

Artículo original

Índice de resistencia microcirculatoria y obstrucción microvascular en la resonancia magnética cardíaca tras un IAMCEST



Doosup Shin^a, Juwon Kim^b, Ki Hong Choi^b, Neng Dai^c, YinLiang Li^c, Seung Hun Lee^d, Hyun Sung Joh^b, Hyun Kuk Kim^e, Sung-Mok Kim^f, Sang Jin Ha^g, Mi Ja Jang^b, Taek Kyu Park^b, Jeong Hoon Yang^b, Young Bin Song^b, Joo-Yong Hahn^b, Seung-Hyuk Choi^b, Yeon Hyeon Choe^f, Hyeon-Cheol Gwon^b y Joo Myung Lee^{b,*}

^a Division of Cardiovascular Medicine, Department of Internal Medicine, University of Iowa Carver College of Medicine, Iowa City, IA, Estados Unidos

^b Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Heart Vascular Stroke Institute, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, República de Corea

^c Department of Cardiology, Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai Institute of Cardiovascular Diseases, Shanghai, China

^d Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Chonnam National University Hospital, Gwangju, República de Corea

^e Department of Internal Medicine and Cardiovascular Center, Chosun University Hospital, University of Chosun College of Medicine, Gwangju, República de Corea

^f Department of Radiology, Cardiovascular Imaging Center, Heart Vascular Stroke Institute, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, República de Corea

^g Division of Cardiology, Department of Internal Medicine, Gangneung Asan Hospital, University of Ulsan College of Medicine, Gangneung, República de Corea

Historia del artículo:

Recibido el 17 de octubre de 2021

Aceptado el 21 de enero de 2022

On-line el 18 de mayo de 2022

Palabras clave:

Índice de resistencia microcirculatoria
Obstrucción microvascular
Resonancia magnética cardíaca
Infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST
Infarto de miocardio

RESUMEN

Introducción y objetivos: El índice de resistencia microcirculatoria (IRM) medido tras una angioplastia primaria (ICPp) por infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST (IAMCEST) se asocia con la aparición de obstrucción microvascular (OMV) y eventos clínicos adversos. Para evaluar la OMV tras una ICPp exitosa por IAMCEST sin guías de presión ni administración de agentes hiperémicos, variables que parecen limitar la adopción del IRM en el laboratorio de hemodinámica, se investiga la viabilidad y la utilidad de la medición del IRM mediante resonancia magnética cardíaca (RMC) (angio-IRM).

Métodos: El estudio incluyó a 285 pacientes con IAMCEST sometidos a ICPp y RMC. Con un programa informático comercial, se calculó el angio-IRM del vaso culpable tras la ICPp exitosa. Se evaluaron la OMV, el tamaño del infarto y el índice de rescate miocárdico medidos una mediana de 3 [rango intercuartílico, 3-5] días después de la ICPp.

Resultados: De la población total, 154 pacientes (54,0%) mostraron valores de angio-IRM elevados (> 40 U) en el vaso culpable. La OMV fue significativamente más frecuente en los pacientes con angio-IRM > 40 U que en aquellos con angio-IRM ≤ 40 U (el 88,3 frente al 32,1%; p < 0,001). El tamaño del infarto, la extensión de la OMV y el área en riesgo fueron significativamente mayores en los pacientes con angio-IRM > 40 U que con angio-IRM ≤ 40 U (p < 0,001 para todas las comparaciones). El angio-IRM mostró una capacidad de discriminación de OMV significativamente mayor que el grado de flujo TIMI o de blush miocárdico (área bajo la curva, 0,821, 0,504 y 0,496 respectivamente; p < 0,001).

Conclusiones: El angio-IRM se asoció significativamente con el tamaño del infarto, la extensión de la OMV y el área en riesgo. Cifras altas del angio-IRM (> 40 U) tras una ICPp por IAMCEST fueron muy predictivas de OMV en la RMC.

Ensayo clínico registrado en ClinicalTrials.gov (Identificador: NCT04828681).

© 2022 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Functional angiography-derived index of microcirculatory resistance validated with microvascular obstruction in cardiac magnetic resonance after STEMI

ABSTRACT

Introduction and objectives: The index of microcirculatory resistance (IMR) measured after primary percutaneous coronary intervention (PCI) for ST-segment elevation myocardial infarction (STEMI) is associated with microvascular obstruction (MVO) and adverse clinical events. To evaluate MVO after successful primary PCI for STEMI without pressure wires or hyperemic agents, we investigated the feasibility and usefulness of functional angiography-derived IMR (angio-IMR).

Keywords:

Index of microcirculatory resistance
Microvascular obstruction
Cardiac magnetic resonance imaging
ST-elevation myocardial infarction
Myocardial infarction

VÉASE CONTENIDO RELACIONADO:

<https://doi.org/10.1016/j.recesp.2022.03.011>

* Autor para correspondencia: Division of Cardiology, Department of Medicine, Heart Vascular Stroke Institute, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, 81 Irwon-ro, Gangnam-gu, 06351 Seoul, República de Corea.

Correos electrónicos: drone80@hanmail.net, joomyung.lee@samsung.com (J.M. Lee).

<https://doi.org/10.1016/j.recesp.2022.01.013>

0300-8932/© 2022 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Methods: The current study included a total of 285 STEMI patients who underwent primary PCI and cardiac magnetic resonance (CMR). Angio-IMR of the culprit vessel after successful primary PCI was calculated using commercial software. MVO, infarct size, and myocardial salvage index were assessed using CMR, which was obtained a median of 3.0 days [interquartile range, 3.0-5.0] after primary PCI.

Results: Among the total population, 154 patients (54.0%) showed elevated angio-IMR (> 40 U) in the culprit vessel. MVO was significantly more prevalent in patients with angio-IMR > 40 U than in those with angio-IMR ≤ 40 U (88.3% vs 32.1%, $P < .001$). Infarct size, extent of MVO, and area at risk were significantly larger in patients with angio-IMR > 40 U than in those with angio-IMR ≤ 40 U ($P < .001$ for all). Angio-IMR showed a significantly higher discriminatory ability for the presence of MVO than thrombolysis in myocardial infarction flow grade or myocardial blush grade (area under the curve: 0.821, 0.504, and 0.496, respectively, $P < .001$).

Conclusions: Angio-IMR was significantly associated with CMR-derived infarct size, extent of MVO, and area at risk. An elevated angio-IMR (> 40 U) after primary PCI for STEMI was highly predictive of the presence of MVO in CMR.

This trial was registered at ClinicalTrials.gov (Identifier: NCT04828681).

© 2022 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Abreviaturas

Angio-IRM: índice de resistencia microcirculatoria basada en coronariografía

IAMCEST: infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST

ICP: intervención coronaria percutánea

IRM: índice de resistencia microcirculatoria

OMV: obstrucción microvascular

RMC: resonancia magnética cardíaca

INTRODUCCIÓN

A pesar del restablecimiento del flujo sanguíneo coronario epicárdico mediante intervención coronaria percutánea primaria (ICPp) del paciente con infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST (IAMCEST), puede producirse un fallo de la reperfusión del miocardio en hasta 2 de cada 3 pacientes con IAMCEST, lo cual se atribuye a la aparición de una disfunción microcirculatoria coronaria y una obstrucción microvascular (OMV)¹⁻³. En consecuencia, la evaluación de la disfunción microcirculatoria y la OMV tras una ICPp sería importante para evaluar la eficacia del tratamiento de reperfusión y la necesidad de un posible tratamiento adicional. La resonancia magnética cardíaca (RMC) se considera el patrón de referencia para evaluar la OMV, y se sabe que constituye un indicador de mal pronóstico tras una ICPp en los pacientes con IAMCEST⁴. Sin embargo, no siempre es posible obtener una RMC en los pacientes con IAMCEST, dada su escasa disponibilidad, el coste médico que supone y las dificultades logísticas⁵.

El índice de resistencia microcirculatoria (IRM) es un índice fisiológico determinado con una guía con sensor de presión, que permite una evaluación cuantitativa de la función microcirculatoria en un determinado territorio vascular. En estudios previos se ha demostrado que un IRM elevado en el vaso culpable de un IAMCEST tras una ICPp se asocia de manera significativa con OMV y riesgo de muerte súbita o ingreso por insuficiencia cardíaca^{1,5-7}. Sin embargo, la medición convencional del IRM requiere una guía con un sensor de presión-temperatura y la inducción de hiperemia, lo cual limita la adopción del IRM en la práctica clínica diaria, en especial tras una ICPp en pacientes con IAMCEST. Recientemente, los avances técnicos han permitido obtener índices fisiológicos, como la reserva fraccional de flujo (FFR) o el IRM, a partir de imágenes angiográficas sin usar una guía con sensor de presión-temperatura ni agentes causantes de hiperemia⁸⁻¹⁰. Un estudio reciente ha puesto de manifiesto que el IRM obtenido a partir de la coronariografía (angio-IRM) podría utilizarse como alternativa a la determinación convencional del IRM mediante una guía con sensor de presión en los pacientes con IAMCEST para facilitar su estratificación según el pronóstico^{11,12}. Dadas su simpli-

cidad y las relaciones tiempo-efectividad y coste-efectividad favorables, sin necesidad de ninguna intervención adicional, el angio-IRM resultaría especialmente útil en los pacientes con IAMCEST.

El objetivo de este estudio es investigar la viabilidad del angio-IRM para la evaluación de la OMV tras una ICPp realizada con éxito en pacientes con IAMCEST.

MÉTODOS

Población del estudio

La población del estudio procede del registro prospectivo de RMC en el infarto agudo de miocardio (IAM) de un centro médico académico de nivel terciario. En este registro unicéntrico se incluyó prospectivamente, entre diciembre de 2007 y julio de 2014, a 515 pacientes consecutivos que presentaron un IAM y a los que se hizo una RMC. Este estudio es un análisis retrospectivo *post hoc* de los datos prospectivos del registro. El IAM se definió como la presencia de signos clínicos, electrocardiográficos o ecocardiográficos de isquemia miocárdica con elevación de las concentraciones de troponina cardíaca por encima del percentil 99 del límite superior de referencia. Del total de pacientes, se seleccionó para el estudio a los que presentaban un IAMCEST (n = 332) y cuyo electrocardiograma mostraba una elevación del segmento ST > 1 mm en 2 o más derivaciones contiguas o un bloqueo de rama izquierda presumiblemente de nueva aparición. Se excluyó a los pacientes en los que fracasó la ICPp (n = 1), así como a los que solo recibieron tratamiento médico sin ICP (n = 4), no tenían imágenes de coronariografía disponibles (n = 3) o imágenes angiográficas funcionales de calidad suficiente (n = 39). Tras aplicar estas exclusiones, se analizó a un total de 285 pacientes en el presente estudio (figura 1). El comité de ética de investigación de nuestro instituto aprobó el estudio y todos los participantes dieron su consentimiento informado por escrito. Los datos demográficos y los factores de riesgo cardiovascular se registraron en el momento de la intervención índice de cualificación para el estudio. El protocolo del estudio se registró en clinicaltrials.gov (NCT04828681).

Coronariografía e intervención coronaria percutánea primaria

La coronariografía se llevó a cabo con las técnicas habituales. Las imágenes angiográficas se obtuvieron tras la administración intracoronaria de nitrato (100 o 200 µg) con un catéter diagnóstico de calibre 5 Fr y un catéter guía de calibre 6 Fr antes y después de la ICP respectivamente. Se inyectó el medio de contraste a través del catéter, a una velocidad de 3 y 4 ml/s, respectivamente, en las arterias coronarias derecha e izquierda durante aproximadamente 2 s, con un inyector automático (ACIST Medical Systems, Eden Prairie, Estados Unidos). La ICPp se llevó a cabo con las técnicas habituales. Todas las coronariografías se analizaron en un laboratorio central independiente con enmascaramiento y se hizo una coronariografía cuantitativa en proyecciones óptimas con un programa informático validado (CAAS II, Pie Medical Imaging, Países Bajos).

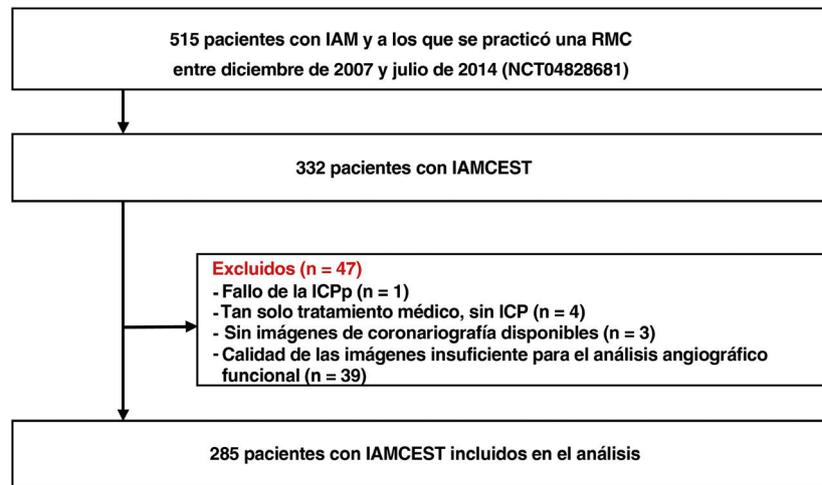


Figura 1. Diagrama de flujo de la selección de pacientes. IAM: infarto agudo de miocardio; IAMCEST: infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST; ICP: intervención coronaria percutánea; RMC: resonancia magnética cardíaca.

Análisis del índice de resistencia microcirculatoria obtenido mediante coronariografía

Para obtener el angio-IRM, se analizaron las imágenes de coronariografía en un examen *post hoc* con un programa informático comercial (FlashAngio, Rainmed Ltd, China) en un laboratorio central independiente (Zhongshan Hospital, Fudan University, Shanghai Institute of Cardiovascular Diseases, Shanghai, China). En estudios anteriores se ha presentado información detallada sobre cómo calcular el angio-IRM^{10,11}, partiendo del supuesto de que la media de velocidad de flujo durante todo el periodo de la diástole es aproximadamente proporcional a la de la existente en la hiperemia. En resumen, se registraron las imágenes de coronariografía de *Digital Imaging and Communications in Medicine* y las presiones aórticas en la consola FlashAngio¹⁰. A continuación, se calculó el angio-IRM mediante un proceso de 3 etapas^{8,10,11}. En primer lugar, se reconstruyó un modelo de malla tridimensional de la arteria coronaria a lo largo del vaso, a partir de la entrada en el segmento distal del vaso diana, utilizando como mínimo 2 proyecciones de la coronariografía separadas por un mínimo de 30°. En segundo lugar, se calculó la FFR obtenida a partir de la coronariografía (angio-FFR) mediante dinámica de presión-flujo computacional, según un método descrito con anterioridad⁸. Por último, se calculó el angio-IRM aplicando la siguiente ecuación: angio-IRM = presión aórtica hiperémica estimada (Pa) × angio-FFR × (longitud del vaso / $K^* \times V_{diástole}$)^{10,11}. El valor estimado de la Pa hiperémica fue el supuesto a partir de la presión arterial media (PAM) durante la intervención índice: PAM × 0,2 cuando la PAM es ≥ 95 mmHg y PAM × 0,15 cuando la PAM es < 95 mmHg^{8,11}. La longitud del vaso se determinó como la distancia entre la entrada y el segmento distal del vaso diana en el que se obtuvieron los valores de angio-FFR y angio-IRM¹¹. K era la constante utilizada para el ajuste de la diferencia entre la velocidad de flujo en reposo y en hiperemia. La $V_{diástole}$ era la velocidad del flujo en reposo durante la diástole, que se obtuvo mediante el método de recuento de fotogramas de *Thrombolysis In Myocardial Infarction* (TIMI)¹¹.

Resonancia magnética cardíaca

La RMC se realizó tras una mediana de 3,0 [intervalo intercuartílico, 3,0-5,0] días tras la ICPp con un escáner de 1,5 T (Magnetom Avanto, Syngo MR version D13; Siemens Medical Solutions, Alemania) con bobinas receptoras en disposición fásica (*phased array*) de 32 canales. Se obtuvieron imágenes de cineventriculografía del ventrículo izquierdo (VI) mediante una secuencia de precesión libre en fase de equilibrio estable, con proyecciones de eje corto y tetracamerales, tricamerales y bicamerales. Se obtuvieron imágenes con sangre en negro, con ponderación T₂ mediante una secuencia de espín-eco turbo

segmentada en la misma proyección de eje corto que las secuencias de cineventriculografía. Se obtuvieron imágenes con realce tardío de gadolinio que abarcaban todo el VI 10 min después de la inyección intravenosa de 0,15 mmol/kg de gadobutrol (Bayer Healthcare, Alemania) mediante un disparo de ángulo bajo *turbo-fast* de inversión-recuperación sensible a la fase, segmentado, en una pila de VI de eje corto contigua. Los tiempos de inversión se ajustaron individualmente para optimizar la anulación del miocardio visualmente normal (200-350 ms). Radiólogos cardiovasculares experimentados en el mismo instituto tomaron todas las mediciones de la RMC de manera independiente y con enmascaramiento de la identidad de los pacientes. El análisis del volumen del VI se llevó a cabo con un programa informático comercial (CAAS MRV versión 1.0, Pie Medical Imaging B.V., Países Bajos)¹³. Los límites del endocardio y el epicardio se trazaron manualmente y se excluyeron del endocardio los músculos papilares y las trabéculas del VI¹³. Se utilizó la imagen con ponderación T₂ para determinar una posible hemorragia intramiocárdica y cuantificar el área en riesgo (AR)¹³. El área con hiperintensificación se especificó como área de infarto y la presencia de hipointensificación dentro del área con hiperintensificación se consideró un signo de OMV¹³. Se calculó el volumen de hiperintensificación tardía mediante la suma del área de hiperintensificación tardía existente dentro de cada segmento multiplicada por 10 mm¹³. Se definió como tamaño del infarto (%) la proporción de la hiperintensificación tardía respecto al volumen miocárdico del VI. La extensión de la OMV se calculó de la misma manera. El índice de miocardio salvado se calculó como sigue: (AR - tamaño del infarto) × 100 / AR¹³.

Ecocardiografía bidimensional

Se hizo una ecocardiografía bidimensional completa a todos los pacientes en la situación basal —mediana, 2,0 [1,0-3,0] días— y a los 6 meses de seguimiento —mediana, 199,0 [179,0-259,0] días—. Se midió el grosor de la pared del VI y las dimensiones del VI en la proyección de eje largo paraesternal con métodos estándar según las guías vigentes¹⁴. Se calculó la masa del VI al final de la diástole con el método lineal¹⁴. La fracción de eyección del VI (FEVI) se determinó con la técnica de biplano de Simpson o con una estimación visual. Las velocidades de flujo de entrada transmitral (E y A) y el tiempo de desaceleración se obtuvieron con la exploración por Doppler con onda pulsada en la proyección tetracameral apical. Se utilizaron imágenes de Doppler tisular para evaluar las velocidades anulares diastólicas inicial (e') y tardía (a') en la proyección tetracameral apical, y se promediaron las velocidades anulares mitrales lateral y septal. Se determinó visualmente una puntuación del movimiento de la pared semicuantitativa y se asignó a cada segmento del VI para calcular el índice de puntuación del movimiento de la pared mediante el promedio de las puntuaciones de

todos los segmentos visualizados (suma de puntuaciones de todos los segmentos evaluados/número de segmentos evaluados)¹⁴.

Análisis estadístico

Todas las variables cualitativas se presentan mediante el número y la frecuencia relativa, y las variables continuas, mediante la media \pm desviación estándar o la mediana [intervalo intercuartílico] en función de su tipo de distribución, que se verificó mediante la prueba de asimetría y curtosis y el examen visual de los gráficos Q-Q. Las correlaciones entre los valores del angio-IRM y los parámetros cuantitativos obtenidos en la RMC (extensión de la OMV, tamaño del infarto y AR) se evaluaron calculando los coeficientes de correlación de Pearson o Spearman en función de la normalidad de la distribución. Se compararon los parámetros obtenidos en la RMC y los parámetros ecocardiográficos según los valores del angio-IRM, con un valor de corte de 40 basado en lo indicado por estudios previos^{1,5-7,11}. Se utilizó un análisis de regresión logística multivariable para calcular los valores de *odds ratio* (OR) junto con los intervalos de confianza del 95% (IC95%), para identificar predictores de OMV independientes. Se elaboró un modelo de regresión multivariable con todas las variables con un valor de $p < 0,1$ en los análisis univariados. Se utilizaron curvas de características operativas del receptor y el área bajo la curva (AUC) para comparar la capacidad discriminadora de los valores del angio-IRM en la predicción de una OMV de la RMC con la que tenían los parámetros

angiográficos convencionales de la reperusión del vaso culpable, incluidos el grado de flujo TIMI y el grado de opacificación (*blush*) del miocardio. Todos los valores de probabilidad fueron bilaterales y se consideraron estadísticamente significativos los valores de $p < 0,05$.

RESULTADOS

Características basales de la población del estudio

De la población total, 154 pacientes (54,0%) tenían un angio-IRM > 40 U y 131 (46,0%), ≤ 40 U. No hubo diferencias significativas en los parámetros demográficos ni en los factores de riesgo cardiovascular entre los 2 grupos (tabla 1). Los pacientes con un angio-IRM > 40 U presentaron unos valores de creatinina-MB y troponina I máxima superiores y solían tener como vaso culpable del IAMCEST la arteria descendente anterior izquierda con más frecuencia que los pacientes con un angio-IRM ≤ 40 U. Aunque no hubo una diferencia significativa entre los 2 grupos respecto al tiempo puerta-balón ni en el grado de flujo TIMI antes de la ICP, un flujo TIMI ≤ 2 tras la ICP fue más frecuente en los pacientes con angio-IRM > 40 U. En cambio, el grado de opacificación del miocardio tras la ICP y la incidencia de flujo no restablecido fueron similares en los 2 grupos. Los pacientes con un angio-IRM > 40 U mostraron un valor medio de angio-FFR tras la ICP superior al de los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U ($0,88 \pm 0,05$ frente a $0,92 \pm 0,05$; $p < 0,001$) (tabla 1).

Tabla 1
Características basales de la población del estudio

Variables	Total (n = 285)	Angio-IRM ≤ 40 U (n = 131, 46,0%)	Angio-IRM > 40 U (n = 154, 54,0%)	p
Características de los pacientes				
<i>Parámetros demográficos</i>				
Edad (años)	59,5 \pm 12,1	60,4 \pm 11,7	58,7 \pm 12,5	0,236
Varones	232 (81,4)	104 (79,4)	128 (83,1)	0,420
Índice de masa corporal	24,6 \pm 3,4	24,5 \pm 3,2	24,7 \pm 3,6	0,661
<i>Factores de riesgo cardiovascular</i>				
Hipertensión	122 (42,8)	61 (46,6)	61 (39,6)	0,237
Diabetes mellitus	70 (24,6)	31 (23,7)	39 (25,3)	0,746
Hiperlipemia	47 (16,5)	20 (15,3)	27 (17,5)	0,608
Fumador actual	138 (48,4)	62 (47,3)	76 (49,4)	0,733
Intervención coronaria percutánea previa	14 (4,9)	7 (5,3)	7 (4,6)	0,789
Infarto de miocardio previo	10 (3,5)	5 (3,8)	5 (3,3)	0,999
Enfermedad multivaso	123 (43,2)	57 (43,5)	66 (42,9)	0,999
<i>Parámetros hemodinámicos</i>				
Presión arterial sistólica (mmHg)	115 [102-127]	112 [99-124]	115 [107-131]	0,046
Presión arterial diastólica (mmHg)	71 [63-80]	70 [60-78]	73 [65-81]	0,017
<i>Perfiles analíticos</i>				
Troponina I máxima (ng/ml)	61,2 [16,3-143,1]	31,9 [7,6-83,8]	86,9 [38,4-173,2]	$< 0,001$
CK-MB máxima (ng/ml)	171,1 [60,8-276,4]	101,5 [36,7-196,7]	234,8 [133,6-319,7]	$< 0,001$
PCR ultrasensible (mg/dl)	1,2 [0,3-7,6]	1,3 [0,3-7,9]	1,2 [0,3-7,5]	0,964
Lipoproteínas de baja densidad (mg/dl)	127,0 [100,0-150,0]	123,0 [99,0-142,0]	131 [100,0-151,0]	0,111
<i>Medicación al alta</i>				
Ácido acetilsalicílico	281 (98,6)	130 (99,2)	151 (98,1)	0,397
Inhibidores del P2Y ₁₂	279 (97,9)	129 (98,5)	150 (97,4)	0,530
Bloqueadores beta	262 (91,9)	120 (91,6)	142 (92,2)	0,852
Inhibidores del SRAA	233 (81,8)	107 (81,7)	126 (81,8)	0,976
Estatinas	272 (95,4)	128 (97,7)	144 (93,5)	0,152
Características de la lesión				
<i>Vaso culpable</i>				0,001
Arteria descendente anterior izquierda	155 (54,4)	63 (48,1)	92 (59,7)	
Arteria circunfleja izquierda	29 (10,2)	8 (6,1)	21 (13,6)	
Arteria coronaria derecha	101 (35,4)	60 (45,8)	41 (26,6)	

Tabla 1 (Continuación)

Características basales de la población del estudio

Variables	Total (n = 285)	Angio-IRM \leq 40 U (n = 131, 46,0%)	Angio-IRM $>$ 40 U (n = 154, 54,0%)	p
<i>Características de la intervención</i>				
Tiempo puerta-balón (min)	68 [50-81]	68 [48-82]	67 [51-80]	0,588
Grado TIMI antes de la ICP				0,440
TIMI 0	215 (75,4)	95 (72,5)	120 (77,9)	
TIMI 1	17 (6,0)	9 (6,9)	8 (5,2)	
TIMI 2	28 (9,8)	12 (9,2)	16 (10,4)	
TIMI 3	25 (8,8)	15 (11,5)	10 (6,5)	
Grado TIMI después de la ICP				0,014
TIMI \leq 2	17 (6,0)	2 (1,5)	15 (9,7)	
TIMI 3	268 (94,0)	129 (98,5)	139 (90,3)	
Grado de opacificación del miocardio después de la ICP				0,243
Grado 1	1 (0,4)	1 (0,8)	0 (0,0)	
Grado 2	19 (6,7)	6 (4,6)	13 (8,4)	
Grado 3	265 (93,0)	124 (94,7)	141 (91,6)	
Recuento de fotogramas de TIMI	9 [7-12]	9 [7-11]	10 [7-13]	0,103
Ausencia de restablecimiento del flujo	17 (6,0)	5 (3,8)	12 (7,8)	0,158
Tromboaspiración	181 (63,5)	75 (57,3)	106 (68,8)	0,043
Oclusión de rama secundaria	6 (2,1)	2 (1,5)	4 (2,6)	0,690
Con inhibidores de la glucoproteína IIb/IIIa	50 (17,5)	18 (13,7)	32 (20,8)	0,119
Número total de stents	1,2 \pm 0,6	1,2 \pm 0,7	1,2 \pm 0,6	0,954
Diámetro medio del stent	3,2 \pm 0,5	3,2 \pm 0,5	3,2 \pm 0,6	0,628
Longitud total de stents	31,0 \pm 17,2	30,9 \pm 17,2	31,1 \pm 17,2	0,952
<i>Índices fisiológicos basados en la angiografía</i>				
FFR basada en la angiografía tras la ICP	0,90 \pm 0,05	0,88 \pm 0,05	0,92 \pm 0,05	$<$ 0,001
IRM basado en la angiografía (U)	40,6 \pm 13,8	29,5 \pm 6,4	50,2 \pm 10,9	$<$ 0,001

CK-MB: creatincinasa MB; FFR: reserva fraccional de flujo; ICP: intervención coronaria percutánea; IRM: índice de resistencia microcirculatoria; PCR: proteína C reactiva; SRRA: sistema renina-angiotensina-aldosterona; TIMI: *Thrombolysis in Myocardial Infarction*. Los valores expresan n (%), media \pm desviación estándar o mediana [intervalo intercuartílico].

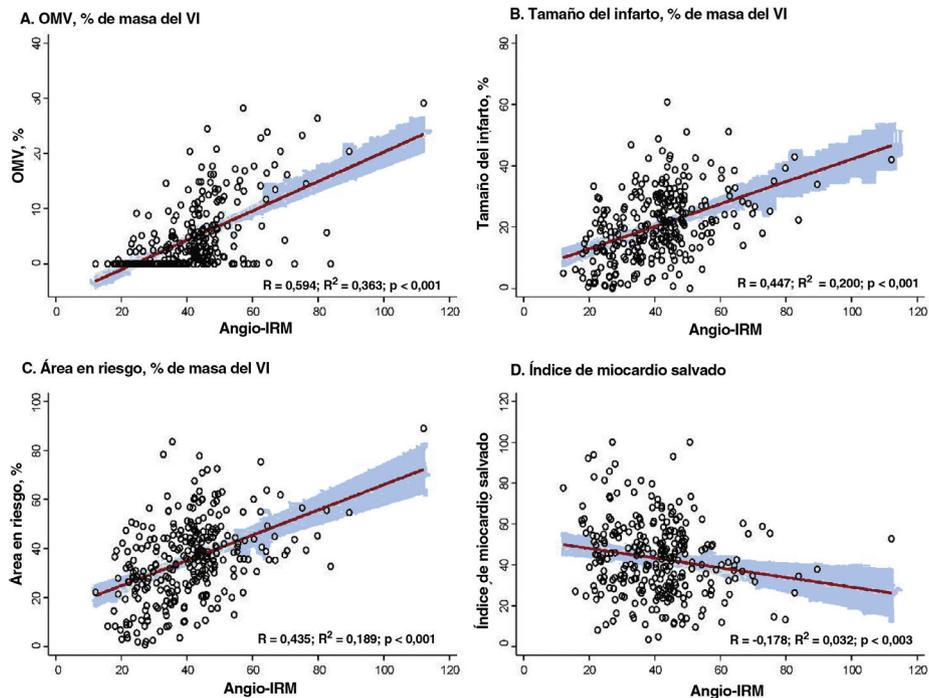


Figura 2. Correlación entre el angio-IRM y los parámetros de RMC. Se muestran las correlaciones entre el angio-IRM y varios parámetros obtenidos en la RMC después de una ICPp para un IAMCEST. A: OMV (% de masa del VI). B: tamaño del infarto (% de masa del VI). C: área en riesgo (% de masa del VI). D: índice de miocardio salvado. Angio-IRM: IRM funcional basado en angiografía; IAMCEST: infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST; ICP: intervención coronaria percutánea; IRM: índice de resistencia microcirculatoria; OMV: obstrucción microvascular; RMC: resonancia magnética cardiaca; VI: ventrículo izquierdo.

Tabla 2
Parámetros de RMC según el IRM basado en la angiografía

Parámetros de RMC	Total (n = 285)	Angio-IRM ≤ 40 U (n = 131, 46,0%)	Angio-IRM > 40 U (n = 154, 54,0%)	p
Tiempo entre la ICP y la RMC (días)	3,0 [3,0-5,0]	4,0 [3,0-5,0]	3,0 [3,0-4,0]	0,516
VTDVI (ml)	146,6 ± 34,5	143,3 ± 38,0	149,4 ± 31,1	0,135
VTSVI (ml)	72,2 ± 31,4	66,8 ± 35,9	76,8 ± 26,3	0,008
FEVI (%)	52,1 ± 10,6	55,1 ± 11,2	49,5 ± 9,3	< 0,001
Tamaño del infarto (ml)	21,5 ± 12,8	15,1 ± 9,7	27,0 ± 12,6	< 0,001
Tamaño del infarto (% de masa del VI)	20,5 ± 11,2	15,3 ± 9,9	24,9 ± 10,4	< 0,001
Área en riesgo (% de masa del VI)	35,5 ± 16,3	28,3 ± 15,8	41,6 ± 14,1	< 0,001
Índice de miocardio salvado	43,2 ± 18,3	46,4 ± 19,4	40,5 ± 16,8	0,006
OMV	178 (62,5)	42 (32,1)	136 (88,3)	< 0,001
OMV (% de masa del VI)	2,0 [0,0-6,3]	0,0 [0,0-1,8]	5,2 [1,5-11,8]	< 0,001
Hemorragia intramiocárdica	136 (48,1)	39 (30,2)	97 (63,0)	< 0,001

FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; ICP: intervención coronaria percutánea; IRM: índice de resistencia microcirculatoria; OMV: obstrucción microvascular; RMC: resonancia magnética cardiaca; VI: ventrículo izquierdo; VTDVI: volumen telediastólico del ventrículo izquierdo; VTSVI: volumen telesistólico del ventrículo izquierdo. Los valores expresan n (%), media ± desviación estándar o mediana [intervalo intercuartílico].

Parámetros de resonancia magnética cardiaca según el angio-IRM

El angio-IRM mostró una correlación significativa con el tamaño del infarto, la extensión de la OMV y el AR determinados en la RMC ($p < 0,001$ en todos ellos) (figura 2). En comparación con los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U, los que lo tenían > 40 U presentaron significativamente mayores tamaño del infarto (el 15,3% ± 9,9 frente al 24,9% ± 10,4%; $p < 0,001$), AR (el 28,3% ± 15,8 frente al 41,6% ± 14,1%; $p < 0,001$) y extensión de la OMV (0,0% [0,0-1,8] frente a 5,2% [1,5-11,8]; $p < 0,001$). En cambio, el grupo con un angio-IRM ≤ 40 U mostró un índice de miocardio salvado significativamente mayor que el observado en el grupo de angio-IRM > 40 U. En el presente estudio, el 62,5% (n = 178) de los pacientes con IAMCEST tratados mediante ICPp y examinados por RMC presentaron una OMV (tabla 2). En la mayoría de los pacientes con angio-IRM > 40 U (88,3%) se observó una OMV en la RMC,

frente a menos de 1 de cada 3 pacientes con angio-IRM ≤ 40 U (32,1%) (tabla 2 y figura 3). La extensión de la OMV en los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U y OMV fue significativamente inferior a la de los pacientes con angio-IRM > 40 U y OMV (3,0% [2,1-5,1] frente a 6,0% [2,5-13,2]; $p < 0,001$) (figura 1 del material adicional). En la figura 4 se muestran ejemplos representativos de pacientes con y sin OMV y sus valores de angio-IRM.

Parámetros ecocardiográficos según el angio-IRM

En la tabla 3 y la figura 5 se muestran los parámetros ecocardiográficos basales y de seguimiento según el valor del angio-IRM. En comparación con los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U, los que tenían angio-IRM > 40 U tenían FEVI inferiores (55,6 ± 10,4 frente a

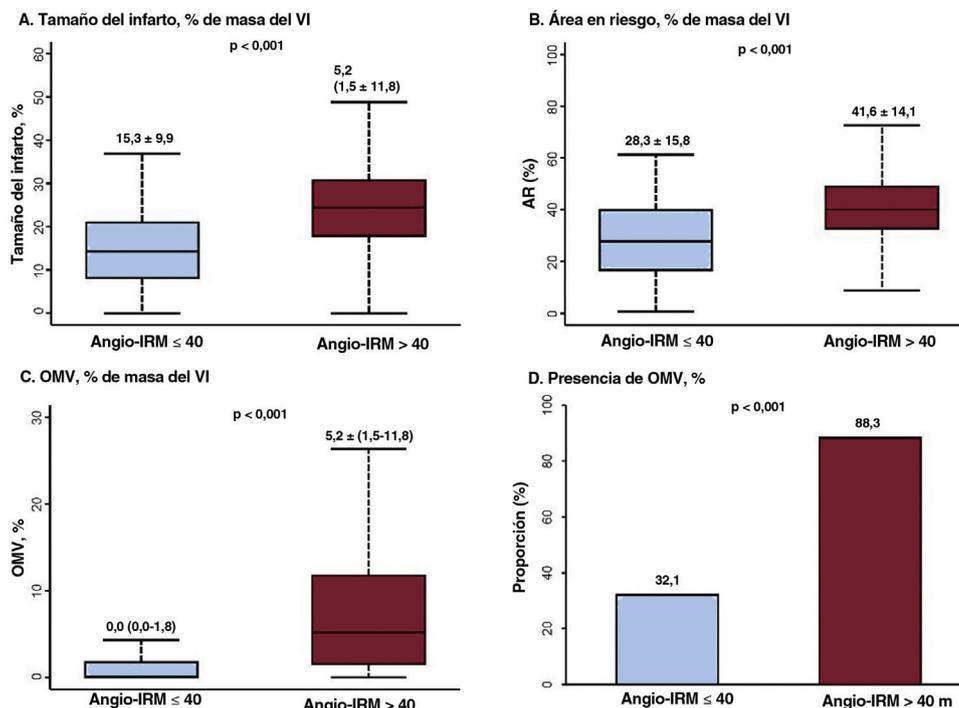


Figura 3. Comparación de los parámetros de RMC según el angio-IRM. Se comparan los parámetros obtenidos en la RMC, incluidos los de (A) tamaño del infarto, (B) área en riesgo, (C) extensión de la OMV y (D) proporción de OMV, en función del angio-IRM después de una ICPp para el infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST. Los valores expresan media ± desviación estándar o proporciones (%). En los gráficos de cajas y bigotes, la línea horizontal indica la mediana, la caja indica el intervalo intercuartílico y los bigotes, los valores mínimo y máximo, con la exclusión de los valores atípicos. angio-IRM: IRM funcional basado en angiografía; AR: área en riesgo; IRM: índice de resistencia microcirculatoria; OMV: obstrucción microvascular; RMC: resonancia magnética cardiaca; VI: ventrículo izquierdo.

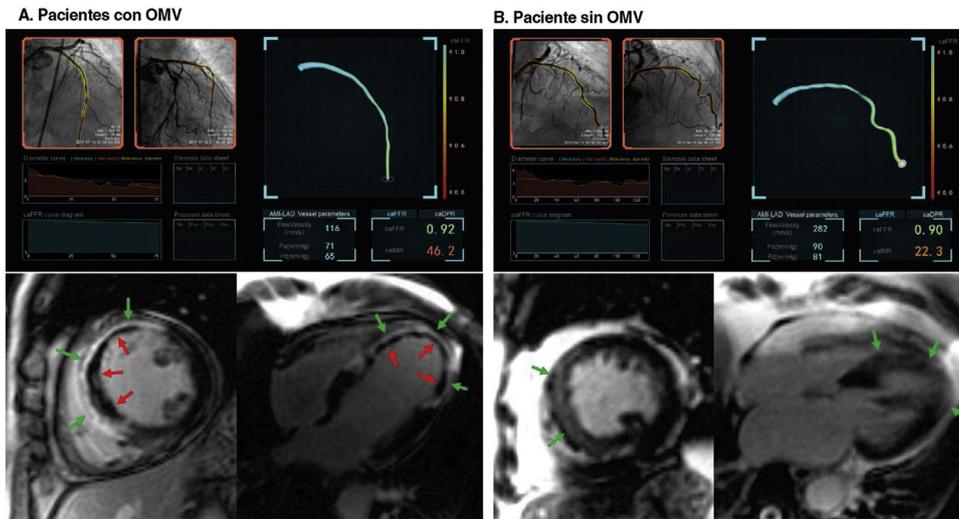


Figura 4. Se muestran 2 ejemplos de casos representativos de pacientes con infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST a los que se practicó con éxito la revascularización del vaso culpable epicárdico (DAI) durante la intervención coronaria percutánea primaria. A: el paciente presentó un valor de angio-IRM elevado de 46,2, que se calculó a partir de las imágenes angiográficas tras la intervención coronaria percutánea. La resonancia magnética cardiaca reveló un área de infarto (flechas verdes) y signos de OMV (flechas rojas). B: el paciente presentó un valor de angio-IRM de 22,3, que indicaba una función microvascular relativamente conservada después de un infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST. Las imágenes de resonancia magnética cardiaca mostraron un área de infarto (flechas verdes) pero sin signos de OMV. IRM: índice de resistencia microcirculatoria; OMV: obstrucción microvascular.

49,7 ± 9,8%; p < 0,001) y un valor más alto del índice de puntuación del movimiento de la pared (1,2 [1,1-1,5] frente a 1,5 [1,3-1,8]; p < 0,001) en la ecocardiografía inicial. Esta diferencia persistió en la ecocardiografía realizada a los 6 meses de seguimiento (FEVI, 59,6 ± 9,8% frente a 52,8 ± 10,8%; índice de puntuación del movimiento de la pared 1,1 [1,0-1,3] frente a 1,4 [1,2-1,7]; p < 0,001 en todos los casos). En la situación basal, no hubo una diferencia estadísticamente significativa entre los 2 grupos respecto al índice de masa del VI o la dimensión interna del VI en telediástole. Sin embargo, en la ecocardiografía de seguimiento a los 6 meses, los pacientes con angio-IRM > 40 U presentaron una dimensión interna del VI en telediástole mayor y un índice de masa del VI superior que los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U (tabla 3 y figura 5). En la figura 2 del material adicional se muestran los cambios observados en los

valores de FEVI, E/e' e índice de puntuación del movimiento de la pared durante el seguimiento según el angio-IRM.

Factores predictivos independientes y capacidad discriminatoria de obstrucción microvascular determinada en la resonancia magnética cardiaca

En el análisis de regresión lineal multivariable, un valor elevado de angio-IRM (> 40 U) fue un firme predictor independiente de una OMV en la RMC tras una ICPp para un IAMCEST (OR = 12,24; IC95%, 6,310-23,75; p < 0,001) (tabla 4). Además, el angio-IRM como variable continua mostró una asociación independiente con la presencia de OMV (por cada 1 U de aumento del angio-IRM, OR = 1,102; IC95%,

Tabla 3
Parámetros ecocardiográficos según el IRM basado en la angiografía

Parámetros ecocardiográficos	Total (n=285)	Angio-IRM ≤ 40 U (n=131, 46,0%)	Angio-IRM > 40 U (n=154, 54,0%)	p
<i>Ecocardiografía inicial</i>				
Tiempo hasta la ecocardiografía (días)	2,0 [1,0-3,0]	3,0 [1,0-4,0]	2,0 [1,0-3,0]	0,342
FEVI (%)	52,4 ± 10,5	55,6 ± 10,4	49,7 ± 9,8	< 0,001
Índice de puntuación del movimiento de la pared	1,4 [1,2-1,7]	1,2 (1,1-1,5)	1,5 (1,3-1,8)	< 0,001
DIVId (mm)	51,2 ± 4,7	50,9 ± 4,4	51,5 ± 4,9	0,293
DIVIs (mm)	33,8 ± 6,2	32,5 ± 6,0	34,8 ± 6,1	0,002
Índice de masa del VI	96,9 ± 22,7	94,8 ± 19,4	98,8 ± 25,1	0,149
E/e' mitral	10,8 ± 4,4	10,7 ± 5,0	10,9 ± 3,8	0,722
<i>Ecocardiografía de seguimiento</i>				
Tiempo hasta la ecocardiografía (días)	199,0 [179,0-259,0]	199,0 [179,0-239,0]	201,0 [178,0-282,0]	0,470
FEVI (%)	55,9 ± 10,9	59,6 ± 9,8	52,8 ± 10,8	< 0,001
Índice de puntuación del movimiento de la pared	1,2 (1,1-1,6)	1,1 [1,0-1,3]	1,4 [1,2-1,7]	< 0,001
DIVId (mm)	52,1 ± 4,8	51,2 ± 4,2	52,9 ± 5,2	0,005
DIVIs (mm)	33,6 ± 6,2	32,0 ± 5,5	34,8 ± 6,4	< 0,001
Índice de masa del VI	94,6 ± 21,4	91,4 ± 19,4	97,2 ± 22,7	0,033
E/e' mitral	9,6 ± 3,5	9,3 ± 3,7	9,8 ± 3,4	0,308

DIVId: dimensión interna del ventrículo izquierdo en diástole; DIVIs: dimensión interna del ventrículo izquierdo en telesístole; FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo; IRM: índice de resistencia microcirculatoria; VI: ventrículo izquierdo. Los valores expresan mediana [intervalo intercuartílico] o media ± desviación estándar.

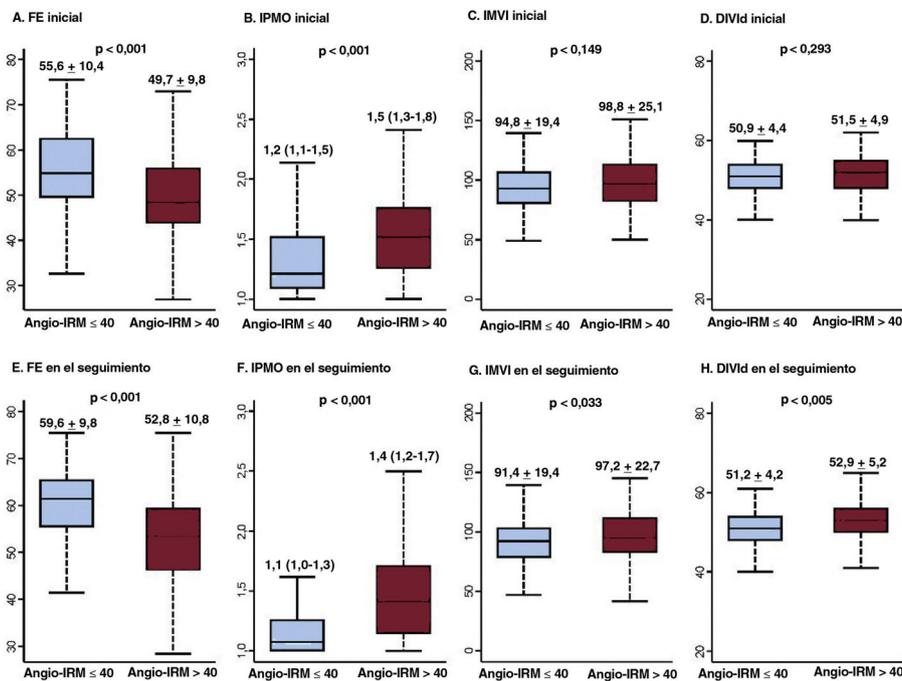


Figura 5. Parámetros ecocardiográficos basales y del seguimiento, según el valor del angio-IRM. Se comparan los parámetros ecocardiográficos basales (A-D) y del seguimiento (E-H) según los valores del angio-IRM. Los valores expresan media ± desviación estándar o proporciones (%). En los gráficos de cajas y bigotes, la línea horizontal indica la mediana, la caja indica el intervalo intercuartílico y los bigotes, los valores mínimo y máximo, con la exclusión de los valores atípicos. DIVId: dimensión interna del ventrículo izquierdo en diástole; FE: fracción de eyección; IMVI: índice de masa del ventrículo izquierdo; IPMO: índice de puntuación del movimiento de la pared; IRM: índice de resistencia microcirculatoria.

1,068-1,137; $p < 0,001$) (tabla 1 del material adicional). Al comparar la capacidad discriminadora del angio-IRM con la de los parámetros angiográficos convencionales de la reperusión miocárdica, este mostró una capacidad para discriminar OMV significativamente mayor que el flujo TIMI o el grado de opacificación miocárdica tras una IPCp (AUC, 0,821, 0,504 y 0,496 respectivamente; $p < 0,001$) (figura 6). Este resultado persistió con independencia de la localización del vaso culpable (figura 3 del material adicional). Además, el angio-IRM mostró también una capacidad para discriminar OMV significativamente superior a la del recuento de fotogramas del TIMI (AUC, 0,821 frente a 0,502; $p < 0,001$) (figura 4 del material adicional).

DISCUSIÓN

En este estudio se evaluó la viabilidad del uso del IRM funcional obtenido a partir de la angiografía, sin uso de guía (angio-IRM) en la evaluación de la OMV tras una ICp en pacientes con IAMCEST. El estudio puso de manifiesto que el angio-IRM muestra una asociación significativa con la extensión de la OMV en la RMC y que un valor elevado del angio-IRM > 40 U es un predictor independiente de OMV, con una capacidad discriminadora significativamente superior a la de los parámetros angiográficos convencionales de la reperusión miocárdica (figura 7).

Tabla 4

Predictores de OMV independientes determinados mediante RMC

Variable	Análisis univariable		Análisis multivariable*	
	OR (IC95%)	p	OR (IC95%)	p
Angio-IRM > 40 U	16,01 (8,670-29,57)	< 0,001	12,24 (6,310-23,75)	< 0,001
Edad	0,991 (0,971-1,011)	0,362		
Sexo femenino	1,795 (0,983-3,279)	0,057	2,137 (0,958-4,765)	0,064
Diabetes mellitus	1,556 (0,871-2,777)	0,135		
Fumador actual	1,419 (0,876-2,299)	0,156		
Tiempo puerta-balón, cada 1 min de aumento	0,998 (0,996-1,000)	0,083	0,998 (0,995-1,001)	0,236
CK-MB máxima, cada 1 ng/ml de aumento	1,008 (1,005-1,010)	< 0,001	1,003 (1,000-1,006)	0,030
Troponina I máxima, cada 1 ng/ml de aumento	1,011 (1,007-1,015)	< 0,001	1,006 (1,001-1,010)	0,011
Flujo TIMI basal 0	1,837 (1,063-3,175)	0,029	1,318 (0,622-2,792)	0,471
Flujo TIMI posterior ≤ 2	0,850 (0,314-2,305)	0,750		
Blush posterior ≤ 2	1,126 (0,434-2,916)	0,808		
Flujo no restablecido	1,475 (0,505-4,308)	0,478		
Recuento de fotogramas TIMI	1,004 (0,951-1,059)	0,896		
Con inhibidores de la glucoproteína IIb/IIIa	0,882 (0,472-1,647)	0,693		

CK-MB: creatinina MB; IC95%: intervalo de confianza del 95%; IRM: índice de resistencia microcirculatoria; OMV: obstrucción microvascular; OR: odds ratio; RMC: resonancia magnética cardíaca; TIMI: Thrombolysis in Myocardial Infarction.

* Estadístico C del modelo, 0,881 (IC95%, 0,840-0,921).

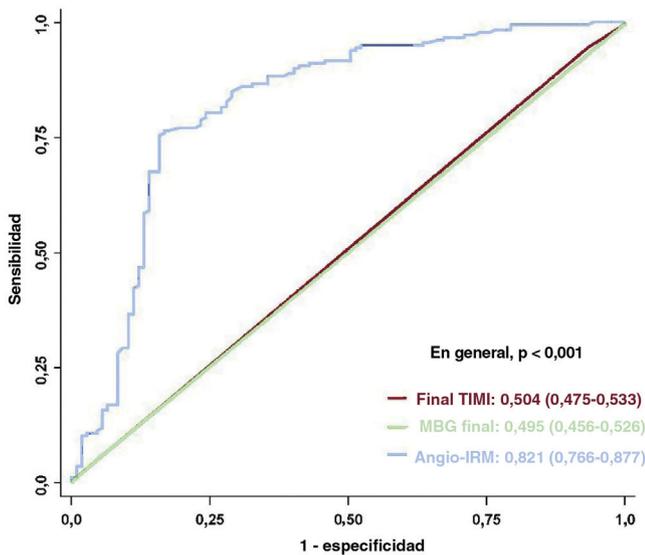


Figura 6. Comparación de la capacidad discriminadora para la predicción de la OMV definida en la RMC. Se comparan las curvas de características operativas del receptor del angio-IRM tras la ICP (en azul), el grado de flujo TIMI final (en rojo) y la MBG final (en verde) en la predicción de la OMV definida mediante la RMC. Los valores corresponden al área bajo la curva y el intervalo de confianza del 95%. IRM: índice de resistencia microcirculatoria; MBG: grado de opacificación del miocardio; OMV: obstrucción microvascular; TIMI: Thrombolysis in Myocardial Infarction.

Evaluación de la obstrucción microvascular tras una intervención coronaria percutánea primaria para el infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST

A pesar del restablecimiento satisfactorio del flujo sanguíneo coronario epicárdico, se ha descrito falta de reperfusión miocárdica en

hasta 2/3 pacientes con IAMCEST cuando aparece una OMV¹⁻³. En coherencia con lo indicado por estudios anteriores, el presente estudio mostró también que en el 62,5% de los pacientes con IAMCEST había signos de OMV en la RMC. La RMC es la técnica más sensible y específica que permite una visualización directa y la cuantificación de la OMV¹⁵. Sin embargo, la obtención de una RMC en los pacientes con IAMCEST se ve limitada en la práctica clínica diaria, y el tiempo que transcurre entre la ICPp y la RMC puede mermarle utilidad para la detección de la OMV y orientar los tratamientos adyuvantes que aplicar en la fase inmediatamente posterior a la revascularización. En cambio, las observaciones en la coronariografía, como el flujo sanguíneo anterógrado reducido (flujo TIMI ≤ 2) o el deterioro de la penetración del contraste en el miocardio (opacificación miocárdica < 2), permiten la evaluación de la OMV en el momento de la ICPp. Sin embargo, estas mediciones tienen escasas reproducibilidad y exactitud^{1,2}. De hecho, se observaron OMV en más de la mitad de los pacientes con IAMCEST que alcanzaron un flujo TIMI 3 tras la ICPp^{1,2}, y la incidencia de la OMV evaluada mediante la RMC fue significativamente superior a la evaluada con los parámetros angiográficos convencionales³. El estudio evidenció también que la presencia de una OMV no se asoció con flujo no restablecido, flujo TIMI ≤ 2 u opacificación miocárdica < 2 tras la ICPp. Además, el grado final del flujo TIMI y el grado de opacificación del miocardio no mostraron una capacidad discriminadora que permitiera predecir una OMV, con valores de AUC de 0,504 (IC95%, 0,475-0,533) y 0,496 (IC95%, 0,466-0,526) respectivamente. Estos resultados indican un papel clínico limitado de un indicador angiográfico indirecto de la OMV o la reperfusión miocárdica.

Índice microcirculatorio y evaluación de la obstrucción microvascular en el infarto de miocardio con elevación del segmento ST

En este contexto, la evaluación fisiológica con el IRM aportaría un beneficio al permitir una determinación objetiva y más exacta de la función microcirculatoria coronaria en el momento de la ICPp. Los estudios realizados han demostrado que un IRM elevado > 40 U tras la

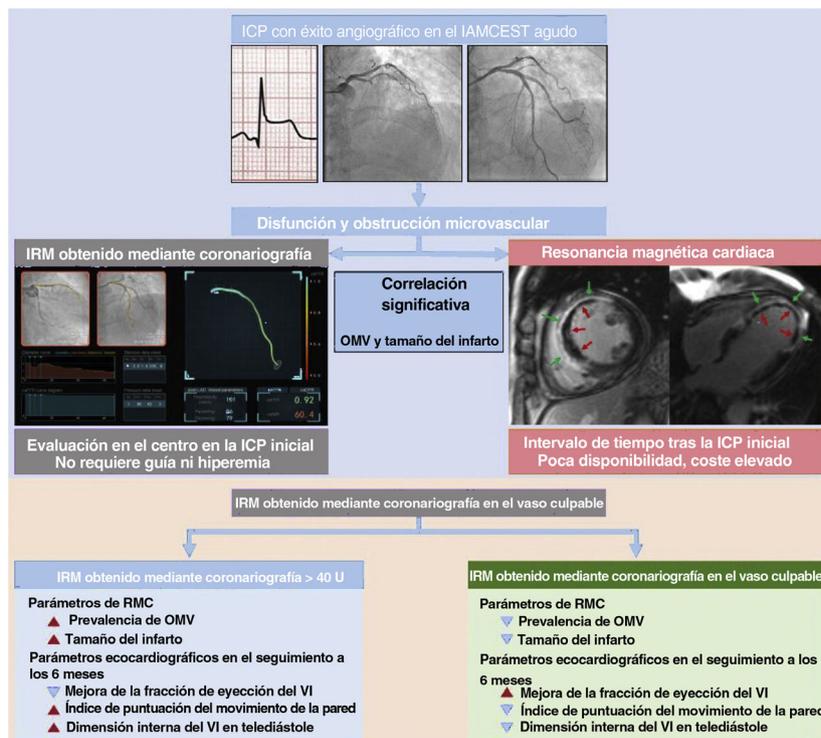


Figura 7. Figura central IRM funcional obtenido mediante coronariografía y RMC para determinar la disfunción microvascular después de una ICP realizada con éxito para un IAMCEST. IAMCEST: infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST; ICP: intervención coronaria percutánea; IRM: índice de resistencia microcirculatoria; OMV: obstrucción microvascular; RMC: resonancia magnética cardíaca; VI: ventrículo izquierdo.

ICPp se asocia significativamente con OMV en la RMC y la posterior aparición de eventos adversos clínicos en los pacientes con IAMCEST^{1,5-7}. Sin embargo, la medición del IRM requiere una guía adicional con sensor de presión-temperatura, lo cual prolonga la intervención, y también la inducción de hiperemia, que generalmente origina una respuesta de hipotensión. Estos requisitos limitan la adopción del IRM en la práctica clínica diaria, en especial por lo que respecta a los pacientes con IAMCEST en situación aguda. Sin embargo, los avances recientes han permitido obtener el IRM a partir de imágenes angiográficas (angio-IRM) sin necesidad de guía para determinar la presión ni agente hiperémico⁸⁻¹⁰. En consecuencia, la introducción del angio-IRM podría ampliar de manera significativa el uso del IRM en la práctica clínica diaria.

Recientemente hemos publicado un estudio de validación con el mismo programa informático y la misma metodología del presente estudio para calcular el angio-IRM; en ese estudio se evidenció una correlación significativa entre el IRM convencional y el angio-IRM en los pacientes con IAMCEST ($R = 0,782$; $p < 0,001$)¹¹. También se observó una exactitud diagnóstica excelente del angio-IRM para predecir un IRM convencional > 40 U (sensibilidad, 75,0%; especificidad, 84,2%; exactitud, 80,6%; AUC, 0,899; IC95%, 0,786-0,949); en los pacientes con angio-IRM elevado > 40 U tras una ICPp, se observó un riesgo significativamente superior de eventos cardiovasculares adversos¹¹. El presente estudio muestra por primera vez el empleo del angio-IRM en la evaluación de la OMV tras una ICPp para el IAMCEST. Es importante señalar que el angio-IRM elevado > 40 U tras una ICPp para un IAMCEST tuvo un alto valor predictivo de OMV, con una capacidad de discriminación significativamente superior a la de los parámetros angiográficos convencionales de la reperfusión miocárdica.

Consecuencias clínicas y perspectivas futuras

Dado que la OMV podría ser un posible objetivo terapéutico en los pacientes con IAMCEST, resultaría beneficiosa una oportuna evaluación de la OMV en el centro. Aunque en el presente estudio no se determinó el tiempo exacto necesario para obtener el angio-IRM, el se puede calcular inmediatamente tras la obtención de la angio-FFR, que solo requirió una mediana de 5 [3,5-6,1] min en un estudio reciente¹⁶. Esto respalda nuevamente la aplicabilidad del angio-IRM en la práctica clínica diaria. En el presente estudio, el 88,3% de los pacientes con un angio-IRM elevado > 40 U tras una ICPp presentaron signos de OMV en la RMC, con valores de OMV, tamaño del infarto y AR significativamente mayores que lo observado en los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U. No obstante, debe señalarse que el 32,1% de los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U mostraron también una OMV en la RMC. Sin embargo, la extensión de la OMV de los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U y OMV fue significativamente menor que la de los pacientes con angio-IRM > 40 U y OMV (el 3,0% [2,1-5,1] frente al 6,0% [2,5-13,2]; $p < 0,001$). Además, un estudio previo reveló que los pacientes con OMV pero con función microvascular relativamente conservada según el IRM ≤ 40 U presentaron una regresión significativa del tamaño del infarto a lo largo del tiempo sin tratamientos adyuvantes preespecificados tras una ICPp⁷. Además, el angio-IRM mostró un valor pronóstico significativo tras la ICPp en los pacientes con IAMCEST, pues aumenta 3 veces el riesgo de muerte y reingreso por insuficiencia cardíaca de los pacientes con un angio-IRM elevado > 40 U¹¹. El angio-IRM podría desempeñar un papel en la identificación de los pacientes que puedan obtener mayor beneficio de posibles tratamientos adyuvantes para reducir la OMV tras una ICPp. No obstante, los resultados del presente estudio respaldan que hay relación entre el angio-IRM y la OMV en la RMC, pero no equivalencia entre ambos.

Se han hecho esfuerzos por encontrar tratamientos adyuvantes eficaces, como la administración intracoronaria de fármacos trombolíticos o vasodilatadores, para reducir la disfunción microcirculatoria o la OMV y mejorar los resultados después de una ICPp¹⁷⁻¹⁹. Sin embargo, los inhibidores de la glucoproteína IIb/IIIa solo se proponen en la guía vigente si hay signos de flujo no restablecido o complicación trombótica. Un factor importante que falta por determinar es la

identificación de los pacientes con mayor riesgo de OMV a los que podrían beneficiar los tratamientos adyuvantes. Dadas la importancia de la función microvascular coronaria y la discrepancia frecuente entre los parámetros angiográficos y los fisiológicos en la evaluación de la OMV, es posible que el angio-IRM permita una mejor selección de los pacientes que podrían beneficiarse de posibles tratamientos adyuvantes después de una ICPp. Un reciente estudio observacional ha puesto de manifiesto los posibles efectos beneficiosos de una oclusión intermitente del seno coronario controlada por presión guiada con el IRM durante la ICPp en los pacientes con IAMCEST²⁰. Se necesitan nuevos estudios para evaluar la viabilidad y la eficacia de las estrategias de tratamiento personalizadas guiadas por el angio-IRM tras una ICPp con objeto de reducir la OMV en los pacientes con IAMCEST.

Limitaciones

Hay varias limitaciones que es preciso señalar. En primer lugar, dado que en el presente estudio no se obtuvieron datos relativos a los resultados clínicos, no fue posible evaluar las consecuencias pronósticas del angio-IRM y los parámetros de la RMC. En segundo lugar, no se hizo una RMC de seguimiento, lo cual limita la investigación detallada de los cambios dinámicos de la disfunción microvascular después de un IAMCEST. En tercer lugar, dado que el angio-IRM se basa en la angiografía, su exactitud depende de la calidad de las imágenes y de la obtención de proyecciones óptimas. En cuarto lugar, el estudio se centró en la disfunción microcirculatoria limitada al territorio irrigado por el vaso culpable. Por consiguiente, no se evaluó el pronóstico comparativo según la presencia de una disfunción microcirculatoria subyacente en el territorio irrigado por otros vasos. En quinto lugar, el momento de obtención de la RMC fue diferente en cada paciente, y ello podría haber influido en los resultados de la RMC. Sin embargo, la mayoría de las RMC se realizaron en un plazo de 3-5 días tras la ICPp. En sexto lugar, en este estudio no fue posible examinar la exactitud del angio-IRM, dado que no se dispuso del IRM convencional determinado con una guía de presión. No obstante, el angio-IRM tras una ICPp se ha validado en estudios recientes por los autores del presente estudio¹¹ y otros⁹.

CONCLUSIONES

El angio-IRM mostró una asociación significativa con los valores del tamaño del infarto, la extensión de la OMV y el AR obtenidos en la RMC. Un angio-IRM elevado > 40 U tras una ICPp para un IAMCEST tuvo un alto valor predictivo de OMV en la RMC. Así pues, el angio-IRM, que no requiere una guía con sensor de presión-temperatura ni la inducción de hiperemia, puede ser una alternativa práctica al índice fisiológico convencional determinado mediante guía de presión y permite evaluar la disfunción microvascular y la falta de reperfusión del miocardio tras una ICPp para un IAMCEST.

FINANCIACIÓN

Este trabajo contó con el apoyo de Rainmed Ltd (Suzhou, China), que proporcionó el programa informático y la consola para el IRM y la FFR basados en la angiografía. Esta empresa no intervino en modo alguno en el diseño y la realización del estudio, el análisis de los datos o la elaboración del manuscrito.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

D. Shin y J. Kim contribuyeron por igual en este trabajo. Los autores confirman sus contribuciones al artículo: concepción y diseño del estudio: D. Shin, J. Kim, J.M. Lee; obtención de los datos: J. Kim, K.H. Choi, N. Dai, Y. Li, S.H. Lee, H.S. Joh, H.K. Kim, S-M. Kim, S.J. Ha, M.J. Jang, T.K. Park, J.H. Yang, Y.B. Song, J-Y. Hahn, S-H. Choi, Y.H. Choe, H-C. Gwon, J.M. Lee; análisis e interpretación de los resultados: D. Shin, J.

Kim, J.M. Lee; preparación de la propuesta inicial del manuscrito: D. Shin, J. Kim, J.M. Lee; revisión crítica del manuscrito respecto a contenido intelectual importante: D. Shin, J. Kim, K.H. Choi, N. Dai, Y. Li, S.H. Lee, S.J. Ha, H.K. Kim, S.-M. Kim, S.J. Ha, M.J. Jang, T.K. Park, J.H. Yang, Y.B. Song, J.-Y. Hahn, S.-H. Choi, Y.H. Choe, H.-C. Gwon, J.M. Lee. Todos los autores revisaron los resultados y aprobaron la versión final del manuscrito.

CONFLICTOS DE INTERESES

J.M. Lee recibió una subvención de investigación institucional de St. Jude Medical (Abbott Vascular) y Philips Volcano. J.-Y. Hahn recibió una subvención de investigación institucional de St. Jude Medical (Abbott Vascular) y Medtronic Inc. Todos los demás autores declaran no tener ningún conflicto de intereses relacionado con el trabajo presentado.

QUÉ SE SABE DEL TEMA

- La OMV identificada en la RMC es un indicador de mal pronóstico en los pacientes con IAMCEST después de una ICPp realizada con éxito.
- El IRM es un índice fisiológico determinado mediante una guía con sensor de presión que permite una evaluación cuantitativa de la función microvascular en un territorio vascular determinado.
- El IRM medido después de una ICPp para un IAMCEST se asocia con la aparición de OMV y eventos clínicos adversos.

¿QUÉ APORTA DE NUEVO?

- Este estudio evalúa la viabilidad del angio-IRM funcional obtenido sin guía con sensor de presión para la evaluación de la OMV después de una ICPp en pacientes con IAMCEST.
- Los pacientes con un angio-IRM > 40 U presentaron un tamaño del infarto y un extensión de la OMV determinados a partir de la RMC significativamente mayores ($p < 0,001$ en ambos casos) que los pacientes con angio-IRM ≤ 40 U.
- Un angio-IRM elevado > 40 U fue un firme predictor independiente de OMV en la RMC tras una ICPp para un IAMCEST (OR = 12,24; $p < 0,001$).
- El angio-IRM es una alternativa práctica al índice fisiológico convencional determinado mediante guía de presión y permite evaluar la disfunción microvascular y la falta de reperfusión del miocardio después de una ICPp para un IAMCEST.

ANEXO. MATERIAL ADICIONAL

Se puede consultar material adicional a este artículo en su versión electrónica disponible en <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2022.01.013>

BIBLIOGRAFÍA

1. Carrick D, Haig C, Ahmed N, et al. Comparative Prognostic Utility of Indexes of Microvascular Function Alone or in Combination in Patients With an Acute ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction. *Circulation*. 2016;134:1833–1847.
2. Niccoli G, Scalone G, Lerman A, et al. Coronary microvascular obstruction in acute myocardial infarction. *Eur Heart J*. 2016;37:1024–1033.
3. Durante A, Laricchia A, Benedetti G, et al. Identification of High-Risk Patients After ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction: Comparison Between Angiographic and Magnetic Resonance Parameters. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017;10:e005841.
4. de Waha S, Patel MR, Granger CB, et al. Relationship between microvascular obstruction and adverse events following primary percutaneous coronary intervention for ST-segment elevation myocardial infarction: an individual patient data pooled analysis from seven randomized trials. *Eur Heart J*. 2017;38:3502–3510.
5. Ahn SG, Hung OY, Lee JW, et al. Combination of the Thermomodulation-Derived Index of Microcirculatory Resistance and Coronary Flow Reserve Is Highly Predictive of Microvascular Obstruction on Cardiac Magnetic Resonance Imaging After ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *JACC Cardiovasc Interv*. 2016;9:793–801.
6. Cuculi F, De Maria GL, Meier P, et al. Impact of microvascular obstruction on the assessment of coronary flow reserve, index of microcirculatory resistance, and fractional flow reserve after ST-segment elevation myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol*. 2014;64:1894–1904.
7. De Maria GL, Alkhalil M, Wolfrum M, et al. Index of Microcirculatory Resistance as a Tool to Characterize Microvascular Obstruction and to Predict Infarct Size Regression in Patients With STEMI Undergoing Primary PCI. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12:837–848.
8. Li J, Gong Y, Wang W, et al. Accuracy of computational pressure-fluid dynamics applied to coronary angiography to derive fractional flow reserve: FLASH FFR. *Cardiovasc Res*. 2020;116:1349–1356.
9. De Maria GL, Scarsini R, Shanmuganathan M, et al. Angiography-derived index of microcirculatory resistance as a novel, pressure-wire-free tool to assess coronary microcirculation in ST elevation myocardial infarction. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2020;36:1395–1406.
10. Ai H, Feng Y, Gong Y, et al. Coronary Angiography-Derived Index of Microvascular Resistance. *Front Physiol*. 2020;11:605356.
11. Choi KH, Dai N, Li Y, et al. Functional Coronary Angiography-Derived Index of Microcirculatory Resistance in Patients With ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *JACC Cardiovasc Interv*. 2021;14:1670–1684.
12. Kotronias RA, Terentes-Prinzios D, Shanmuganathan M, et al. Long-Term Clinical Outcomes in Patients With an Acute ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction Stratified by Angiography-Derived Index of Microcirculatory Resistance. *Front Cardiovasc Med*. 2021;8:717114.
13. Gwag HB, Park TK, Song YB, et al. Morphine Does Not Affect Myocardial Salvage in ST-Segment Elevation Myocardial Infarction. *PLoS One*. 2017;12:e0170115.
14. Lang RM, Badano LP, Mor-Avi V, et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J Am Soc Echocardiogr*. 2015;28:1–39e14.
15. Stiermaier T, Thiele H, Eitel I. Coronary Microvascular Obstruction: Key Factor in the Prognosis of ST-Segment-Elevation Myocardial Infarction. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017;10:e006568.
16. Westra J, Andersen BK, Campo G, et al. Diagnostic Performance of In-Procedure Angiography-Derived Quantitative Flow Reserve Compared to Pressure-Derived Fractional Flow Reserve: The FAVOR II Europe-Japan Study. *J Am Heart Assoc*. 2018;7:e009603.
17. Fu Y, Gu XS, Hao GZ, et al. Comparison of myocardial microcirculatory perfusion after catheter-administered intracoronary thrombolysis with anisodamine versus standard thrombus aspiration in patients with ST-elevation myocardial infarction. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2019;93:839–845.
18. Stone GW, Maehara A, Witzenbichler B, et al. Intracoronary abciximab and aspiration thrombectomy in patients with large anterior myocardial infarction: the INFUSE-AMI randomized trial. *Jama*. 2012;307:1817–1826.
19. Niccoli G, Rigattieri S, De Vita MR, et al. Open-label, randomized, placebo-controlled evaluation of intracoronary adenosine or nitroprusside after thrombus aspiration during primary percutaneous coronary intervention for the prevention of microvascular obstruction in acute myocardial infarction: the REOPEN-AMI study (Intracoronary Nitroprusside Versus Adenosine in Acute Myocardial Infarction). *JACC Cardiovasc Interv*. 2013;6:580–589.
20. De Maria GL, Alkhalil M, Borlotti A, et al. Index of microcirculatory resistance-guided therapy with pressure-controlled intermittent coronary sinus occlusion improves coronary microvascular function and reduces infarct size in patients with ST-elevation myocardial infarction: the Oxford Acute Myocardial Infarction - Pressure-controlled Intermittent Coronary Sinus Occlusion study (OxAMI-PICOS study). *EuroIntervention*. 2018;14:e352–e359.