

Estado actual del estudio de las arterias coronarias y los injertos quirúrgicos por métodos no invasivos

Guillermo Pons Lladó

Secció d'Imatge Cardíaca. Departament de Cardiologia. Hospital de la Santa Creu i Sant Pau. Barcelona.

arterias coronarias/ cardiopatías congénitas/ diagnóstico por la imagen/ ecocardiografía/ permeabilidad coronaria/ resonancia magnética nuclear/ tomografía axial computadorizada/ trasplante homólogo

Las ventajas que reportaría poder disponer de un método no invasivo para la visualización de las arterias coronarias como alternativa a la coronariografía convencional son obvias. Tal objetivo no se ha conseguido por medio de la ecocardiografía ni mediante la tomografía axial computadorizada. La resonancia magnética ha generado esperanzas en este sentido a partir de comunicaciones recientes de su capacidad para reproducir imágenes de los vasos coronarios, incluyendo la posibilidad de identificar lesiones obstructivas de los mismos. Estos estudios preliminares, sin embargo, no se han visto seguidos de otros en los que se haya confirmado que la técnica representa una alternativa válida en la práctica, probablemente debido a la complejidad del procedimiento, con los métodos de resonancia magnética actuales, así como al formidable desafío que representa la obtención de estudios completos de forma sistemática de una estructura como el árbol arterial coronario por medio de una técnica tomográfica como la resonancia magnética. De mayor interés clínico resulta, por otra parte, la aplicación de la resonancia magnética en el estudio de aspectos determinados de la patología coronaria, como las anomalías congénitas o bien la determinación de la permeabilidad de los injertos aortocoronarios.

PRESENT ROLE OF NON-INVASIVE DIAGNOSTIC METHODS IN THE STUDY OF CORONARY ARTERIES AND SURGICAL BYPASS GRAFTS

The advantages of visualizing the coronary arteries by means of a non-invasive technique as an alternative to conventional angiography are obvious. Echocardiography and computed tomography have not proved to be useful in this application. Magnetic resonance imaging, however, has recently been reported as a method able to depict reliable images of the coronary vessels, including the visualization of stenotic lesions. Unfortunately, these preliminary data have not yet been followed by studies confirming the usefulness of the technique in practice, probably because of the complexity of the current magnetic resonance imaging methods and, also, to the difficulties that the intricate coronary arterial tree poses to a tomographic imaging method such as magnetic resonance imaging. On the other hand, in particular aspects of the spectrum of coronary diseases, as anomalous congenital origin of the vessels or assessment of patency of venous bypass grafts, magnetic resonance imaging has proved to be of value and may be considered a useful diagnostic tool in clinical practice.

(*Rev Esp Cardiol* 1998; 51: 510-520)

INTRODUCCIÓN

Desde la incorporación de la arteriografía coronaria selectiva al arsenal diagnóstico cardiológico¹, esta técnica se ha convertido en referencial para la definición de la anatomía arterial coronaria. En sus casi tres décadas de vigencia, podemos afirmar que el método ha permanecido invariable, si exceptuamos los circuns-

tanciales avances tecnológicos en el terreno de la obtención de imágenes, diseño de catéteres, contrastes, etc., que han facilitado su realización y su presentación. Ello es buena prueba, de por sí, de la innegable utilidad de la coronariografía, conocida de todos, y de la que puede afirmarse aun hoy día que sigue siendo una técnica insustituible para cualquier estudio que se precie definitivo del paciente coronario.

Los inconvenientes del cateterismo cardíaco, también familiares a todos los cardiólogos, son básicamente su carácter invasivo, con una pequeña pero no despreciable incidencia de complicaciones, y el coste

Correspondencia: Dr. G. Pons Lladó.
Avda. Sant Antoni M.^o Claret, 158 A, 4.^o, 3.^o.
08025 Barcelona.

de su realización, tema que preocupa de forma creciente a médicos y gestores de la sanidad, dadas las dimensiones que presenta el problema de la cardiopatía isquémica en su conjunto. No es extraño, por tanto, que siempre haya despertado interés la posibilidad de obtener información sobre la anatomía arterial coronaria por métodos de imagen alternativos, obviando las mencionadas limitaciones de la angiografía. Tales pretensiones se han visto alimentadas recientemente con la introducción de la resonancia magnética (RM), técnica que ha sido calificada, quizá de forma grandilocuente, como el «método diagnóstico más potente jamás diseñado»², y cuyas prometedoras perspectivas en cuanto a la obtención de una «coronariografía no invasiva» han propiciado saluciones optimistas en medios destacados³.

Analizaremos en la presente revisión el papel que desempeñan los métodos diagnósticos no invasivos en el estudio de las arterias coronarias, con especial énfasis en la RM, con el intento de ofrecer al lector una base para que pueda formarse un juicio crítico sobre el camino recorrido y el que queda por recorrer, todavía largo en el momento actual.

APROXIMACIONES AL ESTUDIO DE LAS ARTERIAS CORONARIAS POR MEDIO DE LA ECOCARDIOGRAFÍA

Aunque la ecocardiografía bidimensional se intentó aplicar desde su inicio en este sentido, pronto se comprobó que no era posible visualizar más allá del origen de los troncos principales coronarios⁴. Experiencias llevadas a cabo sobre los propios vasos expuestos durante el acto operatorio utilizando transductores de alta frecuencia (7,5 MHz) demostraron, no obstante, que se obtenían imágenes adecuadas de la pared de las arterias coronarias, delimitando incluso las características de las estenosis de las mismas⁵, confirmándose que el problema de los estudios externos es la interposición de estructuras y una limitada resolución por la relativa baja frecuencia de las sondas utilizadas. A pesar de ello, y utilizando la técnica Doppler guiada por la imagen ecográfica, se pudieron registrar por vía transtorácica convencional los patrones de flujo –característicamente bimodal, sístolo-diafástico– en la arteria coronaria izquierda proximal⁶.

El advenimiento de la ecocardiografía transesofágica supuso una nueva perspectiva, comunicándose ya inicialmente⁷ que era posible visualizar los segmentos proximales de la coronaria izquierda (fig. 1). La disponibilidad de sondas biplanares y la aplicación del examen Doppler color ampliaron las posibilidades de la técnica, aunque su eficacia en la práctica quedó reducida a la caracterización de las lesiones del tronco común de la coronaria izquierda^{8,9}.

Descartada la utilidad de la ecocardiografía para el estudio sistemático de la anatomía de las arterias coro-

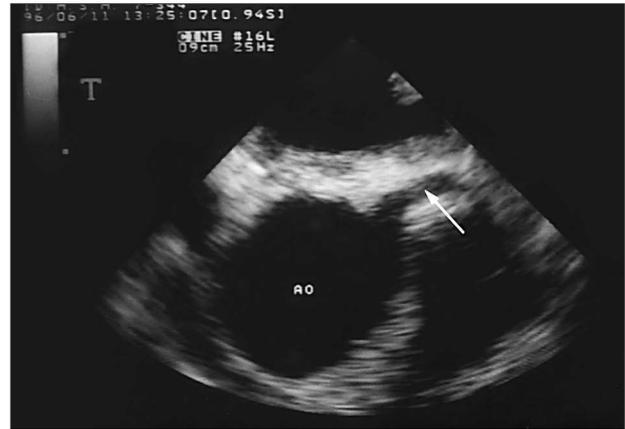


Fig. 1. Plano ecocardiográfico por vía transesofágica en la raíz aórtica (AO), en el que se observa el tronco común de la coronaria izquierda (flecha).

nas, sus aplicaciones han derivado en la obtención de información indirecta sobre la presencia de lesiones estenóticas, como es la demostración de placas de aterosclerosis aórtica por transesofágico, cuyo hallazgo indica la coexistencia de arteriopatía coronaria obstructiva con una sensibilidad y especificidad superiores al 90%¹⁰, o bien el estudio de la reserva coronaria, cuantificando los cambios en el flujo determinado por Doppler de la coronaria descendente anterior, también por medio de la técnica esofágica, antes y después de estimulación farmacológica¹¹.

APORTACIÓN DE LA TOMOGRAFÍA AXIAL COMPUTARIZADA AL ESTUDIO DE LAS ARTERIAS CORONARIAS

Aunque la técnica de la tomografía axial computarizada (TAC) no permite reproducir imágenes del árbol arterial coronario útiles para fines diagnósticos, sí se ha desarrollado una aplicación de la misma que puede ser de utilidad en el estudio de la enfermedad coronaria. A partir de la observación histopatológica de que la calcificación de la pared de las arterias coronarias tiene lugar únicamente en presencia de lesiones ateromatosas, aunque no necesariamente obstructivas¹², se ha intentado aprovechar la extrema sensibilidad de la técnica en la detección del calcio para utilizar dicho hallazgo como marcador de enfermedad coronaria. Aunque la calcificación coronaria puede ser detectada tanto en la radiografía simple de tórax como en la TAC convencional, la mejor resolución espacial y temporal de las técnicas de TAC ultrarrápida convierten a esta última en la más adecuada para este tipo de estudios¹³. La detección de la presencia de calcio en una localización compatible con el trayecto de una de las arterias coronarias es relativamente sencilla (fig. 2), cuantificándose el grado de calcificación por un sistema de puntuación empírico que tiene en cuen-

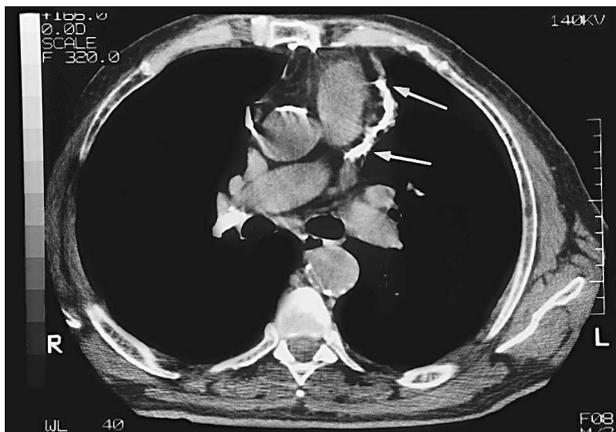


Fig. 2. Imagen de TAC obtenida con un sistema ultrarrápido (helicoidal CT) en la que se observa una extensa calcificación en la coronaria descendente anterior (flechas). (Cortesía de la Dra. A. Jiménez, Servei de Radiodiagnòstic, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau, Barcelona.)

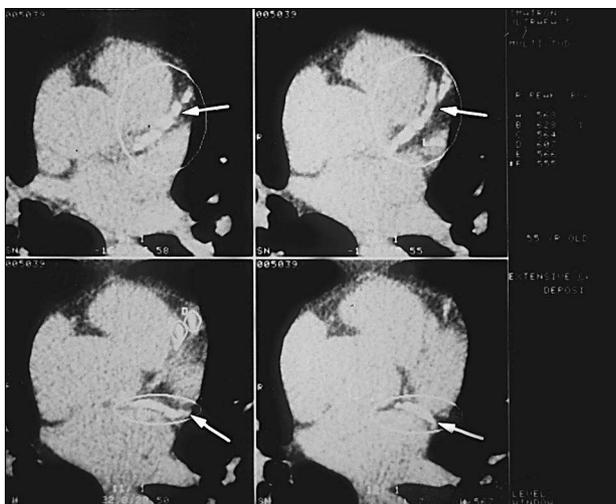


Fig. 3. Secuencia de imágenes de un estudio de cine-TAC obtenido con un sistema ultrarrápido (electron-beam CT) en la que se observa la calcificación de la arteria coronaria descendente anterior (flechas en los paneles superiores) y circunfleja (flechas en los paneles inferiores), en las que se ha aplicado un análisis semiautomático de cuantificación del calcio delimitando las zonas de interés (elipses). (Cortesía del Dr. J. Ferreirós, Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Universitario San Carlos, Madrid.)

ta el número de píxels de una determinada densidad¹⁴ (fig. 3).

Los estudios llevados a cabo, algunos sobre gran número de pacientes, han demostrado, por un lado¹⁵, una excelente sensibilidad (95%) para la detección de enfermedad coronaria angiográficamente significativa, aunque con una especificidad discreta (44%), reflejando la mencionada observación que la presencia de calcificación implica aterosclerosis pero no necesariamente obstrucción coronaria importante. Por otra parte, y quizá más importante, un estudio de 1.173 individuos asintomáticos ha probado¹⁶ que el método

predice con valores de sensibilidad y especificidad superiores al 80% la aparición de fenómenos cardiovasculares en un seguimiento medio de 2 años.

Aunque parece demostrado que la presencia de precipitados de calcio en las arterias coronarias puede ser detectada mediante la TAC y que guarda una relación con la existencia de fenómenos de aterosclerosis, los métodos para su cuantificación son por el momento inciertos y no existe, además, un valor discriminante entre la cantidad de calcio detectado en casos con enfermedad obstructiva coronaria significativa y sin ella¹⁷. Por ello, la lógica expectativa que había levantado la técnica se ha visto frenada por un documento oficial de la American Heart Association¹⁸, que concluye que «la aplicación clínica de la TAC ultrarrápida en estudios de cribado de enfermedad arterial coronaria no está justificada en el momento actual».

LA RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL ESTUDIO DE LAS ARTERIAS CORONARIAS Y LOS INJERTOS QUIRÚRGICOS

No cabe duda de que la introducción de la RM en el campo diagnóstico en cardiología ha suscitado interesantes perspectivas. Sin caer en las consideraciones quizá excesivamente optimistas de determinados autores¹⁹, augurando un futuro inmediato de eclosión de la técnica como medio diagnóstico «integral», la realidad es que la RM está encontrando su lugar, que no está precisamente en el terreno de la competencia con otros métodos de imagen establecidos, sino en su complementación. Aun siendo una técnica todavía en desarrollo, la utilidad clínica y las indicaciones actuales de las aplicaciones cardíacas de la RM han sido firmemente establecidas²⁰⁻²², con lo que puede afirmarse que ésta ha sobrepasado ya su infancia.

En los aspectos del diagnóstico de cardiopatía isquémica y sus complicaciones, la RM tiene interesantes aplicaciones, que han sido comentadas en otra publicación²³, por lo que nos vamos a centrar en el estado actual de la técnica para la obtención de imágenes de los vasos coronarios y los injertos quirúrgicos coronarios, arteriales o venosos.

Visualización de los vasos coronarios por medio de la resonancia magnética

Las técnicas básicas en RM incluyen las denominadas *spin-echo* y *gradient-echo*²⁴. Aunque ambas ofrecen secciones tomográficas del organismo en cualquier orientación que se desee, la estrategia de adquisición que aplican es diferente, siendo las imágenes obtenidas con la primera de excelente resolución para el estudio morfológico de las estructuras, presentadas en imágenes estáticas, mientras que con la segunda es posible encadenar secuencias de cine, con la consiguiente información dinámica, en la que se apro-

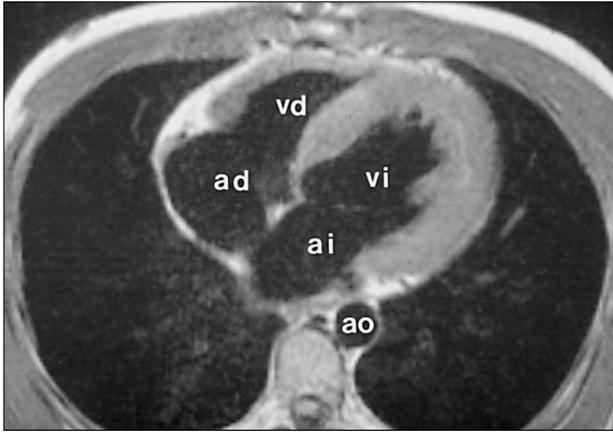


Fig. 4. Plano axial en técnica spin-echo obtenido con sincronización electrocardiográfica: las diferentes intensidades de señal, máxima (blanco) en la grasa epicárdica, intermedia (gris) del músculo cardíaco y baja (negro) de la sangre intracavitaria, permiten la delimitación de las estructuras cardiovasculares con un excelente grado de resolución; ad: aurícula derecha; ai: aurícula izquierda; ao: aorta; vd: ventrículo derecho; vi: ventrículo izquierdo.

vecha, además, en el caso de las aplicaciones cardiovasculares, la alta sensibilidad de la técnica *gradient-echo* para las señales de flujo sanguíneo.

Las imágenes obtenidas en cualquiera de estas técnicas de estructuras inmóviles, como el caso del sistema nervioso o del esqueleto óseo, resultan de una impactante calidad, que resulta más difícil de reproducir en el caso del corazón y los vasos, debido a su movilidad, dado que la RM es una técnica en la que la imagen final es producto de la suma de información adquirida de forma repetitiva a lo largo de un determinado período de tiempo. Es preciso, por ello, la sincronización electrocardiográfica en la captación de imágenes cardíacas por RM, siendo también deseable, aunque poco práctica por la penalización en términos de tiempo invertido, la sincronización respiratoria. Supuestas, no obstante, estas condiciones, es posible obtener tomografías de las estructuras cardiovasculares con un excelente grado de nitidez (fig. 4).

El caso de los vasos coronarios, sin embargo, plantea un importante desafío para las técnicas de RM derivado de sus características anatómicas. En efecto, y aunque determinados segmentos de las arterias coronarias son visibles en imágenes obtenidas con las modalidades básicas que hemos mencionado (fig. 5), el pequeño calibre de los vasos, su tortuosidad y su constante movimiento hacen que su trayecto completo, y más aún la detección de eventuales lesiones obstructivas, no sean visualizables con estas secuencias convencionales.

Entre los recursos técnicos de la RM se encuentran las modalidades denominadas ultrarrápidas, en las que se aplica una estrategia que permite acortar sensiblemente los tiempos de adquisición. Una de ellas es una

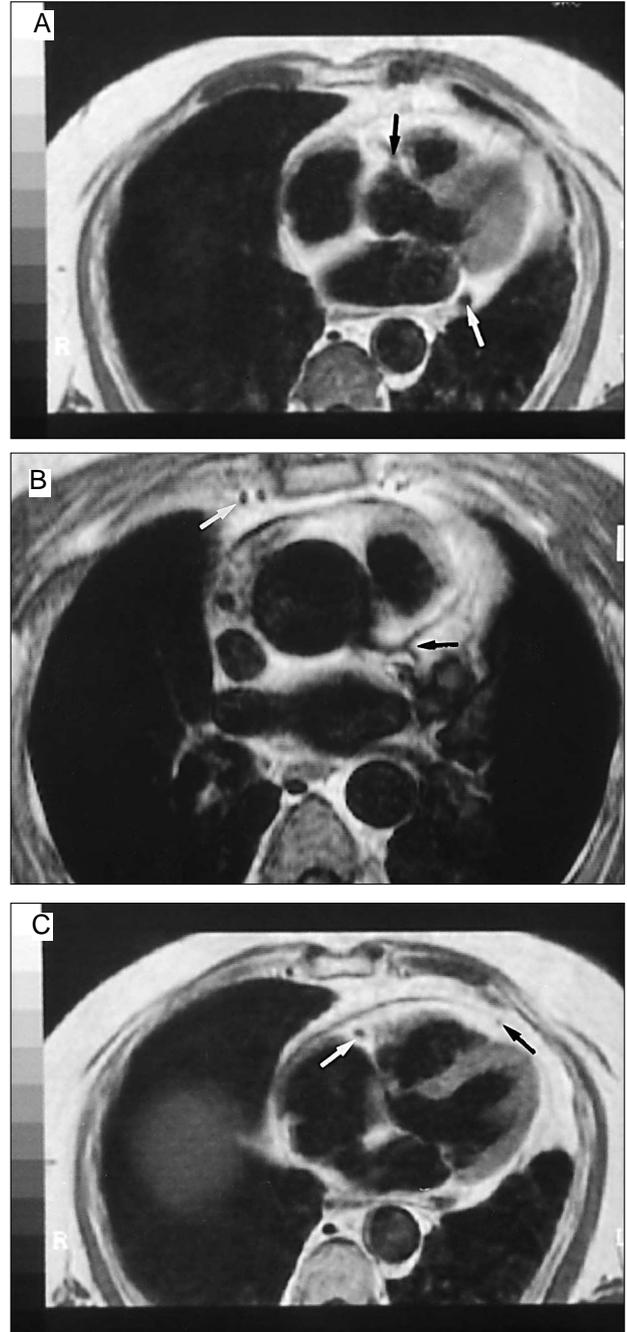


Fig. 5. Imágenes convencionales en técnica spin-echo en diversos planos estándar en los que se aprecian los vasos coronarios; A: origen de la arteria coronaria derecha (flecha negra) y sección transversal del seno coronario (flecha blanca); B: arteria coronaria izquierda, con la subdivisión entre descendente anterior y circumfleja (flecha negra) y paquete de la arteria y vena mamarias (flecha blanca); C: sección transversal de la arteria coronaria derecha (flecha blanca) y de la descendente anterior (flecha negra).

variante de la técnica de *gradient-echo* conocida como *segmented-k-space*, que actúa por adquisición de paquetes de líneas (segmentos) —en lugar de línea a línea, como las secuencias convencionales— permitiendo reducir el tiempo total de adquisición hasta los 15-20 s, período en el que, además, el paciente puede realizar

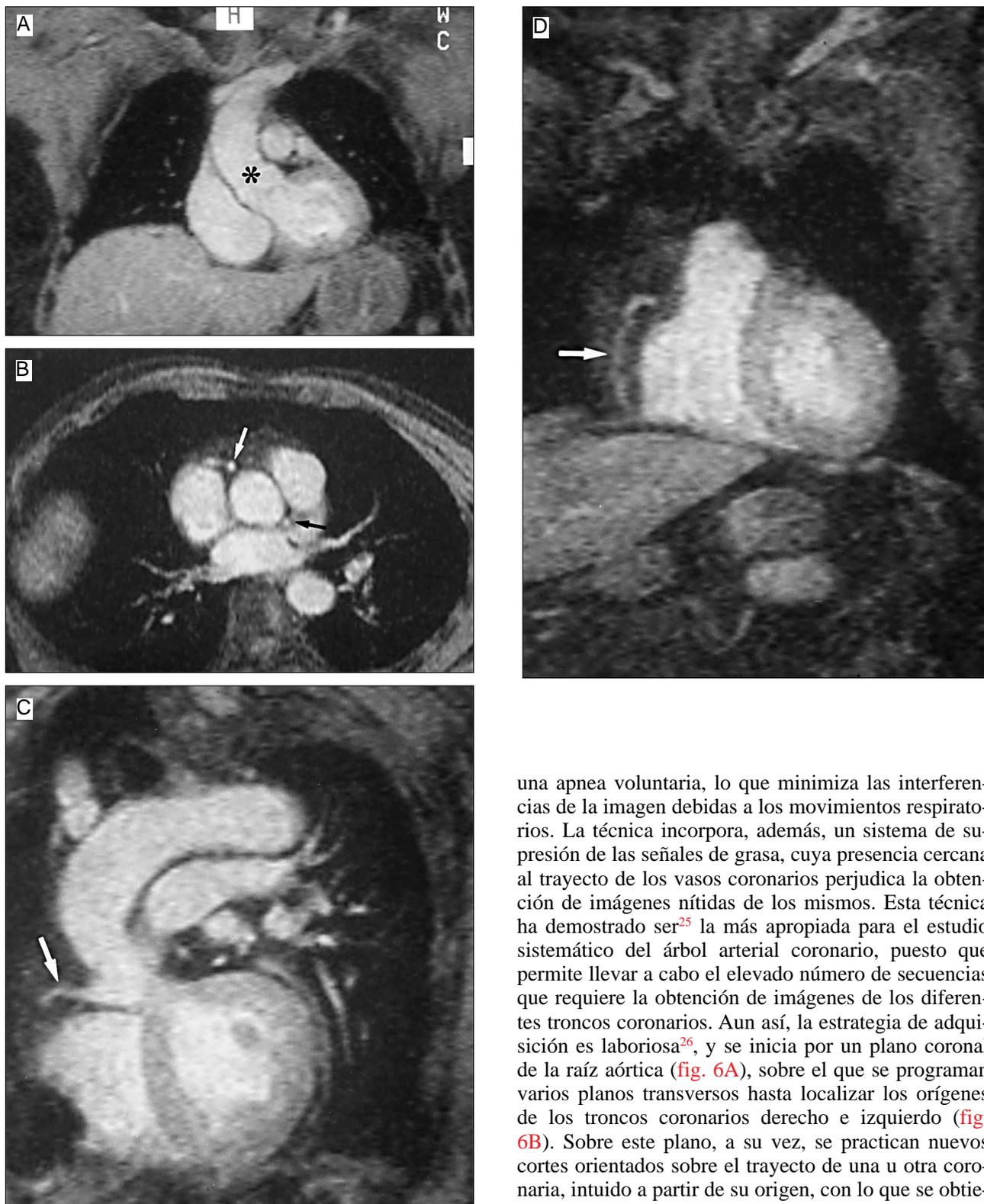


Fig. 6. Protocolo de estudio de la arteria coronaria derecha por la técnica de segmented-k-space; A: plano coronal incluyendo la raíz de aorta y porción ascendente (asterisco); B: plano transversal de la raíz aórtica, en el que se observa el origen de las arterias coronarias derecha (flecha blanca) e izquierda (flecha negra); C: plano oblicuo en el que se observa el segmento proximal de la coronaria derecha (flecha); D: plano paralelo al anterior incluyendo el segmento medio del vaso (flecha).

una apnea voluntaria, lo que minimiza las interferencias de la imagen debidas a los movimientos respiratorios. La técnica incorpora, además, un sistema de supresión de las señales de grasa, cuya presencia cercana al trayecto de los vasos coronarios perjudica la obtención de imágenes nítidas de los mismos. Esta técnica ha demostrado ser²⁵ la más apropiada para el estudio sistemático del árbol arterial coronario, puesto que permite llevar a cabo el elevado número de secuencias que requiere la obtención de imágenes de los diferentes troncos coronarios. Aun así, la estrategia de adquisición es laboriosa²⁶, y se inicia por un plano coronal de la raíz aórtica (fig. 6A), sobre el que se programan varios planos transversos hasta localizar los orígenes de los troncos coronarios derecho e izquierdo (fig. 6B). Sobre este plano, a su vez, se practican nuevos cortes orientados sobre el trayecto de una u otra coronaria, intuitivo a partir de su origen, con lo que se obtienen imágenes longitudinales de los segmentos proximales (fig. 6C). Dado el trayecto tortuoso de los vasos, no obstante, es preciso practicar series de cortes paralelos para visualizar porciones más distales (fig. 6D). La complejidad del proceso es, pues, evidente, lo que deriva del hecho de que estamos aplicando una técnica tomográfica, bidimensional por tanto,

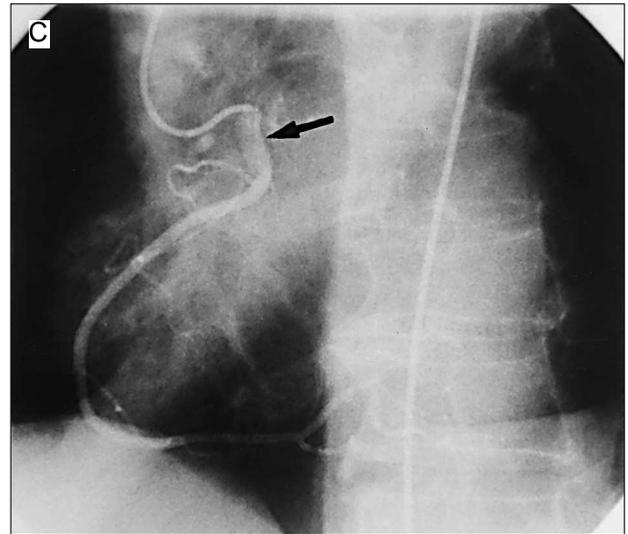
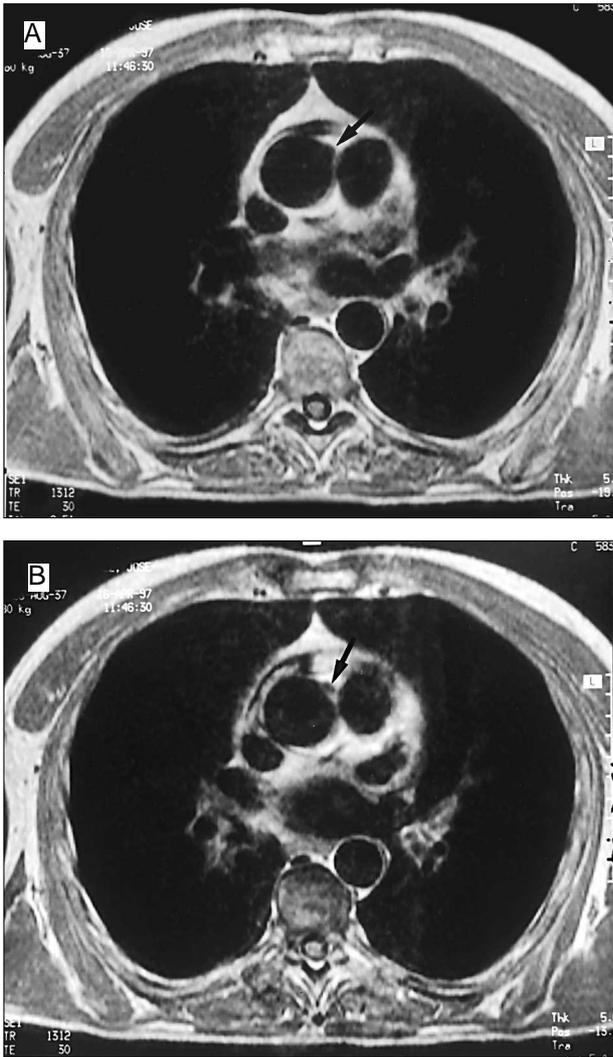


Fig. 7. Origen anómalo de la coronaria derecha; A: plano axial en spin-echo en el que se observa el origen del vaso (flecha) en la región anterior izquierda de la raíz aórtica (compárese con la fig. 6B); B: plano paralelo al anterior en una posición más caudal, en el que se observa un trayecto intramural en la pared aórtica de la coronaria derecha (flecha); C: coronariografía del mismo caso, en proyección anteroposterior, en la que se observa el trayecto inusualmente vertical del segmento proximal de la coronaria derecha (flecha).

para obtener imágenes de una estructura tridimensional, como es el árbol arterial coronario.

Este conjunto de posibilidades técnicas que nos ofrece la RM se ha aplicado con diverso grado de éxito en el estudio de diferentes aspectos de la patología coronaria, que se comentarán por separado.

Anomalías congénitas de los vasos coronarios

Aunque infrecuentes, este tipo de alteraciones pueden dar lugar a manifestaciones clínicas de isquemia miocárdica e incluso muerte súbita. El origen de uno de los vasos coronarios en una localización anómala en la raíz aórtica puede no ocasionar alteraciones hemodinámicas, a no ser que en su trayecto proximal discorra entre la raíz de los grandes vasos, donde puede verse eventualmente comprimido²⁷. La RM ha demostrado ser altamente útil en la determinación de estas anomalías²⁸ dado que no presenta generalmente problemas para visualizar, por medio de las técnicas descritas, precisamente los segmentos más proximales

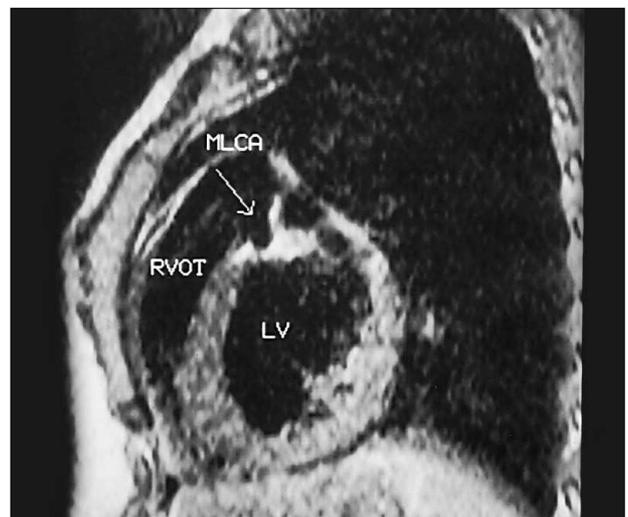


Fig. 8. Plano sagital en spin-echo en un caso de origen anómalo de la coronaria izquierda en la cara posterior del tronco de la arteria pulmonar (flecha); LV: ventrículo izquierdo; MLCA: tronco de la coronaria izquierda; RVOT: cámara de salida ventricular derecha.

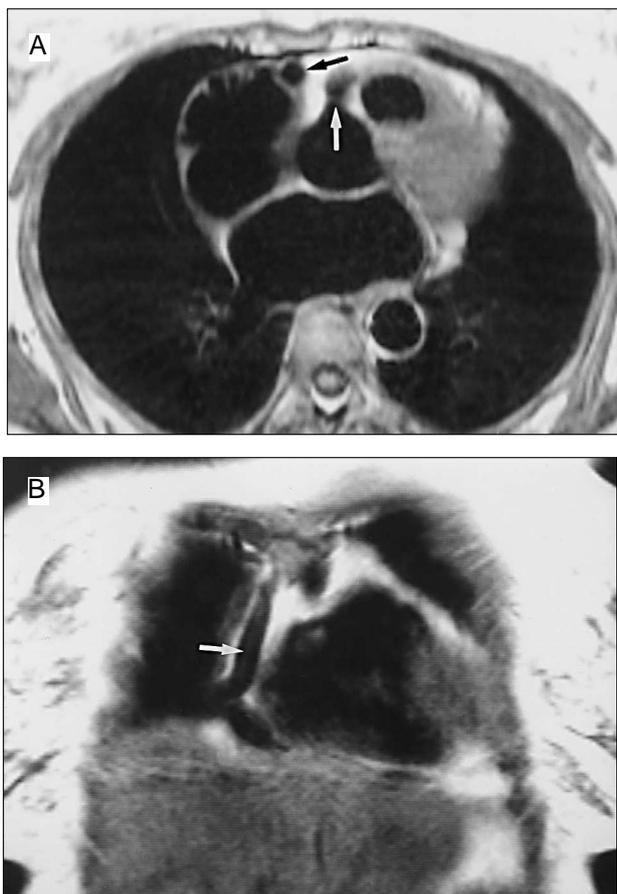


Fig. 9. Fístula coronaria derecha; A: plano axial en spin-echo en el que se observa el origen de la coronaria derecha (flecha blanca), así como una sección transversal de su porción media (flecha negra), destacando la dilatación del vaso (compárese con las figs. 5A y 5C); B: plano coronal, en el que se observa el trayecto del vaso (flecha) y su dirección a la cara inferior del corazón, donde iba a comunicar con el seno coronario.

de las arterias coronarias y su relación con la raíz aórtica (fig. 7). Clínicamente más grave es el origen anómalo de una de las arterias coronarias en el tronco de la arteria pulmonar, en cuyo caso también la RM permite definir la anomalía (fig. 8).

Asimismo, también se han descrito las aplicaciones de la técnica en casos de fístula coronaria congénita (fig. 9) y en los aneurismas congénitos de las arterias coronarias²⁹.

El papel de la RM en el diagnóstico de este conjunto de malformaciones reviste especial interés en la práctica, dadas las limitaciones que en ellas presenta ocasionalmente la angiografía convencional³⁰. Así, en estos casos puede recurrirse a un estudio por RM, al igual que en pacientes jóvenes con síntomas indicativos de origen anómalo de las arterias coronarias, en este caso incluso previamente a la angiografía, o bien como estudio de cribado de la anomalía en subgrupos especiales de individuos, como deportistas de alto rendimiento²⁸.

Estudio de la enfermedad coronaria arteriosclerosa

De entrada debe afirmarse que los esfuerzos de los investigadores en la aplicación de la RM con este objetivo se han visto hasta el momento coronados por un éxito relativo. Así, utilizando el método descrito de *segmented-k-space*²⁵, diversos grupos³¹⁻³⁴ han comunicado resultados variables en cuanto a la capacidad de la técnica para la detección de estenosis coronarias demostradas en la angiografía convencional. Mientras unos autores^{31,32} proclaman valores de sensibilidad y especificidad entre el 85 y el 90%, otros^{33,34} son menos optimistas, y han apuntado que el valor diagnóstico es altamente dependiente del vaso en cuestión, y que varía, por orden decreciente, desde el tronco común de la coronaria izquierda, la descendente anterior, la coronaria derecha y la circunfleja, siendo además destacable que hasta un 10% de los vasos no puede ser estudiado adecuadamente por dificultades técnicas³⁴. No resulta extraño, por ello, que las comunicaciones sobre la aplicación práctica del método hayan sido, hasta el momento, anecdóticas³⁵ o bien centradas en aquellos casos en los que se requiere la visualización de determinados segmentos de las arterias coronarias, como es el caso de la mencionada sospecha de origen anómalo de las mismas²⁸ o el estudio de permeabilidad de la arteria responsable de un infarto³⁶. Un aspecto particular que merece comentario es la posibilidad de analizar el estado de la reserva coronaria por medio de la RM: de forma similar a la descrita para el caso de la ecocardiografía-Doppler, la RM permite también obtener perfiles de flujo a partir de la imagen de los troncos coronarios por la técnica denominada de *velocity mapping* que, aplicada antes y después de provocar una vasodilatación máxima farmacológica (p. ej., con adenosina), ha demostrado resultados comparables con los métodos invasivos³⁷.

Por lo que se refiere a la obtención de una angiografía coronaria no invasiva, sin embargo, las limitaciones del método son considerables. Se centran básicamente en que la presencia de una lesión obstructiva se debe deducir, en las imágenes de RM, por la pérdida de la alta intensidad de señal a que da lugar cualquier estructura de flujo, como en este caso la propia arteria coronaria, confiando que en el corte concreto obtenido, dicha ausencia de señal no se deba a una tortuosidad del vaso que provoque su desplazamiento fuera del plano de corte. A ello hay que añadir que la resolución espacial de las actuales técnicas de RM no es inferior a 1 mm, calibre habitual de las ramas coronarias distales y que la práctica de multitud de cortes a efectos de cubrir la máxima extensión del árbol coronario resulta con frecuencia extenuante para el paciente y para el propio operador.

No hay que olvidar, finalmente, que los buenos resultados comunicados se han obtenido en estudios realizados por autores expertos en el tema, operando con

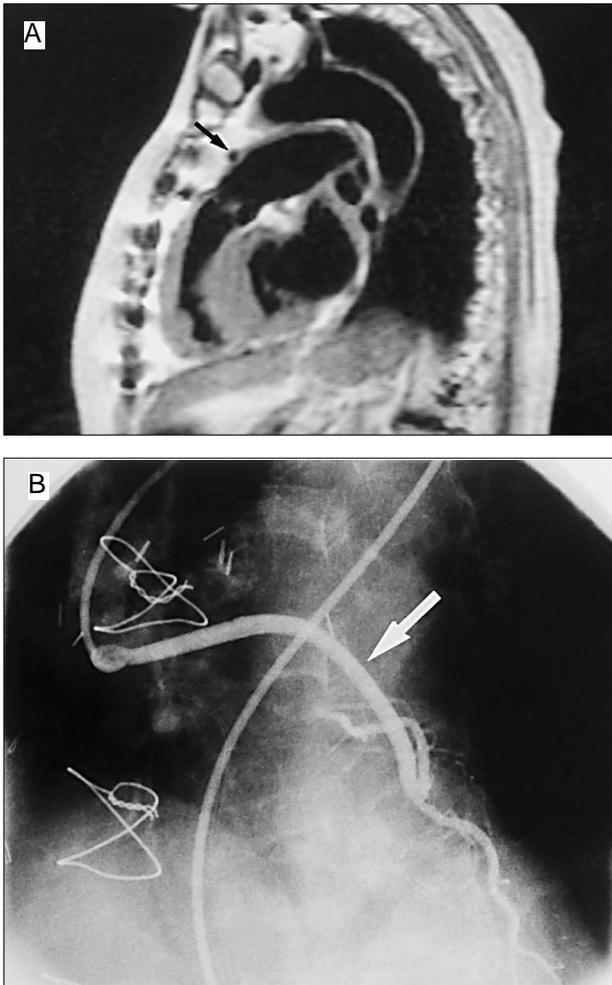


Fig. 10. A: plano sagital en spin-echo en el que se observa la presencia de una estructura vascular anterior al tronco de la arteria pulmonar (flecha), localización característica de los injertos venosos que se dirigen al territorio de la coronaria izquierda; B: angiografía selectiva en proyección anteroposterior que confirma la permeabilidad del injerto (flecha), en este caso anastomosado a una rama diagonal de la descendente anterior.

los mejores sistemas disponibles actualmente y sobre series indudablemente seleccionadas de pacientes. Todo ello permite concluir que, aunque esperanzadores, estos resultados no permiten por el momento hablar de la RM como una opción válida en la práctica para llevar a cabo de forma sistemática una coronariografía no invasiva.

Estudio de la permeabilidad de los injertos coronarios

La perspectiva que ofrece el estudio de permeabilidad de los injertos coronarios por medio de la RM resulta diferente a la de los vasos nativos. Así, las imágenes obtenidas de los injertos quirúrgicos resultan de mayor utilidad por varias razones: se trata de vasos de mayor calibre que las arterias coronarias nativas, su

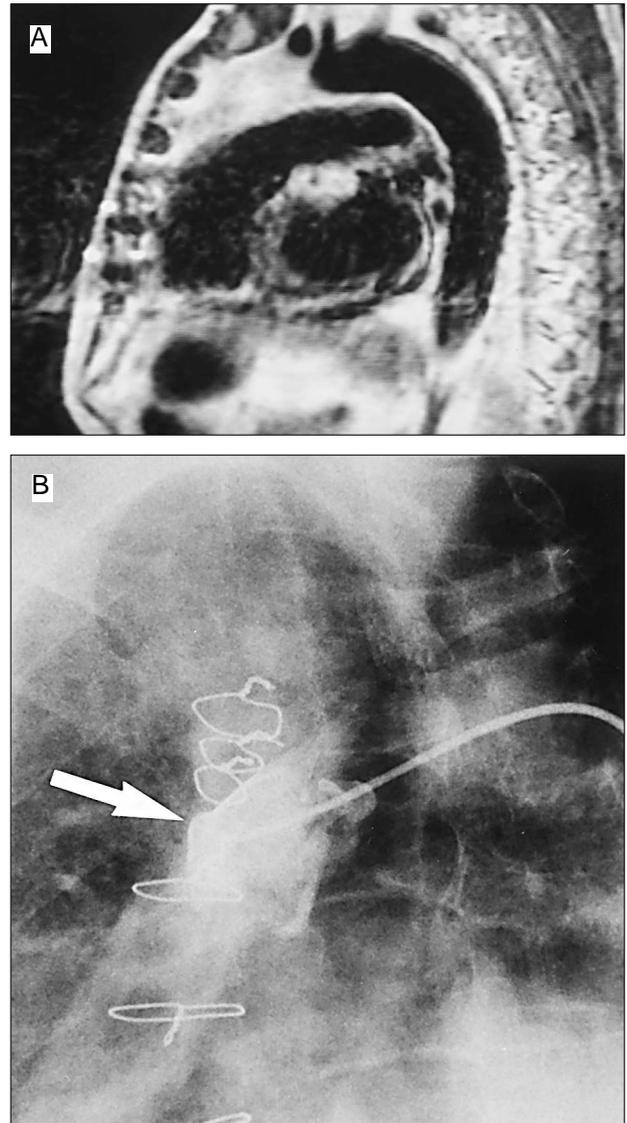


Fig. 11. A: plano sagital en spin-echo en un paciente portador de un injerto venoso a la coronaria descendente anterior; la ausencia de estructura vascular ventral al tronco de la arteria pulmonar permite concluir que dicho injerto se halla ocluido (compárese con la fig. 10A); B: angiografía aórtica en proyección lateral que demuestra la imposibilidad de cateterizar el injerto debido a oclusión del mismo desde su origen (flecha).

trayecto es menos tortuoso y su disposición relativamente alejada de la superficie del corazón los hace más fácilmente identificables en el estudio por RM. Finalmente, dado que el problema clínico es con frecuencia la oclusión completa del injerto, el objetivo del estudio por RM es, en este caso, más simple, ya que se trata de determinar si existe o no flujo circulante. Para ello, además, se pueden aplicar secuencias de RM de *spin-echo* o *gradient-echo* convencionales, dada su extrema sensibilidad al flujo.

El estudio sistemático de los injertos venosos aorto-coronarios no ofrece, en general, dificultad, supuesta una calidad aceptable en las imágenes obtenidas, ya

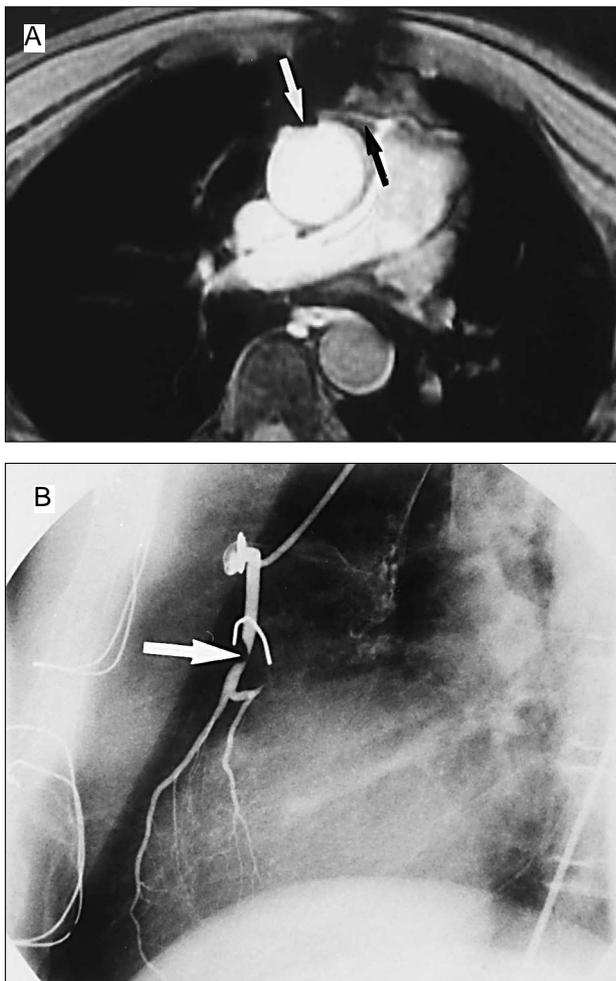


Fig. 12. A: plano axial en gradient-echo en el que se observa el trayecto permeable del segmento proximal de un injerto venoso a la coronaria descendente anterior (flecha negra), observándose también el artefacto producido por un clip metálico de localización situado en su origen en la raíz aórtica (flecha blanca); B: angiografía selectiva del injerto en proyección lateral en el que se observa la permeabilidad del mismo, aunque con una lesión obstructiva media de carácter subtotal (flecha).

que el trayecto de los mismos desde su inserción en la aorta hasta los troncos coronarios puede ser rastreado por medio de planos de RM debidamente localizados, estableciéndose la permeabilidad del vaso al detectar una señal distintiva de flujo (fig. 10), mientras que la oclusión del mismo da lugar a una ausencia de señal en la localización esperada (fig. 11). De esta forma, diversos grupos³⁸⁻⁴⁰ han demostrado valores de sensibilidad y especificidad cercanos al 90% para la detección de permeabilidad del injerto.

Un problema que persiste con esta técnica es la posibilidad de que un injerto identificado como permeable presente lesiones obstructivas distales importantes, que pasarían desapercibidas por el simple análisis de presencia de flujo proximal por RM (fig. 12). Por ello, estudios recientes^{41,42} han señalado el interés de aplicar

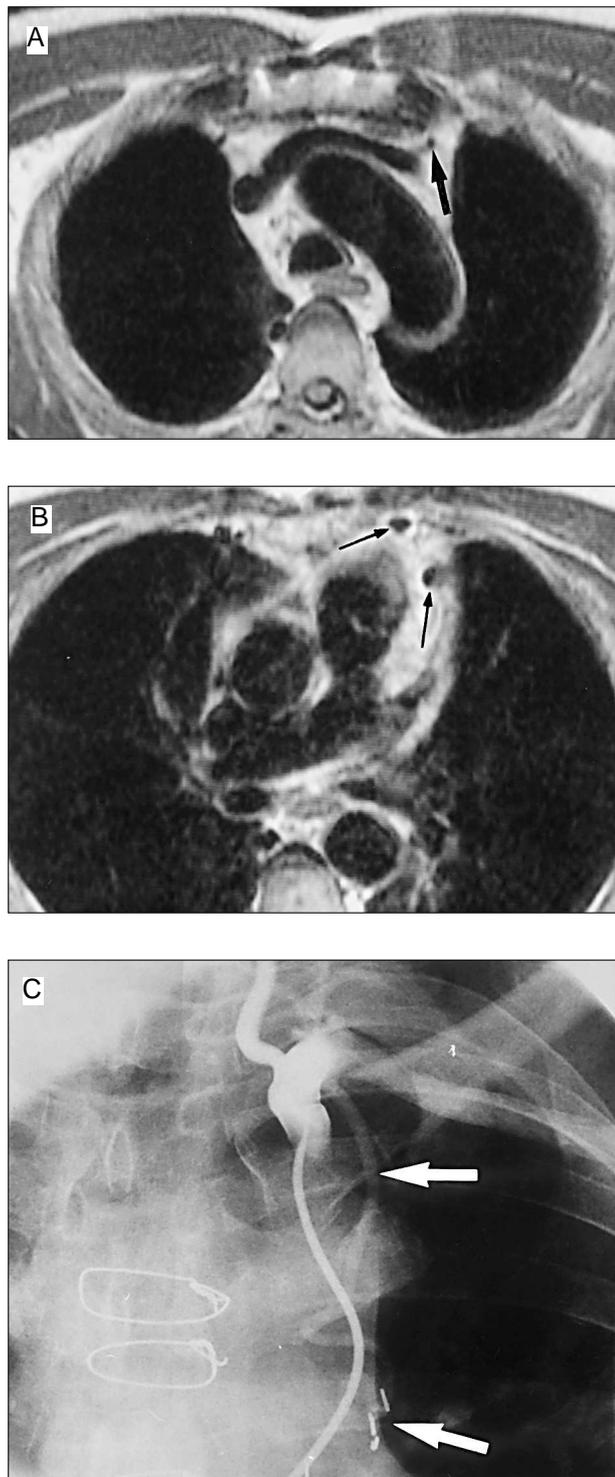


Fig. 13. A: plano axial en spin-echo en el que se observa una señal de permeabilidad de una arteria mamaria interna izquierda (flecha) anastomosada a la descendente anterior; B: plano caudal al anterior en el que se observan dos artefactos (flechas) debidos a clips metálicos de oclusión de ramas de la propia mamaria interna, que no deben confundirse con estructuras vasculares; C: angiografía selectiva de la arteria subclavia izquierda en proyección anteroposterior del mismo caso, lo que confirma la permeabilidad de la arteria mamaria interna (flecha superior); se observan también los clips metálicos mencionados anteriormente (flecha inferior).

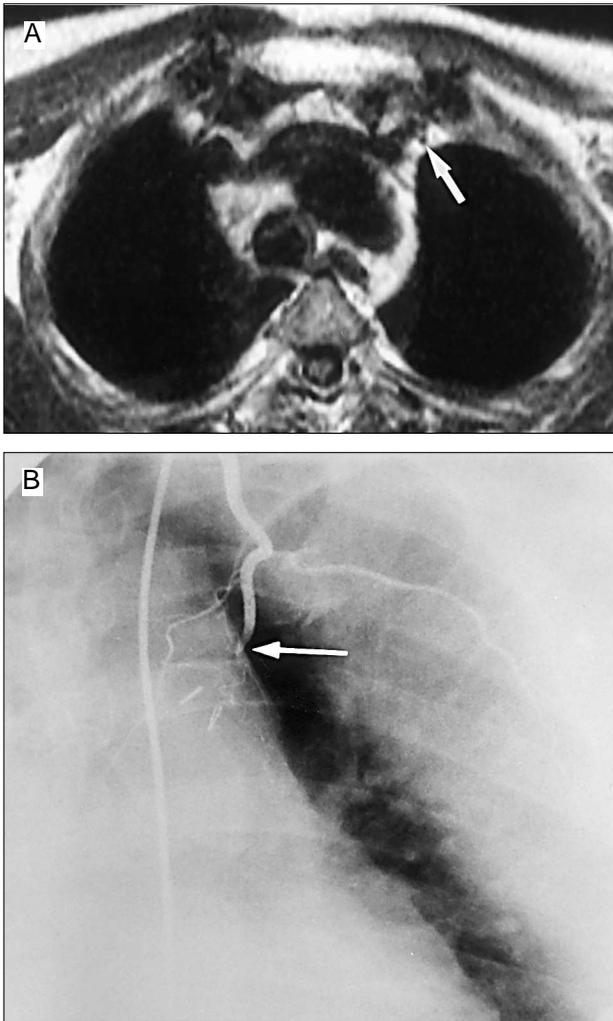


Fig. 14. A: plano axial en spin-echo en el que se observa una señal de permeabilidad de la arteria mamaria interna en su porción proximal (flecha); B: coronariografía selectiva de la mamaria en la que se observa un trayecto efectivamente permeable del segmento proximal de la misma, aunque con una lesión oclusiva media (flecha).

secuencias de análisis de velocidad (*phase-velocity mapping*) para obtener, aparte del carácter de permeabilidad u oclusión del injerto, información sobre las condiciones de flujo del mismo, lo que permitiría la detección de estenosis no oclusivas.

El estudio de permeabilidad del injerto de arteria mamaria interna es también posible, aunque plantea diversas limitaciones. Así, es preciso prestar atención a los artefactos inducidos en la imagen de RM por los clips de oclusión de las ramas de la arteria, que pueden simular una estructura vascular permeable (fig. 13). Por otra parte, en el caso de la arteria mamaria interna anastomosada al sistema arterial coronario es posible observar una señal de la misma con caracteres de permeabilidad aun en el caso de que exista una oclusión completa en segmentos más distales (fig. 14), debido a la presencia de ramificaciones nativas del vaso proxi-

males a la oclusión que impidan su obliteración completa, a diferencia de los injertos venosos.

En todo caso, la aplicación de la RM en el estudio de la permeabilidad de los injertos coronarios sí parece tener un futuro real en la práctica, en el que conviene profundizar, ya que la información que aporta puede tener interés práctico en estudios sistemáticos de seguimiento postoperatorio, así como en la evaluación de los pacientes operados que se presentan con manifestaciones de isquemia miocárdica.

PERSPECTIVAS FUTURAS

Hemos visto cómo la posibilidad de llevar a cabo una angiografía coronaria no invasiva por medio de la RM sigue siendo un tema pendiente, como lo demuestra el hecho de que los trabajos más recientes³⁴ no avanzan resultados más esperanzadores que aquellos publicados 4 años atrás³¹. La explicación reside probablemente en el hecho de que se siguen aplicando técnicas que, aunque altamente refinadas, no dejan de ser tomográficas, una metodología obviamente limitada cuando se trata de reproducir en detalle una estructura tridimensional como el árbol coronario. Las posibilidades técnicas de la RM, no obstante, son extensas, existiendo actualmente diversos enfoques para mejorar la resolución de las imágenes. Uno de ellos consiste en la aplicación de un sofisticado sistema de sincronización respiratoria por medio de la detección de los movimientos del diafragma⁴³. En otros casos se ha intentado la aplicación de contrastes intravasculares⁴⁴, aunque el camino más prometedor es el que combina las secuencias ultrarrápidas con técnicas de reconstrucción tridimensional⁴⁵, siendo las imágenes que éste aporta las que de forma más convincente pueden llegar a competir con la coronariografía convencional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abrams HL, Adams DF. The coronary arteriogram: I and II. Structural and functional aspects. *N Engl J Med* 1969; 281: 1.276-1.336.
2. Longmore D, Forbat S. Studies of the heart using magnetic resonance. *J Cardiovasc Pharmacol* 1992; 19 (Supl 5): 87-111.
3. Dinsmore RE. Noninvasive coronary angiography. Here at last? *Circulation* 1995; 91: 1.607-1.608.
4. Heublein B, Kanemoto N, Steidl C, Romaniuk P. Detection and quantification of left main coronary artery stenosis by two dimensional echocardiography. *Jpn Heart J* 1983; 24: 689-697.
5. Miyazawa S, Suzuki S, Sasaki T, Nakamura Y, Morita K, Mizuno A et al. Coronary artery imaging by intraoperative two dimensional echocardiography. *J Cardiogr* 1985; 15: 263-272.
6. Fusejima K. Noninvasive measurement of coronary artery blood flow using combined two dimensional and Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1987; 10: 1.024-1.031.
7. Taams MA, Gussenhoven EJ, Cornel JH, The SH, Roelandt JR, Lancee CT et al. Detection of left coronary artery stenosis by tranoesophageal echocardiography. *Eur Heart J* 1988; 9: 1.162-1.166.

8. Yoshida K, Yoshikawa J, Hozumi T, Yamaura Y, Akasaka T, Fukaya T et al. Detection of left main coronary artery stenosis by transesophageal color Doppler and two dimensional echocardiography. *Circulation* 1990; 81: 1.271-1.276.
9. Yamagishi M, Yasu T, Ohara K, Kuro M, Miyatake K. Detection of coronary blood flow associated with left main coronary artery stenosis by transesophageal Doppler color flow echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1991; 17: 87-93.
10. Fazio GP, Redberg RF, Winslow T, Schiller NB. Transesophageal echocardiographically detected atherosclerotic aortic plaque is a marker for coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 1993; 21: 144-150.
11. Stoddard MF, Prince CR, Morris GT. Coronary flow reserve assessment by dobutamine transesophageal Doppler echocardiography. *J Am Coll Cardiol* 1995; 25: 325-332.
12. Frink RJ, Anchor RWP, Brown AL, Kincaid OW, Brandenburg RO. Significance of calcification of the coronary arteries. *Am J Cardiol* 1970; 26: 241-247.
13. Shemesh J, Apter S, Rozenman J, Lusky A, Rath S, Itzhak Y et al. Calcification of coronary arteries: detection and quantification with double-helix CT. *Radiology* 1995; 197: 779-783.
14. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M Jr, Detrano R. Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 1990; 15: 827-832.
15. Budoff MJ, Georgiou D, Brody A, Agatston AS, Kennedy J, Wolfkiel C et al. Ultrafast computed tomography as a diagnostic modality in the detection of coronary artery disease. A multicenter study. *Circulation* 1996; 93: 898-904.
16. Arad Y, Spadaro LA, Goodman K, Lledó-Pérez A, Sherman S, Lerner G et al. Predictive value of electron beam computed tomography of the coronary arteries. 19-month follow-up of 1,173 asymptomatic subjects. *Circulation* 1996; 93: 1.951-1.953.
17. Wong ND, Detrano RC, Abrahamson D, Tobis JM, Gardin JM. Coronary artery screening by electron beam computed tomography. Facts, controversy and future. *Circulation* 1995; 92: 632-636.
18. Committee on Advanced Cardiac Imaging and Technology, Council on Clinical Cardiology, and Committee on Newer Imaging Modalities, Council on Cardiovascular Radiology, American Heart Association. Potential value of ultrafast computed tomography to screen for coronary artery disease. *Circulation* 1993; 87: 2.071.
19. Blackwell GG, Pohost GM. The evolving role of MRI in the assessment of coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1995; 75: 74D-78D.
20. Higgins CB, Caputo GR. Role of MR imaging in acquired and congenital cardiovascular disease. *Am J Roentgenol* 1993; 161: 13-22.
21. Van der Wall EE. Do magnetic resonance techniques contribute to the management of clinical problems? *Eur Heart J* 1996; 17: 666-673.
22. Cabrera Duro A, Castro Beiras JM, Gómez González J, Jiménez Borreguero LJ, Pons Lladó G. Indicaciones actuales de la resonancia magnética en cardiología. En: Asín Cardiel E, Cosín Aguilar J, Del Río Busto A, editores. Normas de actuación clínica en cardiología. Madrid: Sociedad Española de Cardiología, 1996; 337-345.
23. Pons Lladó G, Carreras F. Estado actual de las aplicaciones de la resonancia magnética en el estudio de la cardiopatía isquémica. *Rev Esp Cardiol* 1997; 50 (Supl 5): 59-73.
24. Pettigrew RI. Cardiovascular imaging techniques. En: Stark DD, Bradley WB, editores. Magnetic resonance imaging. St. Louis: Mosby Year-Book, 1992; 1.605-1.651.
25. Edelman RR, Manning WJ, Burstein D, Paulin S. Coronary arteries: breath hold MR angiography. *Radiology* 1991; 181: 641-643.
26. Post JC, Van Rossum AC, Hofman MBM, Valk J, Visser CA. A protocol for two-dimensional magnetic resonance coronary angiography studied in three-dimensional magnetic resonance data sets. *Am Heart J* 1995; 130: 166-173.
27. Krangel AH, Roberts WC. Anomalous origin of either the right or left main coronary artery from the aorta with subsequent coursing between aorta and pulmonary trunk: analysis of 32 necropsy cases. *Am J Cardiol* 1988; 62: 771-777.
28. Post JC, Van Rossum AC, Bronzwaer JGF, De Cock CC, Hofman MBM, Valk J et al. Magnetic resonance angiography of anomalous coronary arteries. A new gold standard for delineating the proximal course? *Circulation* 1995; 92: 3.136-3.171.
29. Pucillo AL, Schechter AG, Moggio RA, Kay RH, Baum SJ, Herman MV. MR imaging in the definition of coronary artery anomalies. *J Comput Assist Tomogr* 1990; 14: 171-174.
30. Ishikawa T, Brandt PWT. Anomalous origin of the left main coronary artery from the right anterior aortic sinus: angiographic definition of anomalous course. *Am J Cardiol* 1985; 55: 770-776.
31. Manning WJ, Li W, Edelman RR. A preliminary report comparing magnetic resonance coronary angiography with conventional angiography. *N Engl J Med* 1993; 328: 828-832.
32. Pennell DJ, Bogren HG, Keegan J, Firmin DN, Underwood SR. Assessment of coronary artery stenosis by magnetic resonance imaging. *Heart* 1996; 75: 127-133.
33. Duerinckx AJ, Urman MK. Two-dimensional coronary MR angiography: analysis of initial clinical results. *Radiology* 1994; 193: 731-738.
34. Post JC, Van Rossum AC, Hofman MBM, De Cock CC, Valk J, Visser CA. Clinical utility of two-dimensional magnetic resonance angiography in detecting coronary artery disease. *Eur Heart J* 1997; 18: 426-433.
35. Warner O, Ohri S, Pennell DJ, Smith PLC. Magnetic resonance coronary artery imaging for redo cardiac surgery. *Ann Thorac Surg* 1996; 62: 1.513-1.516.
36. Hundley WG, Clarke GD, Landau C, Lange RA, Willard JE, Hillis LD et al. Noninvasive determination of infarct artery patency by cine magnetic resonance angiography. *Circulation* 1995; 91: 1.347-1.353.
37. Hundley WG, Lange RA, Clarke GD, Meshack BM, Payne J, Landau C et al. Assessment of coronary arterial flow and flow reserve in humans with magnetic resonance imaging. *Circulation* 1996; 93: 1.502-1.508.
38. White RD, Caputo Gr, Mark AS, Modin GW, Higgins CB. Coronary artery bypass graft patency: noninvasive evaluation with MR imaging. *Radiology* 1987; 164: 681-686.
39. Gomes AS, Lois JF, Drinkwater DC Jr, Corday SR. Coronary artery bypass grafts: visualization with MR imaging. *Radiology* 1987; 162: 175-179.
40. Aurigemma GP, Reichek N, Axel L, Schiebler M, Harris C, Kressel HY. Noninvasive determination of coronary artery bypass graft patency by cine-magnetic resonance imaging. *Circulation* 1989; 80: 1.595-1.602.
41. Hoogendoorn LI, Pattynama PM, Buis B, Van der Geest RJ, Van der Wall EE, De Roos A. Noninvasive evaluation of aortocoronary bypass grafts with magnetic resonance flow mapping. *Am J Cardiol* 1995; 75: 845-848.
42. Galjee MA, Van Rossum AC, Doesburg T, Van Eenige MJ, Visser CA. Value of magnetic resonance imaging in assessing patency and function of coronary artery bypass grafts. An angiographically controlled study. *Circulation* 1996; 93: 660-666.
43. Wang Y, Rossman PJ, Grimm RC, Riederer SJ, Ehman RL. Navigator-echo-based real-time respiratory gating and triggering for reduction of respiration effects in three-dimensional coronary MR angiography. *Radiology* 1996; 198: 55-60.
44. Stillman AE, Wilke N, Haacke EM, McLachlan S. Ultrasmall superparamagnetic iron oxide to enhance MRA of the renal and coronary arteries: studies in human patients. *J Comput Assist Tomogr* 1996; 20: 51-55.
45. Börnert P, Jensen D. Coronary artery imaging at 0.5 T using segmented 3D echo planar imaging. *Magn Reson Med* 1995; 34: 779-785.