

Viabilidad miocárdica evaluada mediante resonancia cardíaca

Diego Maximiliano Lowenstein Haber
Rosina Arbucci 
Andrea Alvarenga 

Correspondencia

Diego Maximiliano Lowenstein Haber
lowediego@hotmail.com

¹Centro Diagnóstico de Bioimágenes. Lanus, Buenos Aires, Argentina. Hospital de Alta Complejidad "Pte. Juan Domingo Perón". Formosa, Argentina

²Centro Diagnóstico de Bioimágenes. Lanus, Buenos Aires, Argentina.

³Hospital de Alta Complejidad "Pte. Juan Domingo Perón". Formosa, Argentina.

Recibido: 12/07/2024

Aceptado: 24/07/2024

Publicado: 31/08/2024

Citar como: Lowenstein Haber DM, Arbucci R, Alvarenga A. Viabilidad miocárdica evaluada mediante resonancia cardíaca. Ecocardiografía de ejercicio: Un protocolo en dos fases. Rev Ecocardiogr Pract Otras Tec Imag Card (RETIC). 2024 Ago; 7(2): 11-15. doi: <https://doi.org/10.37615/retic.v7n2a2>.

Cite this as: Lowenstein Haber DM, Arbucci R, Alvarenga A. Myocardial Viability Assessed by Cardiac Resonance Imaging. Rev Ecocardiogr Pract Otras Tec Imag Card (RETIC). 2024 Aug; 7(2): 11-15. doi: <https://doi.org/10.37615/retic.v7n2a2>.

Palabras clave

- ▷ Resonancia magnética cardíaca.
- ▷ Viabilidad miocárdica.
- ▷ Realce tardío con gadolinio.
- ▷ Enfermedad coronaria.
- ▷ Disfunción ventricular izquierda

Keywords

- ▷ Cardiac magnetic resonance imaging.
- ▷ Myocardial viability.
- ▷ Late gadolinium enhancement.
- ▷ Coronary artery disease.
- ▷ Left ventricular dysfunction

RESUMEN

La resonancia magnética cardíaca (RMC) con realce tardío de gadolinio es una técnica avanzada para evaluar la viabilidad miocárdica, esencial para la toma de decisiones sobre la revascularización en pacientes con enfermedad coronaria y disfunción ventricular izquierda. La RMC proporciona imágenes de alta resolución sin radiación ionizante, lo que la hace segura y repetible. Este artículo revisa la evolución de las técnicas de imagen para la evaluación de la viabilidad miocárdica, centrándose en la RMC y su capacidad para identificar el tejido miocárdico viable. Se discuten los fundamentos de la RMC, la importancia del gadolinio como agente de contraste y los criterios de transmuralidad de la fibrosis para determinar la viabilidad miocárdica. Además, se destacan estudios clave que han demostrado la precisión y relevancia clínica de la RMC en este contexto.

ABSTRACT

Cardiac magnetic resonance (CMR) with late gadolinium enhancement (LGE) is an advanced technique for assessing myocardial viability, essential for decision-making regarding revascularization in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction. CMR provides high-resolution images without ionizing radiation, making it safe and repeatable. This article reviews the evolution of imaging techniques for assessing myocardial viability, focusing on CMR and its ability to identify viable myocardial tissue. The fundamentals of CMR, the importance of gadolinium as a contrast agent, and the criteria for fibrosis transmural to determine myocardial viability are discussed. Additionally, key studies demonstrating the precision and clinical relevance of CMR in this context are highlighted.

Introducción

La enfermedad coronaria es la causa principal de insuficiencia cardíaca.

En estos pacientes, la disfunción sistólica resulta de la necrosis y el remodelado miocárdico, la hibernación miocárdica o el aturdimiento miocárdico repetitivo. Mientras que la necrosis miocárdica es irreversible, la disfunción sistólica por la hibernación y el aturdimiento representa estados potencialmente reversibles de disfunción ventricular.

Se estima que entre el 20% y el 40% de los pacientes con disfunción crónica del ventrículo izquierdo (VI) isquémico tienen el potencial de una mejoría significativa en la función del VI tras la revascularización⁽¹⁾.

La efectividad de la revascularización no solo depende de la presencia de un miocardio viable, sino también de su extensión y la rapidez en la que se realice la intervención. Para que ocurra la recuperación funcional y se obtenga un beneficio pronóstico de la revascularización, puede ser necesario un umbral crítico de masa de miocardio viable y el momento exacto para su realización.

La capacidad de identificar áreas del miocardio que pueden recuperar la función tras la revascularización es esencial para mejorar los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes. La resonancia magnética cardíaca (RMC) se ha consolidado como una herramienta potente y precisa en esta evaluación.

Este artículo revisa la evolución histórica de la evaluación de la viabilidad miocárdica, el desarrollo de la RMC como método principal y los estudios clínicos relevantes que han influido en la práctica clínica actual.

Viabilidad, atontamiento e hibernación miocárdicas

La **viabilidad miocárdica** se refiere a la capacidad del miocardio, disfuncional, para recuperar su función contráctil normal si se restaura adecuadamente el flujo sanguíneo mediante revascularización. En otras palabras, es el potencial del tejido miocárdico para mejorar su función después de una intervención como la angioplastia o el *bypass* coronario. La identificación de un miocardio viable es crucial para decidir el tratamiento en aquellos pacientes con enfermedad arterial coronaria y disfunción ventricular.

El **aturdimiento miocárdico** es una condición temporal en la que el miocardio experimenta una disfunción contráctil prolongada tras un episodio breve de isquemia severa, pero no lo suficientemente prolongada como para causar necrosis. A pesar de la restauración del flujo sanguíneo, el miocardio afectado no recupera inmediatamente su función, lo cual puede durar desde horas hasta semanas. Este fenómeno ocurre por daños reversibles en los mecanismos celulares responsables de la contracción, y no implica daño permanente al tejido miocárdico. La recuperación eventual de la función contráctil es característica del aturdimiento miocárdico.

La **hibernación miocárdica** es una condición crónica en la cual el miocardio reduce su actividad contráctil y su metabolismo como respuesta adaptativa a una disminución persistente del flujo sanguíneo por una enfermedad arterial coronaria. Esta reducción en la función contráctil es un mecanismo de protección que permite que el tejido sobreviva a pesar de la isquemia prolongada. El miocardio hibernado tiene el potencial de recuperar su función normal si se restaura adecuadamente el flujo sanguíneo mediante procedimientos de revascularización.

La hibernación miocárdica se diferencia del aturdimiento en que es una respuesta a una isquemia crónica y persistente, mientras que el aturdimiento es una respuesta a un episodio agudo y transitorio de isquemia.

Historia de la evaluación de la viabilidad miocárdica

Primeras observaciones y evolución de las técnicas de imagen

Las primeras técnicas para evaluar la viabilidad miocárdica se desarrollaron en la década de 1970 con el uso de la medicina nuclear, particularmente con el talio-201. Esta técnica permitía identificar miocardio viable mediante la evaluación de la captación del radioisótopo, sugiriendo áreas de isquemia reversible. Estudios pioneros, como el de Strauss y Pitt en 1972, demostraron que el talio-201 podía identificar áreas con potencial de recuperación funcional tras la revascularización⁽²⁾.

Décadas más tarde, otras modalidades de imagen, como la tomografía por emisión de positrones (PET) y la ecocardiografía con dobutamina, se incorporaron a la evaluación de la viabilidad miocárdica. La PET mostró una alta precisión en la detección de viabilidad a través del uso de trazadores metabólicos como el fluorodesoxiglucosa (FDG), y la ecocardiografía con dobutamina, con su patrón de respuesta bifásica, llevó la evaluación de viabilidad a un uso masivo con alta especificidad. Sin embargo, fue la introducción de la RMC en la década de 1990 lo que revolucionó este campo.

La RMC ofrece ventajas significativas sobre otras modalidades de imagen en términos de resolución y caracterización tisular. Sin embargo, su disponibilidad y costo pueden ser limitantes en algunos contextos clínicos. La PET, aunque

precisa, es menos accesible y más costosa. La ecocardiografía con dobutamina sigue siendo útil en entornos donde la RMC no está disponible, recordando que su sensibilidad no es la ideal⁽³⁾.

Resonancia magnética cardíaca (RMC) en la evaluación de la viabilidad miocárdica

Fundamentos de la RMC y uso de gadolinio

La RMC utiliza campos magnéticos y pulsos de radiofrecuencia para generar imágenes detalladas del miocardio. A diferencia de otras técnicas, la RMC no utiliza radiación ionizante, lo que la hace segura y repetible.

Su capacidad para proporcionar imágenes de alta resolución y su flexibilidad en la adquisición de diferentes tipos de imágenes la convierten en una herramienta superior para la evaluación de la viabilidad miocárdica.

El gadolinio es un agente de contraste paramagnético que, cuando se administra por vía intravenosa, se distribuye rápidamente en el espacio extracelular. Su comportamiento en el tejido miocárdico se basa en las diferencias en la permeabilidad capilar y la expansión del espacio extracelular, lo que permite la caracterización tisular detallada.

En el contexto de la necrosis miocárdica, el tejido afectado experimenta una serie de cambios estructurales y funcionales que alteran significativamente su arquitectura. La necrosis del tejido miocárdico conduce a la pérdida de la integridad de las membranas celulares y a la ruptura de los capilares, aumentando la permeabilidad vascular.

Además, la degradación celular y el posterior proceso de reparación y cicatrización resultan en la formación de fibrosis, caracterizada por una acumulación de la matriz extracelular y el colágeno. Estas áreas fibrosas y necróticas presentan un aumento del espacio extracelular por la destrucción de miocitos y la infiltración del tejido conectivo.

Cuando se administra gadolinio, este agente de contraste se acumula preferentemente en estas regiones debido a su mayor volumen de distribución en el espacio extracelular expandido. Las áreas de miocardio normal, en contraste, no muestran este aumento del espacio extracelular y, por lo tanto, retienen menos gadolinio.

El realce tardío de gadolinio (LGE) se basa en imágenes obtenidas aproximadamente 10 minutos después de la administración del contraste, cuando el gadolinio se ha eliminado en gran parte del miocardio normal, pero permanece retenido en las áreas de fibrosis y necrosis. Esto crea un contraste visual claro entre el miocardio sano y el dañado, permitiendo la identificación precisa de las áreas con fibrosis.

Aplicación de la RMC para la evaluación de la viabilidad

La identificación precisa de la viabilidad miocárdica es crucial para decidir sobre la revascularización en aquellos pacientes con enfermedad coronaria y disfunción ventricular izquierda. La evidencia sugiere que los pacientes con un miocardio viable que reciben revascularización tienen una mejoría significativa en la función ventricular y en los resultados clínicos.

La capacidad de predecir la recuperación funcional del miocardio mediante RMC ha permitido personalizar el tratamiento y mejorar los resultados, con una

reducción en la mortalidad y las hospitalizaciones por insuficiencia cardíaca en los pacientes revascularizados con miocardio viable.

La técnica de LGE ha sido fundamental en la evaluación de la viabilidad miocárdica. Introducida por Kim *et al.* en 1999⁽⁴⁾, esta técnica permite visualizar cicatrices y fibrosis miocárdicas mediante la acumulación de gadolinio en áreas del tejido necrótico o fibroso. Las áreas sin realce tardío pero con disfunción contráctil se consideran viables y con potencial de recuperación tras la revascularización, ya que corresponden a territorios atontados o primordialmente hibernados⁽⁵⁾.

Según la transmuralidad de la fibrosis (Figura 1), podemos definir tres escenarios probables:

- **Menor al 25% de transmuralidad.** Diferentes estudios han demostrado que, cuando la extensión de la fibrosis es menor al 25% del grosor de la pared miocárdica, el tejido suele ser viable y tiene una alta probabilidad de recuperar su función contráctil después de la revascularización. Esto se debe a que la mayoría de los miocitos aún están intactos y pueden responder positivamente a la restauración del flujo sanguíneo⁽⁴⁾.
- **Entre 25% y 50% de transmuralidad.** En los casos donde la fibrosis afecta entre el 25% y el 50% del grosor de la pared miocárdica, la viabilidad es intermedia. Existe una probabilidad menor de recuperación funcional comparada con los casos de menor transmuralidad, pero aún puede haber alguna mejoría en la función miocárdica tras la revascularización. A menudo, la decisión clínica en estos casos depende de otros factores del paciente y del contexto clínico⁽⁶⁾.
- **Mayor al 50% de transmuralidad.** Cuando la fibrosis excede el 50% del grosor de la pared miocárdica, el tejido se considera generalmente no viable. La recuperación funcional después de la revascularización es poco probable, ya que la extensa cicatrización impide la función contráctil efectiva del miocardio. En estos casos, el tejido ha sufrido daño irreversible y no responde a la restauración del flujo sanguíneo⁽⁵⁾.

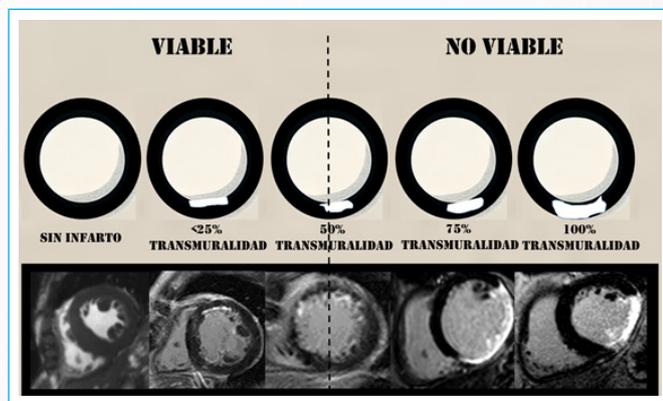


Figura 1. Relación entre la transmuralidad y la viabilidad.

El volumen necrótico global (VNG) es otro parámetro importante que se puede evaluar mediante la RMC. Kim *et al.* investigaron cómo el realce tardío se correlaciona con la extensión del daño miocárdico y la función ventricular. El estudio demostró que las áreas con un VNG superior al 20% de la masa miocárdica total están asociadas con necrosis significativa y ausencia de viabilidad. Estos hallazgos se validaron mediante la comparación con la recuperación funcional después de la revascularización, mostrando que los miocardios con más del 20% de fibrosis no recuperan su función contráctil; por este motivo este umbral es esencial para la toma de decisiones clínicas en los pacientes con cardiopatía isquémica y disfunción ventricular⁽⁷⁾.

El espesor de la pared miocárdica y su capacidad de engrosarse durante la sístole son indicadores clave de viabilidad. Baer y *et al.* reportaron que un espesor de la pared menor a 5,5 mm en diástole se ha asociado con una probabilidad baja de recuperación funcional por la fibrosis significativa, con una sensibilidad

del 94% pero con una especificidad del 52%.

La falta de engrosamiento de la pared durante la contracción cardíaca es un signo de miocardio no viable. La combinación de un espesor de pared reducido y la ausencia de engrosamiento sistólico refuerza la predicción de que el miocardio no se recuperará después de la revascularización⁽⁷⁻⁹⁾.

Estudios clásicos sobre la viabilidad miocárdica demostraron que la RMC tiene una sensibilidad mayor del 85% y una especificidad cercana al 90% para predecir la recuperación funcional miocárdica posrevascularización (Tabla 1). En la evaluación de la viabilidad miocárdica, varios trabajos destacan la importancia y contribuciones significativas de esta técnica al campo de estudio.

El primer trabajo es el de Kim *et al.* (1999), en el que se estableció que el uso del LGE es un método preciso para identificar tejido necrótico y cicatrizado, con una sensibilidad del 88% y una especificidad del 92%. Además, se observó que el 78% de los segmentos sin realce recuperaron su función, lo que se correlaciona fuertemente con la viabilidad miocárdica. Este trabajo fue la base para numerosas investigaciones y aplicaciones clínicas posteriores⁽⁹⁾.

Choi *et al.* realizaron un trabajo en el que incluyeron métodos cuantitativos para medir la viabilidad miocárdica; demostraron la relación entre la cantidad de realce y la recuperación funcional posterior del miocardio, con una sensibilidad del 85% y una especificidad del 90%. La cantidad de realce tardío predijo la recuperación funcional en el 85% de los casos posrevascularización, con un 70% de recuperación en segmentos viables, y, además, proporcionó herramientas precisas para evaluar el beneficio potencial de la revascularización en aquellos pacientes con enfermedad cardíaca isquémica⁽⁶⁾.

Kwong *et al.* evaluaron el valor pronóstico del realce tardío en la predicción de eventos adversos, confirmando que el realce tardío es un predictor potente de resultados clínicos a largo plazo, con una sensibilidad del 90% y una especificidad del 94%. Además, se observó una recuperación funcional del 72% en los segmentos sin realce, estableciendo la RMC como una herramienta esencial no solo para la evaluación diagnóstica, sino también para la planificación terapéutica y el pronóstico de pacientes con enfermedad coronaria⁽¹⁰⁾.

El estudio STICH⁽¹¹⁾ trató de resolver el interrogante de la valoración de la viabilidad y utilidad para cambiar los desenlaces clínicos de los pacientes con fracción de eyección disminuida, aunque hubo discrepancias en la metodología y que no se empleara la RNM en los pacientes incluidos. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre el tratamiento médico o la revascularización. Los pacientes con miocardio viable mostraron una tendencia a resultados mejores con la revascularización, aunque la diferencia no fue estadísticamente significativa; sin duda, los más beneficiados fueron los pacientes con enfermedad multivasos con severa depresión de la fracción de eyección.

En un ensayo más pequeño, en el estudio HEART⁽¹²⁾, se aportaron datos importantes sobre la viabilidad miocárdica y su impacto en la toma de decisiones clínicas. Este ensayo aleatorizó a pacientes con evidencia de viabilidad miocárdica para que recibieran un manejo conservador o una revascularización coronaria con la intención de comparar las dos estrategias de tratamiento.

Sin embargo, el estudio finalizó prematuramente sin poder demostrar diferencias significativas en la mortalidad entre las estrategias conservadora e invasiva. A pesar de esto, el ensayo sí subrayó la importancia de considerar la viabilidad miocárdica en el contexto clínico, aunque no se demostrase un beneficio claro de la revascularización en términos de supervivencia en comparación con el tratamiento médico estándar.

El estudio REVIVED-BCIS2⁽¹³⁾, publicado en 2022, investigó la eficacia de la intervención coronaria percutánea (ICP) en aquellos pacientes con insuficiencia car-

Estudio	Autor(es)	Año	Sensibilidad (%)	Especificidad (%)	Resultado Principal
Realce tardío con gadolinio en RMC	Kim RJ <i>et al.</i>	1999	88	92	Identificación precisa de tejido necrótico y cicatrizado: 78% de los segmentos sin realce recuperaron función
Dobutamina-RMC	Baer FM <i>et al.</i>	1998	85	81	Predicción precisa de recuperación contráctil en pacientes con disfunción ventricular crónica; 75% recuperación post-revascularización
Evaluación de viabilidad mediante RMC	Gerber BL <i>et al.</i>	2002	84	90	Evaluación de la viabilidad miocárdica con alta precisión; 70% recuperación funcional post-revascularización
SCAR Quantification en RMC	Wellnhofer E <i>et al.</i>	2004	77	85	Inferior al test de dobutamina en la predicción de recuperación funcional; 65% recuperación post-revascularización
MC con dobutamina vs. realce tardío	Hundley WG <i>et al.</i>	2002	83	87	Comparación de RMC con dobutamina y realce tardío para la predicción de recuperación funcional; 72% recuperación post-revascularización
Viabilidad miocárdica con RMC	Bello D <i>et al.</i>	2003	86	88	Alta precisión en la identificación de miocardio viable utilizando RMC; 68% recuperación funcional post-revascularización
Realce tardío con gadolinio en RMC post-ICP	Klem I <i>et al.</i>	2006	89	91	Evaluación de la viabilidad y predicción de recuperación funcional post-ICP; 74% recuperación post-revascularización
Evaluación de miocardiopatía isquémica	Wu KC <i>et al.</i>	2007	87	89	RMC para la evaluación de la viabilidad en miocardiopatía isquémica y predicción de resultados post-revascularización; 70% recuperación post-revascularización
Predicción de eventos adversos con RMC	Kwong RY <i>et al.</i>	2006	90	34	El realce tardío en RMC como predictor de eventos clínicos adversos a largo plazo; 72% recuperación funcional post-revascularización
RMC en insuficiencia cardíaca isquémica	Masci PG <i>et al.</i>	2010	88	90	RMC para la evaluación de la viabilidad y predicción de resultados clínicos en insuficiencia cardíaca isquémica; 69% recuperación post-revascularización
Valoración de la fibrosis y recuperación	Mahnken AH <i>et al.</i>	2015	85	88	Evaluación de la fibrosis miocárdica y su relación con la recuperación funcional tras revascularización; 67% recuperación post-revascularización
RMC en viabilidad miocárdica	Eitel I <i>et al.</i>	2018	86	89	Uso de RMC para la identificación de miocardio viable y predicción de la recuperación funcional; 71% recuperación post-revascularización
REVIVED-BCIS2	Investigators	2022	N/A	N/A	ICP mejoró la calidad de vida y la función ventricular en pacientes con miocardio viable: 65% recuperación post-revascularización, no redujo la mortalidad

Tabla 1. Resultados de los estudios principales que evaluaron la viabilidad miocárdica mediante RMC

díaca isquémica y disfunción ventricular izquierda grave. Con el empleo de la RMC y otras técnicas de imagen para evaluar la viabilidad, el estudio concluyó que la ICP mejoraba la calidad de vida y la función ventricular en pacientes con miocardio viable, aunque no presentó una diferencia significativa en la mortalidad general. Se demostró que la extensión del miocardio no viable (mediante eco estrés con dobutamina o RNM) se relacionaba con la presencia de una tasa mayor de eventos.

La revascularización se demostró muy beneficiosa en dos grupo principales: pacientes jóvenes con lesiones de las arterias proximales o del tronco de la coronaria izquierda y una rápida intervención en aquellos con un síndrome coronario agudo y con angina.

La evaluación de la viabilidad miocárdica mediante RMC con dobutamina es una herramienta adicional para determinar la capacidad del miocardio disfuncional, y que este pueda recuperar su función tras la revascularización. La dobutamina es un agente inotrópico que aumenta la contractilidad miocárdica, permitiendo la identificación de segmentos miocárdicos con reserva contráctil residual, es decir, aquellos segmentos que aún pueden mejorar su función con una adecuada perfusión.

Lo esperable es que la contractilidad mejore a dosis bajas, presentando una respuesta constante o bifásica de agotamiento a medida que se incremente la dosis de dobutamina. Otros estudios^(7,14) han demostrado que la RMC con dobutamina tiene una sensibilidad y especificidad altas para predecir la recuperación funcional del miocardio tras las revascularización más que a valoración de la viabilidad de manera exclusiva por transmuralidad de la escara (área bajo la curva de 0,84 vs. 0,73).

Conclusión

La RMC con LGE se ha consolidado como una herramienta esencial para la evaluación de la viabilidad miocárdica ya que permite una caracterización tisular detallada y la identificación precisa del tejido miocárdico viable.

En las últimas décadas, la evolución de las técnicas de imagen ha mejorado significativamente nuestra capacidad para detectar y cuantificar la fibrosis y la necrosis miocárdicas, lo cual es crucial para la toma de decisiones clínicas en pacientes con enfermedad coronaria y disfunción ventricular izquierda.

Nuestra experiencia y la revisión de la literatura demuestran que la RMC no solo proporciona imágenes de alta resolución sin el uso de radiación ionizante, sino que también es capaz de predecir la recuperación funcional del miocardio tras la revascularización. Esta capacidad predictiva es fundamental para personalizar el tratamiento, mejorar los resultados clínicos y reducir la mortalidad y las hospitalizaciones por insuficiencia cardíaca en pacientes con miocardio viable.

La transmuralidad de la fibrosis y otros parámetros, como el volumen necrótico global, evaluados mediante RMC, son indicadores clave para determinar la viabilidad miocárdica y la probabilidad de recuperación funcional posrevascularización.

La literatura muestra que los pacientes con una extensión menor de fibrosis (< 25% de transmuralidad) tienen una probabilidad alta de recuperación, mientras que aquellos con fibrosis más extensa (> 50% de transmuralidad) tienen una recuperación funcional poco probable.

La RMC con realce tardío representa una revolución en la evaluación de la viabilidad miocárdica, ya que proporciona a los clínicos una herramienta robusta para mejorar el manejo y los resultados de los pacientes con cardiopatía isquémica y disfunción ventricular.

La implementación continua de esta tecnología en la práctica clínica, junto con la consideración de los factores clínicos individuales, permitirá optimizar las estrategias de revascularización y mejorar la calidad de vida de los pacientes.

En los pacientes con un miocardio hibernado extenso está demostrado el beneficio de la revascularización (pese al STICH, HEART y REVIVED-BCIS2), si se sabe seleccionar al paciente adecuadamente.

Fuente de financiación

Los autores declaran que no existió ningún tipo de financiamiento.

Conflicto de interés

Los autores declaran que no tienen relaciones de interés comercial o personal dentro del marco de la investigación que condujo a la producción del artículo.

Bibliografía

- Allman KC, Shaw LJ, Hachamovitch R, Udelson JE. Myocardial viability testing and impact of revascularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol.* 2002;39(7):1151-1158. doi: [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(02\)01726-6](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(02)01726-6)
- Strauss HW, Pitt B. Thallium-201 as a myocardial imaging agent. *Circulation.* 1972;46(4):647-650. doi: [https://doi.org/10.1016/s0001-2998\(77\)80007-x](https://doi.org/10.1016/s0001-2998(77)80007-x)
- Gould KL, Goldstein RA, Mullani NA, et al. Noninvasive assessment of coronary stenoses by myocardial perfusion imaging during pharmacologic coronary vasodilation. VIII. Clinical feasibility of positron cardiac imaging without a cyclotron using generator-produced rubidium-82. *J Am Coll Cardiol.* 1986;7(4):775-789. doi: [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(86\)80336-9](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(86)80336-9)
- Kim RJ, Wu E, Rafael A, et al. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med.* 1999;341(8):489-497. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJM200011163432003>
- Wagner, A., Mahrholdt, H., Holly, T. A., Elliott, M. D., Regenfus, M., Parker, M., Klocke, F. J., Bonow, R. O., Kim, R. J., & Judd, R. M. (2003). Contrast-enhanced MRI and routine single photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging for detection of subendocardial myocardial infarcts: an imaging study. *The Lancet*, 361(9355), 374-379. doi: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(03\)12389-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(03)12389-6)
- Choi KM, Kim RJ, Gubernikoff G, et al. Transmural Extent of Acute Myocardial Infarction Predicts Long-Term Improvement in Contractile Function. *Circulation.* 2001;104:1101-1107 doi: <https://doi.org/10.1161/hc3501.096798>
- Baer, FM, Theissen, P, Schneider, CA, Voth, E, Sechtem, U, Schicha, H, Erdmann, E. Dobutamine magnetic resonance imaging predicts contractile recovery of chronically dysfunctional myocardium after successful revascularization. *J Am Coll Cardiol.* 1998;31:1040-1048. doi: 10.1016/s0735-1097(98)00032-1. doi: [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(98\)00032-1](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(98)00032-1)
- Selvanayagam JB, Kardos A, Nicolson D, et al. Value of Delayed-Enhancement Cardiovascular Magnetic Resonance Imaging in Predicting Myocardial Viability After Surgical Revascularization. *Circulation.* 2004;110:1535-1541. doi: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000142045.22628.74>
- Kim, R. J., Wu, E., Rafael, A., Chen, E. L., Parker, M. A., Simonetti, O., ... & Judd, R. M. (2000). The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *New England Journal of Medicine*, 343(20), 1445-1453. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJM200011163432003>
- Kwong, R. Y., Chan, A. K., Brown, K. A., Chan, C. W., Reynolds, H. G., Tsang, S., & Davis, R. B. (2006). Impact of unrecognized myocardial scar detected by cardiac magnetic resonance imaging on event-free survival in patients presenting with signs or symptoms of coronary artery disease. *Circulation*, 113(23), 2733-2743. doi: <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.105.570648>
- Velazquez EJ, Lee KL, Jones RH, et al. Coronary-artery bypass surgery in patients with left ventricular dysfunction. *N Engl J Med.* 2011;364(17):1607-1616. doi: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1100356>
- Cleland J.G.F., Calvert M., Freemantle N., Arrow Y., Ball S.G., Bonser R.S., Chattopadhyay S., Norell M.S., Pennell D.J., Senior R. The Heart Failure Revascularisation Trial (HEART) *Eur. J. Heart Fail.* 2011;13:227-233. doi: <https://doi.org/10.1093/eurjhf/hfq230>
- Rahimi K, et al. Percutaneous coronary intervention in patients with severe ischaemic left ventricular dysfunction (REVIVED-BCIS2): an open-label, randomised controlled trial. *Lancet.* 2022;400(10360):760-768. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lancet.2018.01.024>
- Wellnhofer E, Olariu A, Klein C, Gräfe M, Wahl A, Fleck E, Nagel E. Magnetic resonance low-dose dobutamine test is superior to SCAR quantification for the prediction of functional recovery. *Circulation.* 2004;109:2172-2174. doi: <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000128862.34201.74>