

Estudio de perfusión miocárdica por cardi resonancia magnética: comparación con la angiografía coronaria

Guillem Pons Lladó^a, Francesc Carreras^a, Rubén Leta^a,
Sandra Pujadas^a y Joan García Picart^b

^aSección de Imagen Cardíaca. Servicio de Cardiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona. ^bUnidad de Hemodinámica. Servicio de Cardiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona. España.

Introducción y objetivos. El estudio de la perfusión miocárdica regional por cardi resonancia magnética (CRM) permite la detección de lesiones coronarias significativas. El objetivo del presente estudio es determinar la utilidad de esta técnica en pacientes no seleccionados con cardiopatía isquémica.

Pacientes y método. Se incluyó a 32 pacientes (26 varones; edad media de 65 años). Se practicó un estudio de primer paso de gadolinio (0,05 mmol/kg) administrado por vía intravenosa periférica, basalmente y tras infusión de adenosina (140 mg/kg durante 6 min). La presencia de defecto de perfusión regional se estimó visualmente y se correlacionó con la angiografía coronaria.

Resultados. El estudio angiográfico mostró 49 lesiones coronarias significativas (> 70%). El estudio de CRM mostró un defecto de perfusión basal (fijo) en 35 territorios, y tras la infusión de adenosina, únicamente (reversible) en 16 segmentos adicionales, con un total de 51 territorios con defecto de perfusión. La sensibilidad para la detección de una lesión angiográficamente significativa fue del 78% con una especificidad del 75%, que se reducían al 54 y 65%, respectivamente, si sólo se consideraban los defectos fijos. El 26% de los territorios miocárdicos con necrosis previa no mostraba defecto de perfusión, si bien en ellos era frecuente una reperfusión previa y una arteria causante permeable.

Conclusiones. La presencia de un defecto de perfusión miocárdica regional por análisis visual del primer paso de gadolinio por CRM permite la detección de una lesión arterial coronaria significativa con un aceptable grado de exactitud diagnóstica, cuando se practican estudios bajo estrés farmacológico.

Palabras clave: *Resonancia magnética nuclear. Coronariografía. Enfermedad coronaria. Medios de contraste. Perfusión.*

Este estudio ha sido realizado con la ayuda de una Beca Bayer de Investigación de la Sociedad Española de Cardiología (año 2000).

Correspondencia: Dr. G. Pons Lladó.
Sección de Imagen Cardíaca. Servicio de Cardiología. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.
Avda. Antoni M. Claret, 167. 08025 Barcelona. España.
Correo electrónico: gpons@hsp.santpau.es

Recibido el 27 de octubre de 2003.
Aceptado para su publicación el 17 de marzo de 2004.

Assesment of Myocardial Perfusion by Cardiovascular Magnetic Resonance: Comparison With Coronary Angiography

Introduction and objectives. The assessment of regional myocardial perfusion by cardiovascular magnetic resonance imaging makes it possible to detect significant coronary artery lesions. The purpose of this study was to determine the usefulness of this technique in non-selected patients with ischemic heart disease.

Patients and method. The study group included 32 patients (26 men; mean age: 65 years old). Gadolinium (0.05 mmol/kg) for first-pass imaging was administered through a peripheral vein, both at rest and after adenosine infusion (140 mg/kg for 6 min). The presence of a regional perfusion defect was assessed visually, and these images were compared against coronary angiographic images.

Results. Angiography showed 49 significant (> 70%) obstructive lesions in a coronary artery. Magnetic resonance showed a perfusion defect at rest (fixed) in 35 myocardial segments, and only after adenosine infusion (reversible) in 16 additional regions, for a total of 51 segments with perfusion defect. Sensitivity for the detection of an angiographically significant coronary lesion was 78%, with a specificity of 75%. These figures decreased to 54% and 65%, respectively, when only fixed defects were considered. There were no visible defects in 26% of the myocardial territories with proven previous necrosis, although effective reperfusion and patent culprit arteries were frequently seen in these cases.

Conclusions. The detection of a regional myocardial perfusion defect by visual analysis with first-pass gadolinium and cardiovascular magnetic resonance imaging shows good diagnostic accuracy for the presence of significant coronary artery obstruction, provided that both rest and pharmacological stress studies are performed.

Key words: *Magnetic resonance imaging. Coronary angiography. Coronary disease. Contrast media. Perfusion.*

Full English text available at: www.revespcardiol.org

VÉASE EDITORIAL EN PÁGS. 379-81

ABREVIATURAS

CRM: cardiorresonancia magnética.

INTRODUCCIÓN

La cardiorresonancia magnética (CRM) dispone de una serie de secuencias para su aplicación en las enfermedades cardiovasculares, entre las que se cuentan las diseñadas específicamente para el estudio de la perfusión miocárdica regional. Esto se efectúa por medio del análisis de la cinética de primer paso de un agente de contraste paramagnético administrado en forma de bolo por vía intravenosa: un deficiente aumento de intensidad de señal en una región miocárdica indicaría un defecto en la perfusión miocárdica, tal como se ha demostrado experimentalmente y en clínica humana¹.

Tal defecto es debido, en general, a una estenosis coronaria severa, aunque una afección microvascular regional en segmentos previamente infartados puede dar lugar también a un defecto de perfusión, incluso en ausencia de una obstrucción arterial coronaria epicárdica². Por otra parte, se ha mencionado que la presencia de circulación colateral puede minimizar un defecto de perfusión, incluso en presencia de lesiones coronarias significativas³.

Una lesión obstructiva arterial coronaria puede no manifestarse en forma de un defecto regional de perfusión miocárdica en condiciones de reposo, por lo que el estudio de primer paso de gadolinio por CRM llevado a cabo bajo estimulación farmacológica, con agentes como el dipiridamol o la adenosina, ha demostrado un valor diagnóstico adecuado de la técnica para la detección de lesiones angiográficamente significativas⁴, así como una buena correlación con los estudios con isótopos radiactivos⁵.

A pesar de que la técnica se ha desarrollado hasta alcanzar un cierto grado de implementación en la práctica de grupos expertos en CRM⁶, la experiencia es aún limitada, y la mayoría de los estudios son series reducidas y seleccionadas de pacientes, en particular los que presentan lesiones coronarias únicas y sin episodios previos de necrosis miocárdica⁷.

El objetivo del presente estudio es determinar la utilidad del análisis de la perfusión miocárdica regional por primer paso de gadolinio, basal y bajo estrés farmacológico, para detectar la presencia de lesiones coronarias angiográficamente significativas en pacientes no seleccionados con cardiopatía isquémica o sospecha de ella. Como objetivos secundarios se estudió el efecto sobre la perfusión miocárdica de la eventual presencia de infarto previo, de oclusión arterial coronaria y de circulación colateral.

PACIENTES Y MÉTODO

Se incluyó a 32 pacientes (26 varones; edad media, 65 años; rango, 32-88 años) programados para angiografía coronaria convencional en los que, de forma consecutiva, si bien dependiente de la disponibilidad del equipo de resonancia, se practicó un examen de CRM previo consentimiento informado. La inclusión en el estudio se consideraba únicamente en el caso de que no hubiera contraindicaciones para el examen de CRM (marcapasos implantado, objetos metálicos o claustrofobia).

Estudio de cardiorresonancia magnética

Se llevó a cabo por medio de un equipo Intera (Philips, Best, Holanda) de 1,5 T de potencia de campo, equipado con gradientes *Power* (20 mT/m de amplitud y 75 mT/s de *slew rate*) y paquete de *software* de aplicaciones cardíacas (*Release 8*).

A partir de una serie de cortes localizadores en los planos axial, coronal y sagital torácicos, se programaba una serie de 3 cortes paralelos, orientados en planos de eje corto del ventrículo izquierdo, a nivel basal, medio y apical, con una secuencia de espacio-k segmentado híbrida, Turbo Gradient Echo/Echo Planar Imaging, con disparo único sincronizado con el ECG, y preparada con prepulso de saturación. Se obtienen así 3 cortes en la fase diastólica de cada ciclo cardíaco, hasta un máximo de 80 ciclos, realizados en apnea, con respiraciones intercaladas en períodos predeterminados. El disparo de la secuencia se realizaba simultáneamente con la administración de 0,05 mmol/kg de gadoteridol (ProHance, Lab Farm Rovi) como agente de contraste, infundido por vía intravenosa periférica por medio de bomba automática a una velocidad de 4 ml/s. Este protocolo se llevaba a cabo en 2 ocasiones: inmediatamente después de haber administrado al paciente una infusión intravenosa de adenosina de 140 g/kg en 6 min (estudio de esfuerzo), y transcurridos 15 min, en este caso sin administración del fármaco (estudio basal). Dadas las limitaciones para controlar al paciente durante la exploración de resonancia magnética, la infusión de adenosina se practicaba con el paciente fuera del imán, aunque en la propia mesa de exploración, a fin de facilitar un eventual acceso inmediato a la unidad portátil de reanimación cardiopulmonar, ubicada en el exterior de la sala.

Análisis de las imágenes de cardiorresonancia magnética

El análisis de los estudios de perfusión se realizó en una estación de trabajo especializada (MASS, Medical Imaging Solutions, Leiden, Holanda) y se evaluó cualitativamente el aumento de intensidad de señal miocárdica (fig. 1) en cada uno de los 16 secto-

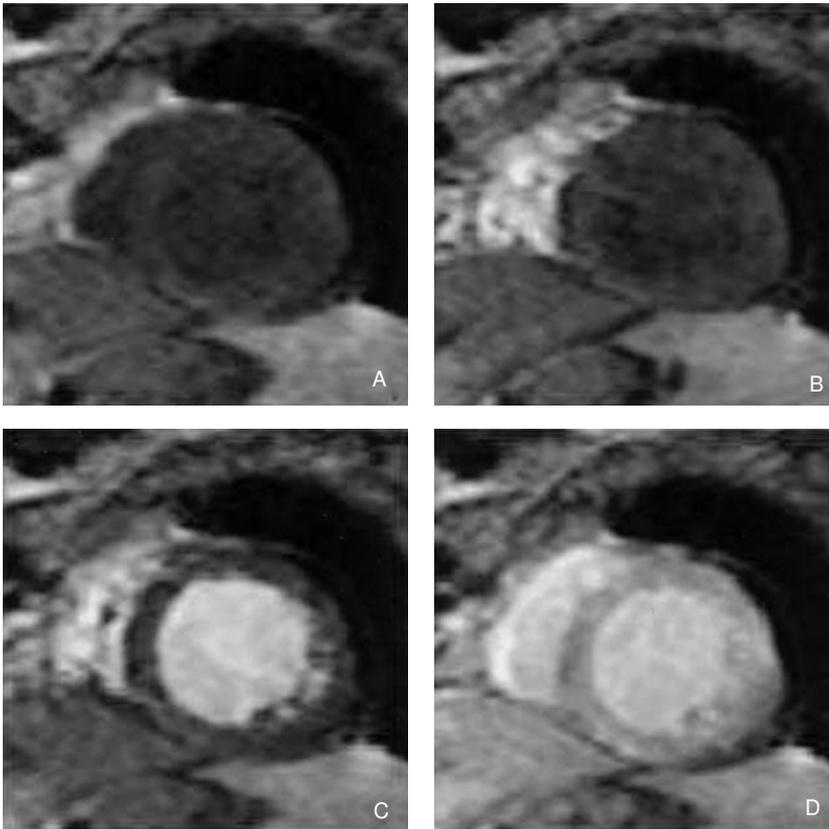


Fig. 1. Fases de un estudio de perfusión miocárdica por primer paso de gadolinio en 1 de los 3 cortes de la secuencia, correspondiente, en este caso, al nivel medioventricular. A: basal, inmediatamente previo a la inyección de contraste: las características de la secuencia provocan una baja intensidad de señal tanto del miocardio como del torrente sanguíneo. B: llegada de contraste al ventrículo derecho. C: llegada al ventrículo izquierdo. D: llegada al miocardio, con aumento de intensidad de señal uniforme en todos los segmentos miocárdicos, lo que en este caso indica una perfusión miocárdica normal.

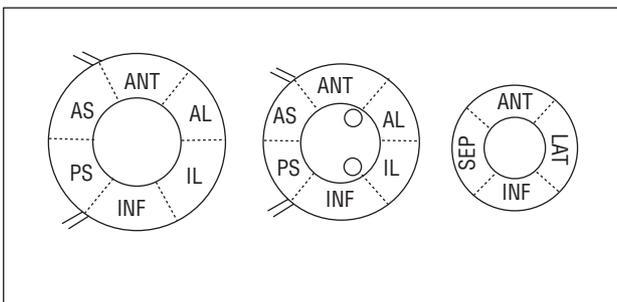


Fig. 2. División en segmentos del ventrículo izquierdo sobre cortes basal (izquierda), medial (centro) y apical (derecha), siguiendo el esquema y la terminología propuestas por Cerqueira et al⁸. AL: anterolateral; ANT: anterior; AS: anteroseptal; IL: inferolateral; INF: inferior; LAT: lateral; PS: posteroseptal; SEP: septal.

res en que se dividieron los 3 cortes del ventrículo izquierdo⁸ (fig. 2). Dos observadores valoraron por acuerdo la presencia o no de defecto de perfusión y, además, determinaron su localización, su extensión subendocárdica o transmural, según afectara a menos o más del 50% del grosor parietal, respectivamente, y su carácter reversible (provocable sólo tras el esfuerzo), o bien fijo (presente en reposo y esfuerzo; fig. 3). Según la distribución teórica de los vasos coronarios (fig. 4), se atribuyó la presencia de obstrucción coronaria significativa en el vaso causante de un territorio que mostrara cualquier tipo de defecto de perfusión.

Estudio angiográfico

Se practicó una angiografía coronaria convencional con un intervalo con respecto a la CRM inferior a una semana en el 90% de los casos y en ningún caso superior a un mes. Un observador experimentado analizó las imágenes independientemente de los resultados del estudio de CRM, y determinó la presencia, la localización y el grado de obstrucción arterial coronaria, expresado en porcentaje de reducción de la luz arterial con respecto a un segmento cercano del vaso considerado sano. Se estimó como significativa una lesión arterial coronaria que provocara una obstrucción superior al 70%. Asimismo, se evaluaron la presencia y el grado de circulación colateral, se anotó el territorio arterial coronario irrigado y se calificó la extensión de esa red colateral como ligera o significativa.

Análisis estadístico

Para determinar el valor diagnóstico del estudio de perfusión miocárdica por CRM en la detección de la presencia de lesiones arteriales coronarias significativas en la angiografía, se definió la sensibilidad como la proporción de vasos arteriales coronarios con lesiones significativas detectados por la presencia de un defecto de perfusión en el estudio de CRM, mientras que la especificidad se definió como la proporción de arterias sin lesiones angiográficas significativas que no

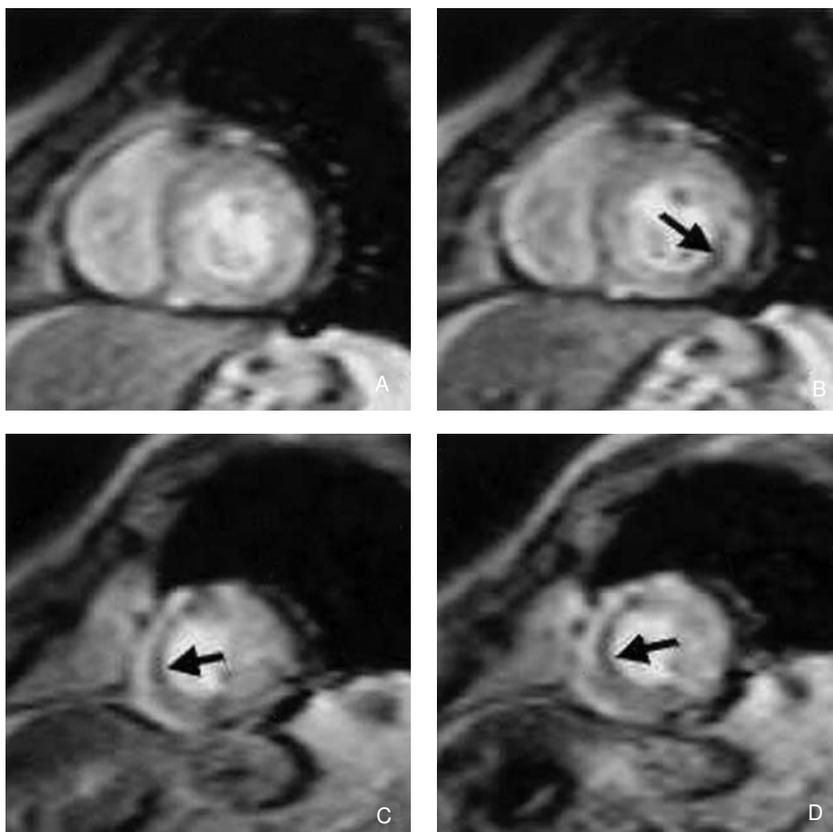


Fig. 3. Defecto de perfusión reversible. A: estudio basal, sin aparentes defectos. B: estudio de esfuerzo en el que se observa un defecto subendocárdico en la cara lateral (flecha). Defecto de perfusión fijo: C: estudio basal, con defecto transmural en la región septal (flecha). D: estudio de esfuerzo, con persistencia del defecto en la misma zona (flecha).

presentaban defecto de perfusión miocárdica en el estudio de CRM. Se calcularon los intervalos de confianza del 95% de la sensibilidad y especificidad, y los valores predictivo positivo y negativo del método.

RESULTADOS

Los pacientes del grupo de estudio presentaban la siguiente prevalencia de factores de riesgo cardiovasculares: hipertensión en un 53%, tabaquismo en un 72%, hipercolesterolemia en un 53% y diabetes en un 31%. Un total de 18 pacientes (56%) tenía una historia de infarto de miocardio previo al estudio de CRM, demostrado por criterios clínicos, electrocardiográficos y enzimáticos. Tres pacientes (9%) habían sido intervenidos de injerto aortocoronario, y 6 (19%) habían sido sometidos a angioplastia coronaria.

Estudios angiográficos

Se pudo visualizar todos los vasos coronarios en todos los pacientes. Se detectó enfermedad arterial coronaria de cualquier grado en 27 pacientes, cifra que indica una prevalencia del 84% en el grupo de estudio, y en 23 de ellos (72%) las lesiones eran significativas. Considerando los 3 troncos coronarios principales, cada uno con sus ramas, como territorios independientes, se evaluó un total de 96 territorios vasculares y se

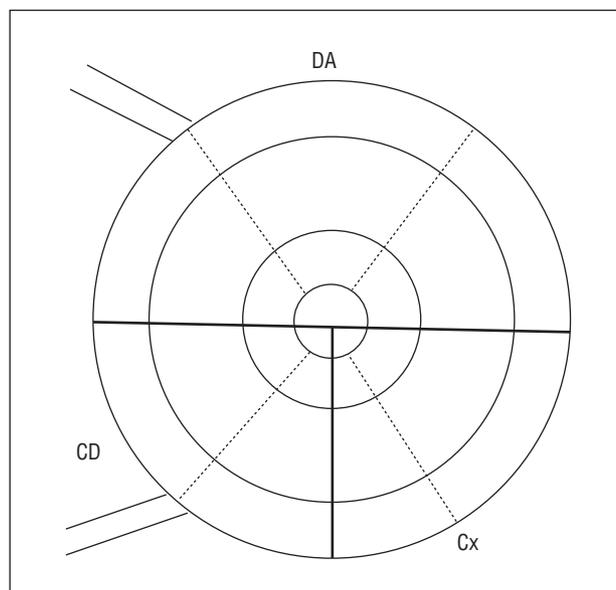


Fig. 4. Territorio de distribución teórico de los troncos coronarios principales en los segmentos miocárdicos visualizados en el estudio de cardi resonancia magnética: se muestran concéntricamente los cortes basal, medio y apical representados en la figura 2. CD: arteria coronaria derecha; Cx: circunfleja; DA: descendente anterior.

detectaron 49 lesiones significativas (14 en la coronaria descendente anterior; 17 en la circunfleja y 18 en la derecha), de las que 20 eran oclusivas (7 en la corona-

ria descendente anterior, 4 en la circunfleja y 9 en la derecha).

Los 3 pacientes intervenidos de revascularización coronaria eran portadores de 5 injertos en total, 2 de ellos ocluidos y 3 permeables; estos últimos fueron considerados como sin lesión en el territorio correspondiente, aunque hubiera obstrucción arterial coronaria en el vaso nativo a efectos de la comparación con el estudio de perfusión.

En un paciente había una lesión del 70% en el tronco común de la coronaria izquierda, aunque presentaba también lesiones significativas adicionales en la descendente anterior y en la circunfleja. Asimismo, en 1 caso había una dominancia anatómica de la coronaria izquierda: en este caso se consideraron los segmentos inferiores del ventrículo izquierdo como dependientes de la coronaria circunfleja, y no de la derecha.

Se estimó que había circulación coronaria colateral significativa en 15 territorios, y ligera en otros 6 adicionales.

Estudios de cardi resonancia magnética

En todos los pacientes se pudo llevar a cabo el protocolo completo de CRM, sin aparición de complicaciones debidas a la administración de adenosina, aunque 10 pacientes (31%) refirieron sensación de malestar torácico durante la infusión, que cedió en todos los casos al finalizarla y que no obligó en ninguna ocasión a interrumpirla precozmente.

La calidad de los estudios fue juzgada por los observadores como buena en 22 pacientes (69%), mientras que en los 10 restantes fue considerada como regular debido a la presencia de los denominados artefactos de susceptibilidad magnética o a la delgadez de la propia pared miocárdica en los segmentos con infarto previo, aunque ello en ningún caso impidió el análisis.

Se evaluó un total de 512 segmentos miocárdicos que, atribuidos a los vasos coronarios principales, permitieron la estimación de la perfusión en 96 territorios miocárdicos con irrigación coronaria teóricamente independiente. Se observó un defecto de perfusión fijo (existente en reposo y esfuerzo) en 35 territorios, mientras que tras la infusión de adenosina se observó un defecto no presente en reposo (reversible) en 16 segmentos adicionales, con un total de 51 (53%) territorios con defecto de perfusión, ya fuera fijo o reversible. En 48 de estos 51 territorios (94%), el defecto de perfusión observado era de carácter subendocárdico, y tan sólo en 3 casos fue transmural.

La sensibilidad de la presencia de un defecto de perfusión en el estudio de CRM, incluidos tanto los reversibles como los fijos, para la detección de una lesión arterial coronaria significativa en la angiografía, fue del 78%, con una especificidad del 75%, un valor predictivo positivo del 71% y un valor predictivo negativo del 81%. En la tabla 1 se detallan los resultados

para cada territorio coronario en particular. Se efectuó un análisis considerando tan sólo la presencia de defectos ya presentes en reposo (fijos) y prescindiendo del estudio de esfuerzo, con lo que el valor diagnóstico del método se reducía notablemente, con una sensibilidad del 54% y especificidad del 65%.

Efecto de la presencia de infarto previo sobre la perfusión miocárdica

Los estudios de perfusión por CRM en los 18 pacientes que habían sufrido infarto de miocardio clínicamente manifiesto, con 19 episodios en total, ya que uno de ellos presentaba historia de 2 infartos independientes, mostraron defecto en 14 (74%) de los territorios con necrosis previa, de carácter fijo en la mitad de ellos y reversible en el resto. Los vasos causantes del infarto en estos 14 casos se hallaban ocluidos en 9 y presentaban lesiones significativas en 3, mientras que éstas eran no significativas en 2 pacientes, 1 de ellos tratado con fibrinólisis en la fase aguda del infarto y 1 con una angioplastia primaria efectiva.

En 5 casos (26%) se observó perfusión miocárdica aparentemente normal en territorios sobre los que había evidencia clínica de infarto previo: 3 de estos pacientes habían sido sometidos a fibrinólisis —aparentemente efectiva— durante la fase aguda de su episodio de infarto y, de hecho, no mostraban lesiones residuales significativas en la angiografía coronaria.

Oclusión arterial coronaria frente a obstrucción significativa

Se analizaron también específicamente los estudios de perfusión en territorios dependientes de arterias ocluidas y aquellos con vasos que presentaban lesiones obstructivas de grado significativo. Con lesiones oclusivas (n = 18), había 14 casos con defectos de perfusión (7 fijos y 7 reversibles) y 4 casos de perfusión aparentemente normal. En territorios con arterias permeables aunque con lesiones obstructivas significativas (n = 28) se observaron 22 defectos de perfusión (16 fijos y 6 reversibles) y 6 estudios sin defecto visible.

Efecto de la presencia de circulación colateral

Se analizaron los resultados del estudio de perfusión en los territorios en que se había detectado una lesión coronaria significativa pero en los que se visualizaba una red de circulación colateral manifiesta (n = 15). En ellos se apreció que el estudio de perfusión por CRM mostraba un defecto (verdadero positivo) en 13 casos (9 de tipo fijo y 4 reversible), mientras que era aparentemente normal (falso negativo) tan sólo en 2.

TABLA 1. Comparación entre la presencia de defectos de perfusión por cardi resonancia magnética (CRM) y de lesiones arteriales coronarias significativas en la angiografía, considerando separadamente los 3 troncos coronarios principales

	Descendente anterior		Circunfleja		Derecha		Global	
	Angiografía +	Angiografía -	Angiografía +	Angiografía -	Angiografía +	Angiografía -	Angiografía +	Angiografía -
CRM +	10	6	11	6	15	3	36	15
CRM -	2	14	5	19	3	11	10	44
S (%)		83		69		83		78
IC del 95%		55-95		44-86		61-94		64-88
E (%)		70		76		79		75
IC del 95%		48-85		57-88		52-92		62-84
VPP (%)		63		65		83		71
VPN (%)		87		79		79		81

E: especificidad; IC del 95%: intervalo de confianza del 95%; S: sensibilidad; VPN: valor predictivo negativo; VPP: valor predictivo positivo.

DISCUSIÓN

El presente estudio demuestra que la estimación de la perfusión miocárdica regional por análisis visual de las imágenes de CRM durante el primer paso de gadolinio permite la detección de la presencia de lesiones arteriales coronarias significativas, con un buen grado de precisión diagnóstica, siempre y cuando se lleven a cabo en cada caso estudios de perfusión, tanto en situación basal como de esfuerzo.

La técnica de estudio, aunque relativamente compleja, resultó aplicable e interpretable en todos los pacientes. No se observaron complicaciones atribuibles a la provocación de isquemia, probablemente debido a la utilización de adenosina como agente de esfuerzo, cuyo perfil farmacológico es reconocidamente seguro, en especial por la brevedad de su vida media.

En el análisis de las imágenes de CRM por primer paso de gadolinio, se ha preconizado la aplicación de métodos de semicuantificación como la determinación de la reserva de perfusión miocárdica, que relaciona las pendientes de la curva de intensidad de dicha señal miocárdica en reposo y esfuerzo^{3,9-11}. Aunque dichos estudios han demostrado una buena precisión diagnóstica del método para la detección de estenosis coronaria significativa, en nuestra experiencia dicha técnica de semicuantificación es de realización ardua y requiere estudios de calidad óptima. Por ello, optamos por la estimación cualitativa de la perfusión miocárdica regional, tal como han hecho otros autores, tanto en estudios de investigación clínica^{7,12} como en protocolos de aplicaciones clínicas de la CRM⁶.

El análisis visual de las imágenes de perfusión por primer paso permitió detectar el carácter mayoritariamente subendocárdico de los defectos, tal como se ha apreciado en otros estudios¹³, y de acuerdo con el concepto fisiopatológico aceptado de la mayor vulnerabilidad del subendocardio a la isquemia miocárdica¹⁴. Asimismo, se identificó la naturaleza fija o reversible del defecto. Aunque otros autores han sugerido que un defecto de tipo fijo se asociaría a casos con oclusión

coronaria¹¹, en nuestro estudio observamos defectos de tipo fijo o reversible, tanto en territorios con oclusión coronaria como con obstrucción significativa. Además, tampoco los defectos fijos fueron más frecuentes en los pacientes con infarto previo, ni la presencia de circulación colateral influyó en el carácter dinámico del defecto. Creemos que ello es atribuible a que la población estudiada se componía mayoritariamente de pacientes con cardiopatía isquémica evolucionada, con episodios de infarto y, con frecuencia, con intervencionismo previo, en los que un trastorno de la perfusión puede depender, además de la presencia y el grado de una estenosis arterial coronaria actual, de una alteración microcirculatoria residual tras un episodio de isquemia o infarto previos.

Resulta interesante que en el grupo de pacientes con infarto se pudo observar un estudio de perfusión sin aparente defecto en el 26% de casos, hecho descrito por otros autores¹⁵ e indicativo para algunos¹⁶ de viabilidad miocárdica. En 3 de los 5 pacientes en los que observamos este hecho se había efectuado una reperfusión en apariencia efectiva en la fase aguda del infarto, con arterias causales angiográficamente permeables en el momento del estudio.

En conjunto, y aunque la técnica de perfusión por primer paso resultó útil para la detección de lesiones coronarias significativas, persiste un cierto número de observaciones, tanto falsas positivas como negativas (tabla 1). En el primer caso, es posible invocar la presencia de un defecto de perfusión en la microcirculación en los pacientes con infarto previo y arteria epicárdica permeable³. Esto sucedió en los 2 pacientes con infarto previo manifiesto y arteria abierta en la coronariografía (fig. 5). Por otra parte, se ha puesto énfasis en que el desarrollo de una adecuada red de circulación colateral puede prevenir la presencia de un defecto de perfusión, incluso en estenosis coronarias significativas^{3,13}, lo que explica los casos de falso negativo. Analizado específicamente este punto en nuestra serie, observamos que la mayoría de los pacientes (13 de 15) con obstrucción coronaria aparentemente

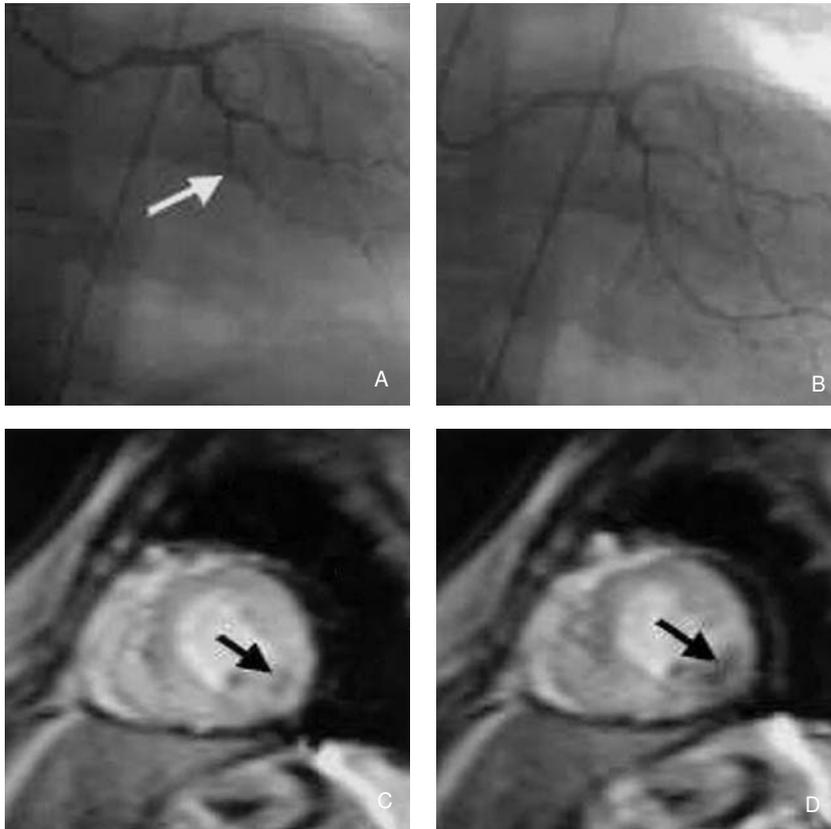


Fig. 5. Oclusión de la arteria coronaria circunfleja (flecha en A), que se muestra permeable tras angioplastia (B); el estudio de cardiorensonancia magnética después del intervencionismo muestra defecto de perfusión en cara lateral, tanto basal (flecha en C) como, más marcado, tras la infusión de adenosina (flecha en D).

«protegida» por una red de circulación colateral seguía presentando un defecto de perfusión en el estudio de primer paso, motivo que explicaría que tan sólo hubiera 2 casos de falso negativo. Es difícil determinar el grado de desarrollo de circulación colateral preciso para contrarrestar un defecto de perfusión miocárdico, en reposo o esfuerzo, pero en nuestro caso, su presencia no pareció influir en la detección de defectos de perfusión por esta técnica de CRM, y en esta serie de pacientes, como hemos dicho, con cardiopatía isquémica evolucionada y probables alteraciones microcirculatorias previas. En el caso de la arteria circunfleja, se observó una relativa mayor proporción de casos falsos negativos, lo que derivó en una menor sensibilidad de la técnica en este caso (tabla 1), atribuible quizá a la variabilidad anatómica de la extensión de los territorios miocárdicos irrigados por las ramas coronarias derecha y circunfleja.

En cualquier caso, hay que considerar la relación entre el grado de estenosis arterial coronaria y la reducción de la perfusión miocárdica regional que, como se sabe, no es lineal. Se precisa la presencia de una estenosis arterial coronaria de al menos el 40% en la angiografía para que haya compromiso de la perfusión¹⁷, mientras que con una lesión del 70%, la reserva de flujo coronario se reduce en un 50%¹⁸. Aunque una reducción de esta magnitud es detectable por la técnica de primer paso de gadolinio en el animal de experi-

mentación y utilizando métodos de semicuantificación de intensidad de señal miocárdica¹⁹, las condiciones en el terreno clínico y con una lectura cualitativa es probable que no sean igualmente sensibles. Esto puede explicar tanto casos falsos positivos como negativos, cuando se considera como punto de corte la presencia de estenosis angiográfica del 70%, como en nuestro caso.

Entre las limitaciones del presente estudio cabe mencionar la estimación de la presencia de defectos de perfusión por análisis visual. Como hemos comentado, el análisis semicuantitativo de múltiples curvas de intensidad de señal en cada caso y su sensibilidad a los artefactos hacen de este sistema una herramienta limitada, a nuestro juicio, al terreno experimental. Por otra parte, realizaron el análisis visual 2 observadores, aunque no de forma independiente sino por acuerdo, lo que no permite el cálculo de diferencias interobservador. Esto fue así por considerar que la reciente incorporación de la técnica, con una curva de aprendizaje común entre los observadores, hacía poco realista un análisis de este tipo, aunque no cabe duda de que este aspecto deberá ser evaluado en futuros estudios.

La comparación de los valores de exactitud diagnóstica del estudio de perfusión por CRM con los aportados por otras técnicas de detección de isquemia, como la utilización de isótopos o la ecocardiografía de es-

fuerzo²⁰, no resulta particularmente favorable para la CRM, a juzgar por los resultados de este estudio, aunque otros trabajos⁷ realizados en series de pacientes seleccionados la han hallado superior a los radionúclidos. En cualquier caso, no es probable que, por el momento, las técnicas convencionales se vean desplazadas, en la práctica, como método aislado de detección de isquemia miocárdica provocable. El lugar del estudio de perfusión por CRM se halla, a nuestro entender, en el marco integrado del conjunto de métodos de estudio de la cardiopatía isquémica por CRM: en efecto, el análisis de perfusión por primer paso complementa los estudios de función ventricular, global y segmentaria, en secuencias de cine, y de necrosis y viabilidad miocárdica, por medio de secuencias de contraste tardías, permite un estudio realmente integral de los pacientes con cardiopatía isquémica²¹ y forma parte actualmente de los protocolos de aplicaciones prácticas de la técnica⁶.

En conclusión, la presencia de defecto de perfusión miocárdica regional por análisis visual del primer paso de gadolinio por CRM permite la detección de las lesiones arteriales coronarias significativas con un aceptable grado de exactitud diagnóstica, siempre y cuando el estudio se practique en reposo y esfuerzo farmacológico. Desde una perspectiva de aplicación clínica práctica, es preciso considerar la presencia de factores adicionales a la mera estenosis angiográfica, como necrosis miocárdica previa, revascularización o circulación colateral, que pueden influir en la perfusión miocárdica regional visualizada por esta técnica.

AGRADECIMIENTO

Los autores desean reconocer la labor de Marc Gómez y Ricard Cullell, técnicos de radiología, en la realización de los estudios de CRM.

BIBLIOGRAFÍA

1. Wilke N, Jerosch-Herold M, Wang Y, Huang Y, Christensen BV, Stillman AE, et al. Myocardial perfusion reserve: assessment with multisection, quantitative, first-pass MR imaging. *Radiology* 1997;204:373-84.
2. Sandstede JJW, Lipke C, Beer M, Harre K, Pabst T, Kenn W, et al. Analysis of first-pass and delayed contrast-enhancement patterns of dysfunctional myocardium on MR imaging: use in the prediction of myocardial viability. *AJR Am J Roentgenol* 2000; 174:1737-40.
3. Cullen JHS, Horsfield MA, Reek CR, Cherryman GR, Barnett DB, Samani NJ. A myocardial perfusion reserve index in humans using first-pass contrast-enhanced magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:1386-94.
4. Lauerma K, Virtanen KS, Sipilä LM, Hekali P, Aronen HJ. Multislice MRI in assessment of myocardial perfusion in patients with single-vessel proximal left anterior descending coronary artery disease before and after revascularization. *Circulation* 1997; 96:2859-67.
5. Keijer JT, Van Rossum AC, Van Eenige MJ, Bax JJ, Visser FC, Teule JJ, et al. Magnetic resonance imaging of regional myocardial perfusion in patients with single-vessel coronary artery disease: quantitative comparison with 201Thallium-SPECT and coronary angiography. *J Magn Reson Imaging* 2000;11:607-15.
6. Plein S, Ridgway JP, Jones TR, Bloomer TN, Sivananthan M. Coronary artery disease: assessment with a comprehensive MR imaging protocol: initial results. *Radiology* 2002;225:300-7.
7. Ishida N, Sakuma H, Motoyasu M, Okinaka T, Isaka N, Nakano T, et al. Noninfarcted myocardium: correlation between dynamic first-pass contrast: enhanced myocardial MR imaging and quantitative coronary angiography. *Radiology* 2003;229:209-16.
8. Cerqueira MD, Weissman NJ, Dilsizian V, Jacobs AK, Kaul S, Laskey WK, et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation* 2002;105:539-42.
9. Al-Saadi N, Nagel E, Gross M, Bornstedt A, Schnackenburg B, Klein C, et al. Noninvasive detection of myocardial ischemia from perfusion reserve based on cardiovascular magnetic resonance. *Circulation* 2000;101:1379-83.
10. Schwitler J, Nanz D, Kneifel S, Bertschinger K, Büchi M, Knüsel PR, et al. Assessment of myocardial perfusion in coronary artery disease by magnetic resonance. A comparison with positron emission tomography and coronary angiography. *Circulation* 2001;103:2230-5.
11. Nagel E, Klein C, Paetsch I, Hettwer S, Schnackenburg B, Wegscheider K, et al. Magnetic resonance perfusion measurements for the noninvasive detection of coronary artery disease. *Circulation* 2003;108:432-7.
12. Sensky PR, Samani NJ, Reek C, Cherryman GR. Magnetic resonance perfusion imaging in patients with coronary artery disease: a qualitative approach. *Int J Cardiovasc Imaging* 2002;18:373-83.
13. Jerosch-Herold M, Wilke N. MR first pass imaging: quantitative assessment of transmural perfusion and collateral flow. *Int J Cardiac Imaging* 1997;13:205-18.
14. Bache RJ, Schwartz JS. Effect of perfusion pressure distal to a coronary stenosis on transmural myocardial blood flow. *Circulation* 1982;65:928-35.
15. Sandstede JJW, Lipke C, Beer M, Harre K, Pabst T, Kenn W, et al. Analysis of first-pass and delayed contrast-enhancement patterns of dysfunctional myocardium on MR imaging. Use in the prediction of myocardial viability. *AJR Am J Roentgenol* 2000; 174:1737-40.
16. Kramer CM, Rogers WJ, Mankad S, Theobald TM, Pakstis DL, Hu YL. Contractile reserve and contrast uptake pattern by magnetic resonance imaging and functional recovery after reperfused myocardial infarction. *J Am Coll Cardiol* 2000;36:1835-40.
17. Uren NG, Melin JA, De Bruyne B, Wijns W, Baudhuin T, Camici PG. Relation between myocardial blood flow and the severity of coronary artery stenosis. *N Engl J Med* 1994;330:1782-8.
18. Wilson R, Marcus M, White C. Prediction of the physiologic significance of coronary arterial lesions by quantitative lesion geometry in patients with limited coronary artery disease. *Circulation* 1987;75:723-32.
19. Klocke FJ, Simonetti OP, Judd RM, Kim RJ, Harris KR, Hedjbeli S, et al. Limits of detection of regional differences in vasodilated flow in viable myocardium by first-pass magnetic resonance perfusion imaging. *Circulation* 2001;104:2412-6.
20. Candell-Riera J, Martín-Comín J, Escaned J, Peteiro J. Valoración fisiológica de la circulación coronaria. Papel de las técnicas invasivas y no invasivas. *Rev Esp Cardiol* 2002;55:271-91.
21. Forder JR, Pohost GM. Cardiovascular nuclear magnetic resonance: basic and clinical applications. *J Clin Invest* 2003;111:1630-9.