

Registro Nacional Argentino de Resonancia Cardíaca (RENAREC)

Argentine National Cardiac Magnetic Resonance Imaging Registry (RENAREC)

SANTIAGO L. DEL CASTILLO^{1*}, GUILLERMO JAIMOVICH², LUCIANO DESTEFANO³, MACARENA DE ZAN⁴, AGUSTINA SCIANCALEPORE⁵, PAZ RICAPITO⁵, JORGE CASAS⁶, FEDERICO CINTORA⁷, MARIANO ESTOFAN⁸, EN REPRESENTACIÓN DEL CONSEJO DE TOMOGRAFÍA COMPUTADA Y RESONANCIA CARDÍACA, SOCIEDAD ARGENTINA DE CARDIOLOGÍA

RESUMEN

Introducción: La utilidad de la resonancia magnética cardíaca (RMC) ha crecido ampliamente en los últimos años, en los cuales se han publicado distintos registros internacionales sobre su uso e impacto clínico. Sin embargo, no contamos con este tipo de información en Argentina.

Objetivo: Evaluar indicaciones, protocolos utilizados, seguridad y consecuencias terapéuticas de la RMC en la República Argentina.

Material y métodos: Se diseñó un registro prospectivo a nivel nacional con recolección de datos demográficos, indicaciones de RMC, complicaciones asociadas, diagnósticos y consecuencias terapéuticas.

Resultados: Participaron 34 centros de 10 provincias de Argentina (85% centros privados, 59% centros con internación). Se incluyeron 1131 pacientes (edad 54 ± 18 años, 61% varones). Las principales indicaciones para el estudio de RMC fueron la miocardiopatía hipertrófica (13,9%) y la arritmia ventricular (12,3%). El 99,7% de los estudios fueron reportados sin complicaciones. Los resultados más frecuentes de la RMC fueron: normal (31,2%), miocardiopatía no isquémica (14,7%), miocardiopatía isquémico-necrótica (11,6%) y miocardiopatía hipertrófica (8,9%). La sospecha clínica fue confirmada en el 23,6% de los casos y la RMC generó un diagnóstico nuevo no sospechado en el 48,7% de los casos. Las consecuencias terapéuticas más frecuentes fueron el alta hospitalaria (31,6%) seguida por el cambio en la medicación (28,1%).

Conclusiones: La RMC es un estudio ampliamente utilizado en Argentina, principalmente en centros privados, con un número muy bajo de complicaciones. Las principales indicaciones son las miocardiopatías (hipertrófica y dilatada) y la arritmia ventricular, y provee un diagnóstico nuevo no sospechado en casi la mitad de los casos. Se requieren de otros estudios en el futuro para evaluar las implicancias clínicas y terapéuticas.

Palabras clave: Resonancia magnética cardíaca - Implicancias terapéuticas - Miocardiopatías - Registros - Argentina

ABSTRACT

Background: The usefulness of cardiac magnetic resonance imaging (MRI) has greatly increased in the last years. Different international registries have been published on its use; however, there is no data available from Argentina.

Objective: The aim of this study was to evaluate different indications, protocols, safety and therapeutic consequences of cardiac MRI in Argentina.

Methods: A prospective national registry was designed with collection of demographic data, indications for cardiac MRI, associated complications, diagnoses and therapeutic consequences.

Results: A total of 34 centers from 10 provinces of Argentina (85% private and 59% with inpatient capacity) participated in the study, including 1131 patients (mean age 54 ± 18 years and 61% males). The main indications for cardiac MRI were hypertrophic cardiomyopathy (13.9%), and ventricular arrhythmia (12.3%). In 99.7% of cases, no study complications were reported. The most frequent results of cardiac MRI were: normal (31.2%), non-ischemic cardiomyopathy (14.7%), ischemic-necrotic cardiomyopathy (11.6%) and hypertrophic cardiomyopathy (8.9%). Clinical suspicion was confirmed in 23.6% of cases and cardiac MRI generated an unsuspected new diagnosis in 48.7% of cases. The main therapeutic consequences were hospital discharge (31.6%) followed by change in medication (28.1%).

Conclusions: Cardiac MRI is widely used in Argentina, mainly in private centers with a very low incidence of complications. Cardiomyopathies (hypertrophic and dilated) and ventricular arrhythmia are its main indication, and it provides a new unsuspected diagnosis in almost half of the cases. Further studies are required to assess its clinical and therapeutic impact.

Key words: Cardiovascular Magnetic Resonance - Therapeutic implications - Cardiomyopathies - Registries - Argentina

REV ARGENT CARDIOL 2022;90:250-256. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v90.i4.20535>

VER ARTÍCULO RELACIONADO Rev Argent Cardiol 2022;90:248-249. <http://dx.doi.org/10.7775/rac.es.v90.i4.20550>

Recibido: 18/05/2022 - Aceptado: 08/07/2022

Dirección para separatas: Santiago del Castillo - E- Mail: santiago.delcastillo@hospitalitaliano.org.ar - Tte Gral J. D.Perón 4190 - C1199ABB - Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Argentina

¹ Servicio de Cardiología, sección imágenes cardiovasculares, Hospital Italiano de Buenos Aires. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

² Fundación Científica del Sur, Provincia de Buenos Aires.

³ Servicio de Cardiología, Instituto cardiovascular San Isidro, Sanatorio Las Lomas, Provincia de Buenos Aires Argentina.

⁴ Instituto de Diagnóstico Maipú, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

⁵ Servicio de Cardiología, sección imágenes cardiovasculares, Instituto Cardiovascular de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

⁶ INOVA Diagnóstico, Bahía Blanca, Provincia de Buenos Aires.

⁷ Instituto de Imágenes de Alta Complejidad, Sanatorio Junín, Provincia de Buenos Aires.

⁸ Sanatorio 9 de Julio, San Miguel de Tucumán, Provincia de Tucumán.

INTRODUCCIÓN

La utilidad del estudio de resonancia magnética cardíaca (RMC) ha crecido ampliamente en los últimos años, y hoy en día forma parte de los estudios de rutina de numerosas patologías cardiovasculares con un impacto creciente en la toma de decisiones clínicas. (1,2) Las guías actuales para el manejo de pacientes con insuficiencia cardíaca aguda y crónica sugieren su utilización en aquellos pacientes con inadecuada ventana acústica (recomendación IC), frente a la sospecha de miocardiopatías infiltrativas (IC) y para distinguir origen isquémico o no isquémico de las miocardiopatías dilatadas (IIA).(3,4) Asimismo se considera el estándar de oro para la estimación de volúmenes y función ventricular y gracias a su capacidad de caracterizar el miocardio aporta información trascendental sobre la etiología y el pronóstico de las distintas miocardiopatías. (5)

En los últimos años han sido publicados diversos registros internacionales que permitieron conocer las distintas indicaciones, calidad e impacto clínico de los estudios de RMN cardíaca en Europa y Estados Unidos, pero no disponemos de estos datos en países en vías de desarrollo. (6,7)

Conocer el estado actual de la RMN cardíaca en las distintas instituciones de nuestro país resulta fundamental a la hora de desarrollar protocolos estandarizados y seguros, futuros proyectos de investigación y planificación de recursos.

Por esta razón consideramos necesaria la creación de un registro nacional de RMN cardíaca, que nos brinde información sobre los distintos protocolos utilizados, complicaciones, indicaciones e impacto clínico en distintos centros a nivel nacional. Con este fundamento, desde la Sociedad Argentina de Cardiología se llevó a cabo el Registro Nacional Argentino de Resonancia Cardíaca (RENAREC).

MATERIAL Y MÉTODOS

Se diseñó un registro prospectivo invitando a todos los profesionales y centros del país desde el consejo de Tomografía computada y Resonancia magnética cardíaca de la Sociedad Argentina de Cardiología. Se registraron pacientes consecutivos que concurrieran a cualquiera de los centros que aceptaron participar y fueran aprobados por el comité ejecutivo del registro, y prestaran consentimiento. El protocolo del estudio fue aprobado por el comité de ética de la Sociedad Argentina de Cardiología y anotado en el registro centralizado de proyectos de investigación de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Se relevaron los datos de interés y los mismos fueron enviados por plataforma digital a un *core* central de análisis junto con el consentimiento informado. Cada médico que realizó la RMC fue el encargado de llenar los formularios de cada estudio. Las variables relevadas fueron: datos demográficos, indicación del estudio, tipo de resonador utilizado, secuencias utilizadas, complicaciones del estudio, diagnósticos a los que se arribó e implicaciones sobre el tratamiento del paciente.

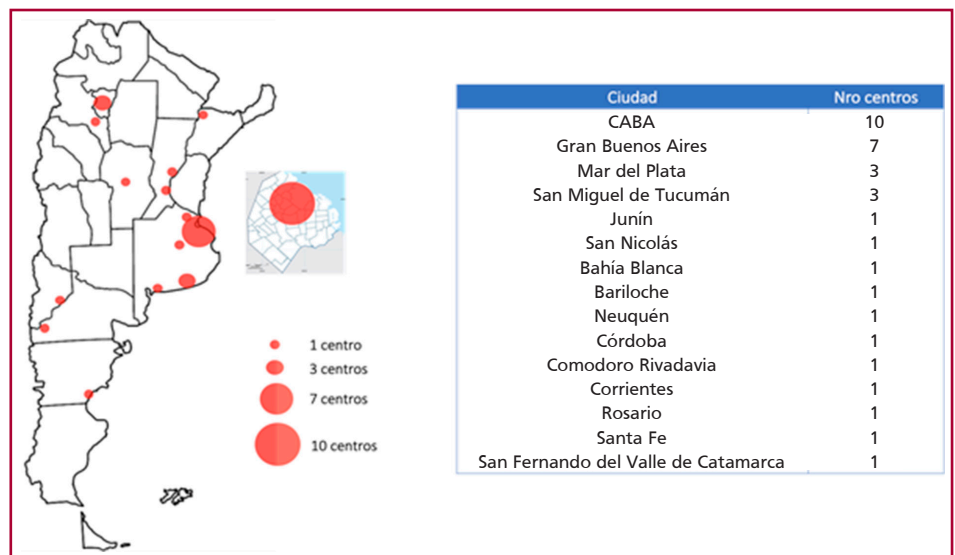
Análisis estadístico

Las variables continuas se presentaron como media y desviación estándar o mediana y rango intercuartilo según la distribución observada, y se compararon con test de t o test de Wilcoxon según correspondiera. Las variables categóricas se expresaron como frecuencias y porcentajes, y se compararon con test de chi cuadrado o Fisher según el caso. Se consideró significación estadística a un valor de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Entre agosto de 2018 y enero de 2020 se incluyeron un total de 1131 estudios en 34 centros participantes distribuidos en 10 provincias de la República Argentina. La Figura 1 resume la distribución geográfica de los centros participantes del registro. El 50% correspondieron al área metropolitana de Buenos Aires (10 centros en Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 7 centros en

Fig. 1. Representación geográfica de los centros participantes. Se incluyeron 34 centros a lo largo de 10 provincias de la República Argentina



CABA: Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

el Gran Buenos Aires). Por otra parte, se registraron 3 centros en la provincia de Tucumán, 2 en Santa Fe, 1 en las provincias de Neuquén, Río Negro, Córdoba, Chubut, Corrientes y Catamarca. Los centros involucrados, en su gran mayoría fueron del ámbito privado (85%), y en contaban con solo un equipo de resonancia cardíaca el 74%.

Con respecto al tipo de instituciones, el 59% fueron centros con internación y el 41% restante centros ambulatorios de diagnóstico. Los equipos utilizados fueron en el 97,3% de los casos de 1,5 Tesla y en los restantes de 3 Tesla.

La edad media de los pacientes incluidos fue de 54 ± 18 años y un 61% fueron de sexo masculino. Los motivos de solicitud principal del estudio más frecuentes fueron miocardiopatía hipertrófica (13,9%), arritmia ventricular (12,3%), miocardiopatía dilatada (9%), deterioro de la función sistólica de ventrículo izquierdo (7,3%), cardiopatías congénitas (5,6%), valvulopatías (5,2%) y otros. (Tabla 1 y Figura 2).

El estudio de RMC se pudo completar en el 98% de los casos, y se registraron eventos adversos sólo en el 0,3% de los casos: un paciente presentó disnea por dipiridamol y dos pacientes presentaron efectos adversos en relación a la administración de gadolinio, uno de ellos con alergia menor (*rash*) y el otro shock anafiláctico.

Respecto a la calidad del estudio, se han reportado en el 91,8% de los casos buena calidad de las imágenes obtenidas, y solo 0,2% de los estudios se consideraron no informables. Los principales motivos de la mala calidad de imagen fueron la presencia de arritmia (54,4%) y dificultad en sostener las apneas (42,3%). La gran mayoría de los estudios (82%) se realizaron con un tiempo de adquisición entre 30-60 minutos y solo en el 10,1% de los casos la adquisición se realizó en más de 60 minutos. (Tabla 2)

Las secuencias utilizadas variaron según el motivo del estudio siendo las más frecuentes las secuencias de cine (98,5%) y realce tardío de gadolinio (89,3%) y las menos frecuentes la perfusión bajo apremio farmacológico (5%) y las secuencias de *tagging* (4,4%).

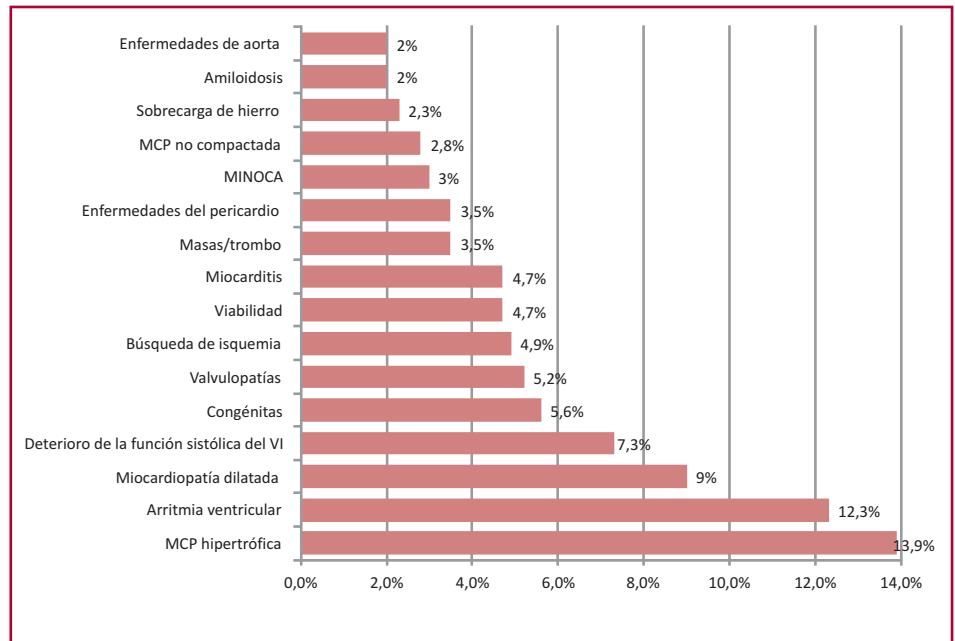
De los estudios realizados, 31,2% fueron informados normales; las patologías más prevalentes en los diagnósticos principales fueron miocardiopatía dilatada no isquémica: 14,7%, miocardiopatía isquémico-necrótica: 11,6%, miocardiopatía hipertrófica: 8,9% y valvulopatías: 5,8%. (Tabla 2) El estudio sirvió para confirmar el diagnóstico de sospecha en un 23,6%, no se logró confirmar el mismo en el 70%, y se desconoce en el 6,4% debido a la ambigüedad del diagnóstico en su solicitud. Por su parte, la RMC generó un diagnóstico relevante no sospechado en el 48,7% de los casos. No obstante, en el 75,7% de ellos no se contó con la información sobre si el resultado de la RMN generó cambios en la conducta terapéutica. En aquellos casos donde sí se contó con dicha información (24,3%, $n = 275$), las implicancias terapéuticas más frecuentes fueron que motivó el alta hospitalaria (31,6%), provocó un cambio en la medica-

Tabla 1. Características basales de la población, tipo de equipos utilizados y principales indicaciones del estudio de resonancia magnética cardíaca. ($n = 1131$)

Edad años (media, DS)	54±18
Sexo masculino, n (%)	691 (61,1)
Superficie corporal, m ² (media, DS)	1,9±0,2
Pedido completo, n (%)	1067 (94,4)
Equipo utilizado, n (%)	
1.5 T	1100 (97,3)
3T	31 (2,7)
Marca del equipo n (%)	
Siemens	567 (50,2)
Phillips	397 (35,1)
General electric	152 (13,5)
Toshiba	14 (1,2)
Motivo del estudio, n (%)	
MCP Hipertrófica	157 (13,9)
Arritmia ventricular	139 (12,3)
MCP dilatada	101 (9)
Deterioro de la función sistólica del VI	82 (7,3)
Congénitas	63 (5,6)
Valvulopatías	59 (5,2)
Búsqueda de isquemia	55 (4,9)
Viabilidad	53 (4,7)
Miocarditis	53 (4,7)
Masas/trombo	39 (3,5)
Enfermedades del pericardio	39 (3,5)
MINOCA	34 (3)
MCP no compactada	31 (2,8)
Sobrecarga de hierro	26 (2,3)
Amiloidosis	23 (2)
Enfermedades de aorta	23 (2)
Infarto agudo	16 (1,4)
BCRI	13 (1,2)
Displasia arritmogénica	9 (0,8)
Chagas	6 (0,5)
Disfunción por quimioterapia	6 (0,5)
Anatomía de venas pulmonares/FA	5 (0,4)
MCP por colagenopatías	4 (0,4)
Sarcoidosis	1 (0,1)
Otro	90 (8)

DS: desviación estándar T: Tesla, MCP: miocardiopatía, VI: ventrículo izquierdo, MINOCA: infarto sin obstrucción coronaria, BCRI: bloqueo completo de rama izquierda, FA: Fibrilación auricular

ción (28,1%), motivó un seguimiento cercano (18,9%) y evitó un procedimiento invasivo (12,7%).

Fig. 2. Principales indicaciones del estudio de RMC

MCP: miocardiopatía, MINOCA: infarto sin obstrucción coronaria, VI: ventrículo izquierdo.

DISCUSIÓN

Este es el primer registro que muestra los resultados de los estudios de RMC realizados en distintos centros de la República Argentina representando esta práctica en nuestro país. En primer lugar, se resalta el grado de representación a nivel nacional ya que participaron distintos centros a lo largo de 10 provincias del país. La gran mayoría de ellos fueron centros privados (85%), lo que podría interferir con el acceso a este estudio de alta complejidad para aquellos pacientes que no poseen cobertura social y son atendidos en centros de salud pública. También resulta interesante el hecho de que el 41% de los centros que participaron eran exclusivamente de diagnóstico ambulatorio. Casi la totalidad de los equipos utilizados fueron de 1,5 Tesla (97,3%) acorde a lo observado en otros registros internacionales (6,7) La totalidad de los estudios fueron realizados por especialistas en cardiología, pero ese dato no parece representativo ya que existe el sesgo por tratarse de un estudio impulsado y llevado a cabo por la Sociedad Argentina de Cardiología.

Los principales motivos de solicitud de la RMC fueron las miocardiopatías y la arritmia ventricular, y fue infrecuente la búsqueda de isquemia (4,9%) mediante el estudio de RMC con apremio y técnica de perfusión. Al comparar estos hallazgos con otros registros internacionales se encuentra la principal diferencia en este punto, ya que la búsqueda de isquemia fue la primera indicación de RMC en el EuroCMR registry (n=27 781) y la segunda en el Global SCMR registry (n=62 456). (5,6) (Figura 3)

En las últimas guías de manejo de dolor torácico, el apremio con RMC para búsqueda de isquemia se encuentra con el mismo nivel de recomendación que el ecocardiograma stress, tomografía computarizada por emisión de fotón único (SPECT) y tomografía por emisión de positrones (PET) para pacientes de riesgo isquémico intermedio y sin lesiones coronarias conocidas en el escenario agudo (recomendación IB), y para pacientes con dolor crónico de riesgo intermedio-alto sin lesiones coronarias conocidas, tanto para diagnóstico de enfermedad coronaria como para la estratificación del riesgo de eventos cardiovasculares mayores (recomendación IB). (8) Teniendo en cuenta que la RMC con dobutamina ha demostrado tener mayor exactitud diagnóstica que el ecoestrés con dobutamina, y ser un procedimiento seguro, creemos que los costos y la imposibilidad de realizar el apremio con ejercicio son las principales limitantes para solicitarla. (9-12) Es de esperar el crecimiento de este método para búsqueda de isquemia en los próximos años.

Las complicaciones asociadas al estudio de RMC fueron realmente infrecuentes (0,3%) y solo un paciente (0,08%) presentó un efecto adverso grave asociado a la administración de gadolinio. Si bien en nuestro estudio no contamos con el tipo de gadolinio utilizado, estos hallazgos concuerdan con los datos de seguridad de los agentes de contraste con gadolinio observados en registros internacionales de grandes dimensiones. (13-18)

En la mayoría de los casos, los médicos que realizaron el estudio interpretaron la calidad de las

Tabla 2. Efectos adversos, calidad y principales diagnósticos del estudio de RMC. (n = 1131)

Completó estudio, n (%)	
No	23 (2)
Si	1108 (98)
Efectos adversos n (%)	
No presentó	1016 (89,8)
Alergia menor (Rash cutáneo)	1 (0,1)
Alergia mayor (Shock)	1 (0,1)
Disnea por Dipiridamol	1 (0,1)
No aplica (estudio sin contraste)	112 (9,9)
Calidad del estudio, n (%)	
Buena	1038 (91,8)
Regular	91 (8)
No informable	2 (0,2)
Motivo de mala calidad, n (%)	
Arritmia	49/90 (54,4)
Imposibilidad de apnea	38/90 (42,3)
Mala inversión RTG	2/90 (2,2)
Artificio metálico	1/90 (1,1)
Diagnóstico RMC, n (%)	
Estudio normal	349 (31,2)
Miocardiopatía NO isquémico-necrótica	167 (14,7)
Miocardiopatía isquémico-necrótica	130 (11,6)
Miocardiopatía hipertrófica	100 (8,9)
Valvulopatía	66 (5,8)
Enfermedad congénita	53 (4,7)
Secuela de miocarditis	46 (4,1)
Enfermedad pericárdica	38 (3,4)
Enfermedad de aorta	32 (2,9)
Amiloidosis	21 (1,9)
Miocarditis aguda	19 (1,6)
Miocardiopatía no compactada	17 (1,5)
Tumor 1 rto.	14 (1,3)
Displasia arritmogénica	8 (0,7)
Trombo en VI	7 (0,6)
Otros	48 (5,1)

RTG: realce tardío de gadolinio; RMC: resonancia magnética cardíaca, VI: ventrículo izquierdo

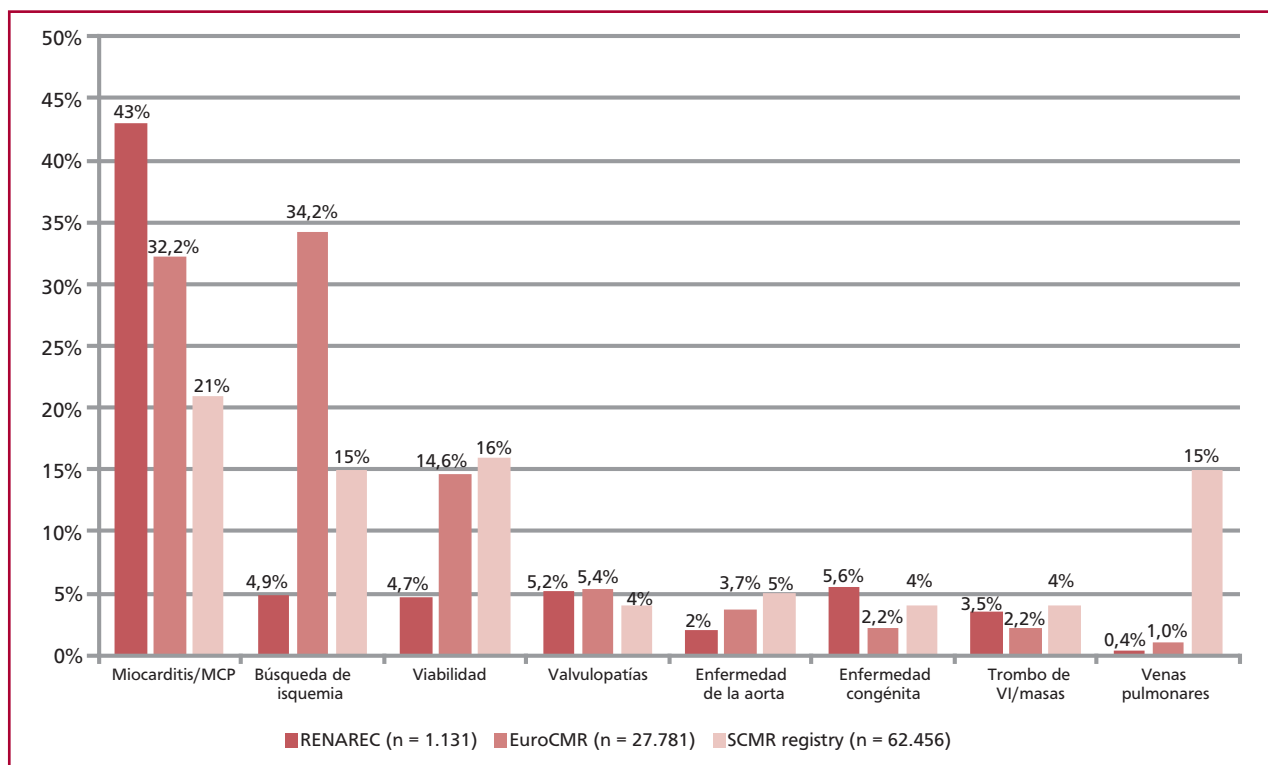
imágenes como buena (91,8%) y sólo en el 0,2% no se logró informar el estudio debido a la mala calidad en

la adquisición. Las dos principales causas fueron la presencia marcada de arritmia y la imposibilidad de apnea. Nuevas tecnologías en las secuencias y nuevos protocolos deberían ir en el sentido de la resolución de esta problemática. Por otro lado, la mayor parte de los estudios demandó un tiempo de adquisición entre 30-60 minutos. La guía actual de protocolos de adquisición de RMC publicada apenas unos meses después del cierre de este registro incluye protocolos de adquisición rápidos para seguimiento en determinados escenarios clínicos como MCP hipertensiva o hipertrófica, viabilidad y cardiotoxicidad.(19,20) Sin duda la incorporación de este tipo de protocolos a la práctica clínica va a disminuir los tiempos de adquisición en los próximos años.

La RMC arrojó un diagnóstico nuevo no sospechado en casi la mitad de los estudios (48,7%). Dada la gran cantidad de estudios realizados en centros de diagnóstico ambulatorio resulta lógico entender que en más del 75% de los casos no contamos con información sobre el impacto clínico que tuvo el resultado del estudio de RMC. Sin embargo, es muy interesante resaltar los datos de aquellos estudios que sí se pudieron relevar (24,3%, n=275). El principal cambio terapéutico de la RMC fue que motivó el alta hospitalaria en un 31,6% de los casos, generó un cambio en la medicación en el 28,1% y motivó un seguimiento cercano en el 18,9%. También es destacable que la RMC evitó un procedimiento invasivo en el 12,7% de los casos. Estos datos se asemejan al EuroCMR Registry principalmente en lo que respecta al cambio de medicación observado en dicho registro (25%). Una de las principales diferencias la encontramos en que la RMC motivó un procedimiento invasivo en el 16% de los casos en el registro europeo, mientras que solo lo hizo en el 4% de nuestros estudios, diferencia que probablemente se explique por la elevada indicación de la RMC para la búsqueda de isquemia en Europa.(6,7)

CONCLUSIONES

La RMC es un estudio difundido a nivel nacional en la República Argentina principalmente en medios de salud privados. Es una técnica segura con un número muy bajo de complicaciones. La principal indicación fue el estudio de miocardiopatías y arritmia ventricular y en cerca de la mitad de los casos arrojó un diagnóstico nuevo no sospechado. Se requieren de otros estudios en el futuro para evaluar las implicancias clínicas y terapéuticas.



MCP: miocardiopatía, VI: ventrículo izquierdo

Fig. 3. Comparación entre indicaciones de RMC de RENAREC y los registros EuroCMR y SCMR.(5,6)

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran que no poseen conflictos de intereses.

(Véase formulario de conflicto de intereses de los autores en la web / Material suplementario).

Financiamiento

Esta investigación no recibió ninguna subvención económica como financiamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Kawel-Boehm N, Hetzel SJ, Ambale-Venkatesh B, Captur G, Francois CJ, Jerosch-Herold M, et al. Reference ranges ("normal values") for cardiovascular magnetic resonance (CMR) in adults and children: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 2020;22:87. <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00683-3>. Erratum in: *J Cardiovasc Magn Reson* 2021;23:114.
- Abbasi SA, Ertel A, Shah RV, Dandekar V, Chung J, Bhat G, et al. Impact of cardiovascular magnetic resonance on management and clinical decision-making in heart failure patients. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013;15:89. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-15-89>.
- McDonagh TA, Metra M, Adamo M, Gardner RS, Baumbach A, Böhm M, et al. 2021 ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J* 2021;42:3599-726. <https://doi.org/>
- Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, et al. 2022 AHA/ACC/HFSA Guideline for the Management of Heart Failure: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *Circulation* 2022;145:e895-e1032. <https://doi.org/10.1161/CIR.0000000000001063>.

- Patel AR, Kramer CM. Role of Cardiac Magnetic Resonance in the Diagnosis and Prognosis of Nonischemic Cardiomyopathy. *JACC Cardiovasc Imaging* 2017;10:1180-93. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2017.08.005>.
- Global Cardiovascular Magnetic Resonance Registry (GCMR) Investigators, Kwong RY, Petersen SE, Schulz-Menger J, Arai AE, Bingham SE, Chen Y, et al. The global cardiovascular magnetic resonance registry (GCMR) of the society for cardiovascular magnetic resonance (SCMR): its goals, rationale, data infrastructure, and current developments. *J Cardiovasc Magn Reson* 2017;19:23. <https://doi.org/10.1186/s12968-016-0321-7>.
- Bruder O, Wagner A, Lombardi M, Schwitter J, van Rossum A, Pilz G, et al. European cardiovascular magnetic resonance (EuroCMR) registry – multi national results from 57 centers in 15 countries. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013;15:9. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-15-9>.
- Writing Committee Members, Gulati M, Levy PD, Mukherjee D, Amsterdam E, Bhatt DL, et al. 2021 AHA/ACC/ASE/CHEST/SAEM/SCCT/SCMR Guideline for the Evaluation and Diagnosis of Chest Pain: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2021;78:2218-61. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.07.052>
- Gaemperli O, Kaufmann PA. PET and PET/CT in cardiovascular disease. *Ann N Y Acad Sci* 2011;1228:109-36. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06030.x>.
- Nagel E, Lehmkühl HB, Bocksch W, Klein C, Vogel U, Frantz E, et al. Noninvasive diagnosis of ischemia-induced wall motion abnormalities with the use of high-dose dobutamine stress MRI: comparison with dobutamine stress echocardiography. *Circulation* 1999;99:763-70. <https://doi.org/10.1161/01.cir.99.6.763>.
- Wahl A, Paetsch I, Gollesch A, Roethemeyer S, Foell D, Gebker

- R, et al. Safety and feasibility of high-dose dobutamine-atropine stress cardiovascular magnetic resonance for diagnosis of myocardial ischaemia: experience in 1000 consecutive cases. *Eur Heart J* 2004;25:1230–6. <https://doi.org/10.1016/j.ehj.2003.11.018>
12. Hendel RC, Friedrich MG, Schulz-Menger J, Zemmrich C, Bengel F, Berman DS, et al. CMR First-Pass Perfusion for Suspected Inducible Myocardial Ischemia. *JACC Cardiovasc Imaging* 2016;9:1338–48. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.09.010>
13. Bruder O, Schneider S, Pilz G, van Rossum AC, Schwitter J, Nothnagel D, et al. 2015 Update on Acute Adverse Reactions to Gadolinium based Contrast Agents in Cardiovascular MR. Large Multi-National and Multi-Ethnic Population Experience With 37788 Patients From the EuroCMR Registry. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2015;17:58. <https://doi.org/10.1186/s12968-015-0168-3>
14. Uhlig J, Lücke C, Vliegenthart R, Loewe C, Grothoff M, Schuster A, et al. Acute adverse events in cardiac MR imaging with gadolinium-based contrast agents: results from the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR) MRCT Registry in 72,839 patients. *Eur Radiol* 2019;29:3686–95. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06171-2>
15. Wagner A, Bruder O, Schneider S, Nothnagel D, Buser P, Pons-Lado G, et al. Current variables, definitions and endpoints of the European Cardiovascular Magnetic Resonance Registry. *J Cardiovasc Magn Reson* 2009;11:43. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-11-43>
16. Bruder O, Schneider S, Nothnagel D, Pilz G, Lombardi M, Sinha A, et al. Acute adverse reactions to gadolinium-based contrast agents in CMR: multicenter experience with 17,767 patients from the EuroCMR Registry. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011;4:1171–6. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2011.06.019>
17. Prince MR, Zhang H, Zou Z, Staron RB, Brill PW. Incidence of immediate gadolinium contrast media reactions. *AJR Am J Roentgenol* 2011 Feb;196:W138–43. <https://doi.org/10.2214/AJR.10.4885>
18. Hunt CH, Hartman RP, Hesley GK. Frequency and severity of adverse effects of iodinated and gadolinium contrast materials: retrospective review of 456,930 doses. *AJR Am J Roentgenol* 2009;193:1124–7. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.2520>
19. Kramer CM, Barkhausen J, Bucciarelli-Ducci C, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 2020;22:17. <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00607-1>
20. Menacho Medina K, Seraphim A, Katekaru D, Abdel-Gadir A, Han Y, Westwood M, et al. Noninvasive rapid cardiac magnetic resonance for the assessment of cardiomyopathies in low-middle income countries. *Expert Rev Cardiovasc Ther* 2021;19:387–98. <https://doi.org/10.1080/14779072.2021.1915130>