10.1002/jmri.21366. PMID: 18425835.
- Kebed KY, Al Adham RI, Bishu K, Askew JW, Klarich KW, Oh JK, Julsrud PR, Foley TA, Glockner JF, Nishimura RA, Ommen SR, Anavekar NS. Evaluation of apical pouches in hypertrophic cardiomyopathy using cardiac MRI. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2014

Mar;30(3):591-7. doi: 10.1007/s10554-013-0355-y. Epub 2014 Jan 5. PMID: 24390362.

Shi K, Huang S, Li X, Xu HY, Yang MX, Li Y, Guo YK, Yang ZG. Effect of Obesity on Left Ventricular Remodeling and Clinical Outcome in Chinese Patients With Hypertrophic Cardiomyopathy: Assessed by Cardiac MRI. *J Magn Reson Imaging*. 2023 Mar;57(3):800-809. doi: 10.1002/jmri.28306. Epub 2022 Jun 17. PMID: 35715897.

Cui Y, Chen Y, Cao Y, Liu J, Song J, Zhang S, Kong X, Han P, Shi H. Myocardial extracellular volume fraction measurements with MOLLI 5(3)3 by cardiovascular MRI for the discrimination of healthy volunteers from dilated and hypertrophic cardiomyopathy patients. *Clin Radiol*. 2019 Sep;74(9):732.e9-732.e16. doi: 10.1016/j.crad.2019.04.019. Epub 2019 May 20. PMID: 31122714.