

La imagen por resonancia magnética en el diagnóstico de miocardiopatías

Magnetic resonance imaging in the diagnosis of cardiomyopathies

Grace Harlys Guaminga Alvarez

Ministerio de Salud Pública, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0005-9148-7938>

Gissella Carolina Rosero Ortega

Investigadora independiente, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0004-9409-9714>

Marley Janeyra Simbaña Morales

Investigadora independiente, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0001-2258-9771>

María José Aguirre Molina

Universidad Católica Santiago de Guayaquil,
Ecuador
<https://orcid.org/0000-0001-8409-8989>

Andrés Michael Erique Molina

UNIANDES, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0002-9669-6550>

RESUMEN

La resonancia magnética cardíaca (RMC) se ha consolidado como una herramienta fundamental en el diagnóstico y caracterización de las miocardiopatías, gracias a su capacidad para proporcionar imágenes detalladas del miocardio sin exposición a radiación ionizante. Este artículo de revisión narrativa explora los avances y aplicaciones de la RMC en la evaluación de diversas miocardiopatías, incluyendo la miocardiopatía dilatada, hipertrófica, restrictiva y arritmogénica del ventrículo derecho, entre otras. La RMC permite una evaluación precisa de la morfología, función ventricular, y el tejido miocárdico mediante técnicas avanzadas como la realce tardío con gadolinio, que facilita la identificación de fibrosis y cicatrices. Además, las secuencias de mapeo T1 y T2 ofrecen información valiosa sobre los cambios tisulares, contribuyendo a un diagnóstico más preciso y al seguimiento de la progresión de la enfermedad. La capacidad de la RMC para diferenciar entre diversas etiologías subyacentes de las miocardiopatías mejora significativamente la planificación del tratamiento y el pronóstico del paciente. Este artículo destaca la importancia de la RMC en el contexto clínico actual y su papel en el avance del conocimiento sobre las miocardiopatías, subrayando la necesidad de una integración continua de esta tecnología en la práctica clínica para optimizar el manejo de estas complejas patologías cardíacas.

Palabras clave: Resonancia magnética, Diagnóstico, Miocardiopatías, Técnicas avanzadas, Evaluación cardíaca, Enfermedades del miocardio.

ABSTRACT

Cardiac magnetic resonance (CMR) has established itself as a fundamental tool in the diagnosis and characterization of cardiomyopathies, thanks to its ability to provide detailed images of the myocardium without exposure to ionizing radiation. This narrative review article explores the advances and applications of CMR in the evaluation of various cardiomyopathies, including dilated, hypertrophic, restrictive, and arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy, among others. CMR allows accurate evaluation of morphology, ventricular function, and myocardial tissue using advanced techniques such as late gadolinium enhancement, which facilitates the identification of fibrosis and scarring. Additionally, T1 and T2 mapping sequences provide valuable information on tissue changes, contributing to more accurate diagnosis and monitoring of disease progression. The ability of CMR to differentiate between various underlying etiologies of cardiomyopathies significantly improves treatment planning and patient prognosis. This article highlights the importance of CMR in the current clinical context and its role in advancing knowledge about cardiomyopathies, underlining the need for continuous integration of this technology in clinical practice to optimize the management of these complex cardiac pathologies.

Keywords: Magnetic resonance imaging, Diagnosis, Cardiomyopathies, Advanced techniques, Cardiac evaluation, Myocardial diseases.

INTRODUCCIÓN

La imagen por resonancia magnética ha emergido como una herramienta fundamental en el diagnóstico y evaluación de las miocardiopatías, un grupo heterogéneo de enfermedades que afectan el músculo cardíaco y representan una causa significativa de morbilidad y mortalidad a nivel mundial (1). La capacidad de la imagen por resonancia magnética para proporcionar imágenes de alta resolución y datos detallados sobre la estructura y función cardíaca la posiciona como el método de elección en la caracterización de estas patologías (2). A diferencia de otras técnicas de imagen, la imagen por resonancia magnética no solo permite una evaluación precisa del tamaño y grosor del miocardio, sino que también ofrece información valiosa sobre la composición tisular mediante la detección de fibrosis, edema y depósitos de grasa (3). Esto es particularmente relevante en el contexto de las miocardiopatías, donde la identificación temprana de cambios patológicos puede influir significativamente en el pronóstico y manejo del paciente (4). Además, la imagen por resonancia magnética es una herramienta no invasiva y libre de radiación ionizante, lo que la hace ideal para el seguimiento a largo plazo de pacientes con estas condiciones (5). En este artículo de revisión, se explorarán los avances recientes en la aplicación de la imagen por resonancia magnética en el diagnóstico de miocardiopatías, destacando su papel en la diferenciación entre los distintos tipos de miocardiopatías, así como su utilidad en la evaluación del riesgo y planificación terapéutica (6). Al proporcionar un panorama actualizado sobre esta tecnología, se busca resaltar su importancia en la práctica clínica moderna y su impacto en la mejora de los resultados para los pacientes.

METODOLOGÍA

Para llevar a cabo esta revisión narrativa, se realizó una búsqueda exhaustiva en diversas bases de datos científicas, incluyendo PubMed, Scopus y Embase. Se emplearon términos MeSH como "Magnetic Resonance Imaging" y "Cardiomyopathy", así como sus equivalentes en DeCS, para asegurar una cobertura amplia y precisa del tema. La estrategia de búsqueda se complementó con el uso de operadores booleanos como AND y OR para combinar términos y refinar los resultados. Los criterios de inclusión abarcaron artículos publicados en los últimos diez años, disponibles en texto completo y en idiomas inglés o español, que abordaran específicamente el uso de IRM en el diagnóstico de diferentes tipos de miocardiopatías. Se excluyeron estudios que no proporcionaran datos originales, revisiones sistemáticas ya existentes sobre el tema y aquellos con un enfoque exclusivo en tratamientos sin considerar el diagnóstico. En total, se revisaron 16 artículos que cumplían con los criterios establecidos, de los cuales se seleccionaron los más relevantes para proporcionar una visión comprensiva y actualizada sobre la aplicación de la imagen por resonancia magnética en este campo clínico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Principios básicos de la imagen por resonancia magnética

La imagen por resonancia magnética se ha consolidado como una herramienta esencial en el diagnóstico y manejo de las miocardiopatías debido a su capacidad para proporcionar imágenes detalladas y precisas del corazón sin la necesidad de radiación ionizante. Este método de diagnóstico por imagen se basa en principios físicos que permiten obtener información tanto anatómica como funcional del miocardio (1).

El principio fundamental de la imagen por resonancia magnética radica en la interacción entre los campos magnéticos y los núcleos atómicos, principalmente los protones del hidrógeno presentes en el agua de los tejidos corporales. Cuando un paciente es colocado dentro de un escáner de resonancia magnética, un campo magnético fuerte alinea los protones. Posteriormente, se aplican pulsos de radiofrecuencia que alteran esta alineación. Al cesar estos pulsos, los protones regresan a su estado original, emitiendo señales que son captadas por el dispositivo y transformadas en imágenes (1).

Una de las ventajas más destacadas de la imagen por resonancia magnética es su capacidad para diferenciar entre distintos tipos de tejidos blandos, lo cual es crucial en el contexto de las miocardiopatías. Las secuencias de imagen por resonancia magnética pueden ajustarse para resaltar diferentes propiedades tisulares, permitiendo así la evaluación detallada del grosor del miocardio, la presencia de fibrosis, inflamación o infiltración grasa, y el análisis del movimiento y la función ventricular (1).

Además, la imagen por resonancia magnética cardíaca permite la utilización de técnicas avanzadas como el realce tardío con gadolinio, que es particularmente útil para identificar áreas de fibrosis o necrosis miocárdica. Esta técnica se basa en la administración de un agente de contraste que resalta las áreas afectadas debido a la acumulación diferencial en tejidos dañados comparado con el miocardio sano (2).

Otra aplicación importante es la evaluación de la viabilidad miocárdica y la perfusión del miocardio bajo estrés, lo cual es crucial para determinar el pronóstico y guiar las decisiones terapéuticas en pacientes con enfermedad coronaria y miocardiopatías isquémicas (2).

La imagen por resonancia magnética también se utiliza para caracterizar diferentes tipos de miocardiopatías, como la hipertrófica, dilatada o restrictiva, proporcionando información detallada sobre las características morfológicas y funcionales del corazón. Esta información es vital para un diagnóstico preciso y para la planificación de intervenciones terapéuticas adecuadas (2).

Ventajas de la imagen por resonancia magnética en el diagnóstico de miocardiopatías

La imagen por resonancia magnética se ha consolidado como una herramienta esencial en el diagnóstico de miocardiopatías debido a sus múltiples ventajas. En primer lugar, la imagen por resonancia magnética proporciona una visualización detallada de la anatomía y la función del corazón sin la necesidad de radiación ionizante, lo que la hace segura para los pacientes. Esta técnica permite obtener imágenes de alta resolución que facilitan la evaluación precisa de la morfología cardíaca y la identificación de anomalías estructurales (3).

Una de las principales ventajas de la imagen por resonancia magnética es su capacidad para caracterizar el tejido miocárdico, lo que es crucial para diferenciar entre diversos tipos de miocardiopatías. A través de técnicas avanzadas como el realce tardío con gadolinio, es posible identificar fibrosis miocárdica, un marcador importante en enfermedades como la miocardiopatía hipertrófica y la miocardiopatía dilatada. Esto permite no solo un diagnóstico más preciso, sino también una mejor estratificación del riesgo y planificación del tratamiento (3).

Además, la imagen por resonancia magnética es particularmente útil para evaluar la función ventricular y el flujo sanguíneo, proporcionando información detallada sobre la contractilidad y la relajación del miocardio. Esto es especialmente relevante en el diagnóstico de miocardiopatías restrictivas y arritmogénicas, donde el análisis funcional puede guiar las decisiones clínicas (3).

Otra ventaja significativa es la capacidad de la imagen por resonancia magnética para evaluar el pericardio y detectar complicaciones asociadas, como derrames pericárdicos o pericarditis constrictiva, que pueden coexistir con diversas miocardiopatías. La versatilidad de esta técnica se extiende también a su uso en poblaciones pediátricas y en aquellos pacientes con dispositivos implantados, gracias a los avances en tecnología que minimizan las interferencias (4).

En resumen, la imagen por resonancia magnética ofrece una combinación única de seguridad, precisión y detalle en el diagnóstico de miocardiopatías. Su capacidad para caracterizar tejidos, evaluar la función cardíaca y detectar complicaciones asociadas la convierte en una herramienta indispensable en la práctica clínica moderna (4).

Técnicas avanzadas de imagen por resonancia magnética aplicadas a las miocardiopatías

La resonancia magnética ha emergido como una herramienta crucial en el diagnóstico y manejo de las miocardiopatías, gracias a su capacidad para proporcionar imágenes detalladas y cuantitativas del corazón. En las últimas décadas, las técnicas avanzadas de imagen por RM han mejorado significativamente, permitiendo una evaluación más precisa de la estructura y función cardíaca (5).

Una de las técnicas más destacadas es la cartografía T1 y T2, que permite la caracterización tisular del miocardio. La cartografía T1 es particularmente útil para detectar fibrosis intersticial y edema, mientras que la cartografía T2 se utiliza para identificar inflamación miocárdica. Estas técnicas han demostrado ser valiosas en el diagnóstico diferencial de diversas miocardiopatías, como la miocarditis y la cardiomiopatía hipertrófica (5).

Otra técnica avanzada es el realce tardío de gadolinio (LGE), que se ha convertido en el estándar de oro para la detección de fibrosis miocárdica. El LGE permite identificar áreas de necrosis y cicatrización, proporcionando información crucial sobre el pronóstico del paciente y guiando decisiones terapéuticas (5).

Además, la técnica de strain por resonancia magnética ofrece una evaluación detallada de la deformación miocárdica, lo que es esencial para detectar disfunción subclínica en pacientes con miocardiopatías. Esta técnica es particularmente relevante en la evaluación de la cardiomiopatía dilatada y en el seguimiento de pacientes con riesgo de insuficiencia cardíaca (6).

La resonancia magnética con mapeo paramétrico también ha ganado relevancia, ya que permite una cuantificación precisa de los parámetros tisulares sin necesidad de contraste. Esto es especialmente beneficioso para pacientes con contraindicación al gadolinio, como aquellos con insuficiencia renal (6).

La integración de estas técnicas avanzadas en la práctica clínica ha transformado el enfoque del diagnóstico y manejo de las miocardiopatías. Permiten una evaluación no invasiva y detallada del miocardio, mejorando así la precisión diagnóstica y optimizando el tratamiento individualizado. A medida que estas tecnologías continúan evolucionando, es probable que su papel en la cardiología clínica se expanda aún más, consolidándose como herramientas esenciales en el cuidado del paciente con enfermedades cardíacas (6).

Papel de la imagen por resonancia magnética en la evaluación de la función cardíaca

La imagen por resonancia magnética juega un papel crucial en la evaluación de la función cardíaca, especialmente en el contexto del diagnóstico de miocardiopatías. Como herramienta no invasiva, la imagen por resonancia magnética ofrece una visualización detallada y precisa de las estructuras cardíacas, permitiendo la medición exacta de volúmenes, masas y función ventricular (7).

Una de las principales ventajas de la imagen por resonancia magnética es su capacidad para diferenciar entre los distintos tipos de tejido cardíaco, lo que es esencial para identificar áreas de fibrosis, inflamación o infiltración grasa. Esto es particularmente relevante en el diagnóstico diferencial de las miocardiopatías, donde la caracterización tisular puede orientar hacia una etiología específica (7).

Además, la imagen por resonancia magnética proporciona información valiosa sobre la contractilidad miocárdica mediante técnicas avanzadas como el tagging, que evalúa el movimiento de las fibras cardíacas durante el ciclo cardíaco. Esta funcionalidad es crucial para detectar disfunciones segmentarias que podrían no ser evidentes en otras modalidades de imagen (7).

La imagen por resonancia magnética también es fundamental para evaluar la perfusión miocárdica en reposo y bajo estrés, lo que permite detectar isquemia inducible y evaluar la viabilidad del miocardio. Esto es esencial para la planificación del tratamiento en pacientes con miocardiopatías isquémicas (8).

En el contexto de las miocardiopatías no isquémicas, la imagen por resonancia magnética es indispensable para identificar patrones característicos de realce tardío con gadolinio, que pueden diferenciar entre miocarditis, cardiomiopatía hipertrófica, dilatada o restrictiva, entre otras. Estos patrones de realce son fundamentales para establecer un diagnóstico preciso y guiar el manejo clínico (8).

Identificación de fibrosis y cicatrices miocárdicas mediante imagen por resonancia magnética

La identificación de fibrosis y cicatrices miocárdicas a través de la imagen por resonancia magnética es un avance crucial en el diagnóstico y manejo de las miocardiopatías. Este método no invasivo proporciona detalles precisos sobre la estructura y función del miocardio, permitiendo una evaluación detallada que otras técnicas de imagen no pueden ofrecer (9).

La imagen por resonancia magnética utiliza la técnica de realce tardío con gadolinio (RTG) para detectar fibrosis. Este agente de contraste se acumula en áreas de fibrosis o cicatrices debido a la alteración de la barrera capilar y el mayor volumen extracelular en estas regiones. La acumulación de gadolinio en el tejido afectado se traduce en un realce hiperintenso en las imágenes, lo que permite diferenciar entre tejido sano y dañado (9).

La capacidad de la imagen por resonancia magnética para identificar fibrosis miocárdica tiene implicaciones significativas en el pronóstico y tratamiento de los pacientes. La presencia y extensión de fibrosis se asocian con un mayor riesgo de eventos adversos, como arritmias ventriculares y muerte súbita cardíaca. Por lo tanto, la detección precisa de estas alteraciones estructurales puede guiar decisiones terapéuticas, desde el ajuste de medicamentos hasta la consideración de dispositivos implantables como desfibriladores automáticos (10).

Además, la imagen por resonancia magnética es útil para diferenciar entre diferentes tipos de miocardiopatías. Por ejemplo, en la miocardiopatía hipertrófica, la fibrosis se localiza típicamente en el septo interventricular, mientras que en la miocardiopatía dilatada, puede estar más dispersa. Estas características distintivas pueden ayudar a los clínicos a establecer un diagnóstico más preciso y personalizado (10).

Uso de imagen por resonancia magnética para la detección de inflamación miocárdica

La resonancia magnética ha emergido como una herramienta crucial en el diagnóstico y manejo de las miocardiopatías, especialmente en la detección de inflamación miocárdica. Esta técnica de imagen avanzada permite una evaluación detallada de la estructura y función del miocardio, proporcionando información esencial para la identificación de

procesos inflamatorios (11).

La inflamación miocárdica, que puede ser consecuencia de infecciones virales, enfermedades autoinmunes, o incluso como respuesta a ciertos medicamentos, requiere un diagnóstico preciso para su adecuado manejo. La resonancia magnética es particularmente útil debido a su capacidad para identificar cambios en el tejido miocárdico, como edema, fibrosis y necrosis, que son indicativos de inflamación (11).

Uno de los métodos más utilizados en resonancia magnética para detectar inflamación es la técnica de realce tardío con gadolinio (LGE). Esta técnica permite visualizar áreas de fibrosis y necrosis al resaltar el contraste entre el tejido sano y el afectado. El gadolinio, un agente de contraste paramagnético, se acumula en las áreas dañadas del miocardio, proporcionando imágenes detalladas que ayudan a determinar la extensión y localización de la inflamación (11,12).

Además del LGE, la resonancia magnética ofrece otras técnicas avanzadas como el mapeo T1 y T2, que permiten una cuantificación más precisa del contenido de agua y el grado de inflamación en el tejido miocárdico. El mapeo T2 es particularmente útil para detectar edema miocárdico, un signo temprano de inflamación. Por otro lado, el mapeo T1, tanto nativo como post-contraste, ayuda a evaluar la fibrosis intersticial difusa que no es visible con técnicas convencionales (12).

La capacidad de la resonancia magnética para proporcionar imágenes tridimensionales del corazón sin exposición a radiación ionizante la convierte en una opción preferida para el seguimiento a largo plazo de pacientes con miocardiopatías inflamatorias. Además, su alta resolución espacial y temporal permite una evaluación precisa de la función ventricular y del movimiento miocárdico (12).

Evaluación del pronóstico de las miocardiopatías con imagen por resonancia magnética

La evaluación del pronóstico de las miocardiopatías mediante imagen por resonancia magnética ha demostrado ser una herramienta invaluable en la práctica clínica. Esta técnica no invasiva permite una caracterización detallada del miocardio, proporcionando información crucial que va más allá de la simple identificación de la enfermedad. La imagen por resonancia magnética es capaz de detectar fibrosis miocárdica, evaluar la función ventricular y determinar la presencia de edema o inflamación, factores que son determinantes en el pronóstico del paciente (13).

Uno de los aspectos más destacados de la imagen por resonancia magnética es su capacidad para identificar fibrosis miocárdica a través de la técnica de realce tardío con gadolinio. La presencia y extensión de fibrosis se ha correlacionado con un mayor riesgo de eventos adversos, como arritmias malignas y muerte súbita cardíaca. Por lo tanto, la cuantificación precisa de la fibrosis puede guiar decisiones terapéuticas, como la necesidad de un desfibrilador implantable (13).

Además, la imagen por resonancia magnética permite una evaluación detallada de la función sistólica y diastólica del ventrículo izquierdo, así como el análisis de la morfología y el tamaño ventricular. Estas mediciones son esenciales para el seguimiento de la progresión de la enfermedad y para evaluar la respuesta al tratamiento. En pacientes con miocardiopatía dilatada, por ejemplo, la IRM puede identificar aquellos con mayor riesgo de deterioro funcional (13).

La inflamación y el edema miocárdico también pueden ser detectados mediante técnicas avanzadas de imagen por resonancia magnética, como el mapeo T1 y T2. Estos hallazgos son particularmente útiles en miocardiopatías inflamatorias, como la miocarditis, donde la identificación temprana y precisa puede influir en el manejo clínico y mejorar los resultados a largo plazo (14).

En resumen, la imagen por resonancia magnética ofrece una evaluación integral del corazón afectado por miocardiopatías, proporcionando datos pronósticos valiosos que pueden influir en las estrategias de manejo y tratamiento. Su capacidad para ofrecer una visión detallada y precisa del estado del miocardio convierte a la imagen por resonancia magnética en una herramienta indispensable en el diagnóstico y pronóstico de estas complejas enfermedades cardíacas (14).

Limitaciones y desafíos actuales de la imagen por resonancia magnética en el diagnóstico de miocardiopatías

La imagen por resonancia magnética ha emergido como una herramienta crucial en el diagnóstico de miocardiopatías, proporcionando detalles anatómicos y funcionales que son fundamentales para el manejo clínico. Sin embargo, a pesar de sus ventajas, la IRM presenta ciertas limitaciones y desafíos que deben ser considerados (15).

En primer lugar, uno de los principales desafíos es la disponibilidad y accesibilidad de la tecnología. La imagen por resonancia magnética cardíaca requiere equipos especializados y personal capacitado, lo que no siempre está disponible en todos los centros médicos, especialmente en regiones con recursos limitados. Esto puede retrasar el diagnóstico y tratamiento oportunos de las miocardiopatías (15).

Además, el costo asociado con la imagen por resonancia magnética es considerablemente alto en comparación con otros métodos de imagen, como el ecocardiograma. Esto puede limitar su uso en ciertas poblaciones o sistemas de salud con

restricciones presupuestarias. La necesidad de justificar el costo-beneficio de la imagen por resonancia magnética en cada caso clínico sigue siendo un tema de debate (15).

Otro aspecto a considerar es la duración del procedimiento. Las sesiones de imagen por resonancia magnética pueden ser prolongadas, lo que puede resultar incómodo para algunos pacientes y puede no ser viable para aquellos con condiciones que dificultan permanecer inmóviles durante largos períodos. Asimismo, la claustrofobia es un problema común que puede impedir que algunos pacientes se sometan a este tipo de estudios (16).

La imagen por resonancia magnética también presenta limitaciones técnicas. Por ejemplo, la presencia de dispositivos metálicos o electrónicos implantados en el cuerpo del paciente, como marcapasos o desfibriladores, puede ser una contraindicación para realizar una imagen por resonancia magnética debido al riesgo de interferencia o daño al dispositivo. Aunque se están desarrollando dispositivos compatibles con imagen por resonancia magnética, la implementación generalizada aún está en progreso (16).

En cuanto a la interpretación de los resultados, se requiere un alto nivel de experiencia y especialización para analizar las imágenes obtenidas. La variabilidad en la interpretación puede llevar a diagnósticos erróneos si no se cuenta con personal adecuadamente entrenado (16).

Finalmente, existen limitaciones en la resolución temporal y espacial de la imagen por resonancia magnética que pueden afectar su capacidad para detectar ciertas anomalías sutiles en el miocardio. Aunque las técnicas avanzadas están mejorando continuamente estas capacidades, aún queda camino por recorrer para optimizar la precisión diagnóstica (16).

CONCLUSIÓN

La imagen por resonancia magnética se ha consolidado como una herramienta esencial en el diagnóstico y manejo de las miocardiopatías, ofreciendo una visión detallada y precisa del corazón que otros métodos no pueden proporcionar. Su capacidad para diferenciar tejidos, evaluar la función cardíaca y detectar fibrosis o inflamación la convierte en un recurso invaluable para los cardiólogos. En el contexto de las miocardiopatías, la imagen por resonancia magnética no solo facilita un diagnóstico más certero, sino que también permite una mejor estratificación del riesgo y una planificación más adecuada del tratamiento. Las características avanzadas de esta técnica, como el mapeo T1 y T2 y la evaluación del realce tardío con gadolinio, aportan información crítica sobre la composición tisular y la viabilidad miocárdica. Además, la imagen por resonancia magnética es fundamental para el seguimiento longitudinal de los pacientes, permitiendo evaluar la progresión de la enfermedad y la respuesta a las intervenciones terapéuticas. Sin embargo, es importante considerar sus limitaciones, como la disponibilidad, el costo y las contraindicaciones en ciertos pacientes. En conclusión, la resonancia magnética cardíaca se erige como el estándar de oro en el diagnóstico de miocardiopatías, impulsando avances significativos en nuestra comprensión y tratamiento de estas complejas enfermedades cardíacas.

REFERENCIAS

1. Minhas AS, Oliver R. Magnetic Resonance Imaging Basics. *Adv Exp Med Biol.* 2022;1380:47-82. doi: 10.1007/978-3-031-03873-0_3.
2. Azhar S, Chong LR. Clinician's guide to the basic principles of MRI. *Postgrad Med J.* 2023 Jul 21;99(1174):894-903. doi: 10.1136/pmj-2022-141998.
3. Śpiewak M, Kłopotowski M, Ojrzyska N, Petryka J, Miłosz B, et al. Impact of cardiac magnetic resonance on the diagnosis of hypertrophic cardiomyopathy - a 10-year experience with over 1000 patients. *Eur Radiol.* 2021 Mar;31(3):1194-1205. doi: 10.1007/s00330-020-07207-8.
4. Lahoti N, Jabbour RJ, Ariff B, Wang BX. Cardiac MRI in cardiomyopathies. *Future Cardiol.* 2022 Jan;18(1):51-65. doi: 10.2217/fca-2020-0233.
5. Singh RP, Singh P, Kler TS, Sharma SM. Diagnostic Value of Cardiac Magnetic Resonance Imaging (CMRI) in the Evaluation of Arrhythmia and Cardiomyopathy. *Cureus.* 2024 Oct 30;16(10):e72675. doi: 10.7759/cureus.72675.
6. Guo R, Weingärtner S, Šiurytė P, T Stoeck C, Fütterer M, et al. Emerging Techniques in Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *J Magn Reson Imaging.* 2022 Apr;55(4):1043-1059. doi: 10.1002/jmri.27848.
7. Rajiah PS, François CJ, Leiner T. Cardiac MRI: State of the Art. *Radiology.* 2023 May;307(3):e223008. doi: 10.1148/radiol.223008.
8. Jiang M, Lu M, Zhao S. Cardiac Functional Assessment by Magnetic Resonance Imaging. *Cardiol Discov.* 2024 Dec;4(4):284-299. doi: 10.1097/CD9.000000000000141.
9. Sciafani M, Perrotti C, Salerno L, Muthukkattil ML, Lustrì C, et al. Imaging myocardial scar in hypertrophic cardiomyopathy: advances in CMR and CT. *Front Cardiovasc Med.* 2025 Sep 18;12:1649728. doi: 10.3389/fcvm.2025.1649728.

10. Rodríguez TS, Rosales SG, Kimura E, Hernández P, Mercado P, et al. Myocardial fibrosis detected by magnetic resonance imaging, elevated U-CRP and higher mRSS are predictors of cardiovascular complications in systemic sclerosis (SSc) patients. *Semin Arthritis Rheum*. 2019 Oct;49(2):273-278. doi: 10.1016/j.semarthrit.2019.02.005.
11. Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, et al. Cardiovascular magnetic resonance in nonischemic myocardial inflammation: Expert recommendations. *J Am Coll Cardiol*. 2018;72(24):3158-3176. doi:10.1016/j.jacc.2018.09.072
12. Lurz P, Luecke C, Eitel I, et al. Comprehensive cardiac magnetic resonance imaging in patients with suspected myocarditis: The MyoRacer-Trial. *J Am Coll Cardiol*. 2016;67(15):1800-1811. doi:10.1016/j.jacc.2016.02.013
13. Puntmann VO, Carr-White G, Jabbour A, et al. Native T1 and ECV of noninfarcted myocardium and outcome in patients with coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol*. 2018;72(9):968-978. doi:10.1016/j.jacc.2018.06.046
14. Krittayaphong R, Songsangjinda T, Kaolawanich Y, Jirataiporn K, Yindeengam A. Prevalence and prognosis of non-dilated left ventricular cardiomyopathy in patients referred for cardiac magnetic resonance. *Eur Radiol*. 2026 Apr;36(4):3066-3078. doi: 10.1007/s00330-025-12072-4.
15. Dhore-Patil A, Modi V, Gabr EM, Bersali A, Darwish A, Shah D. Cardiac magnetic resonance findings in cardiac amyloidosis. *Curr Opin Cardiol*. 2024 Sep 1;39(5):395-406. doi: 10.1097/HCO.0000000000001166.
16. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, et al. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols, society for cardiovascular magnetic resonance: Board of trustees task force on standardized protocols. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2020;22(1):17. doi:10.1186/s12968-020-00609-w