

APLICACIÓN DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA EN EL DIAGNÓSTICO DE LA PATOLOGÍA VASCULAR ARTERIAL: ANGIO-RESONANCIA

MAGNETIC RESONANCE IMAGING FOR THE DIAGNOSIS OF ARTERIAL VASCULAR DISEASES: MR ANGIOGRAPHY

Ana Capalastegui, Elena Astigarraga, José Alejandro Larena

Osatek, S.A. Unidad de Galdakao. Hospital de Galdakao. Galdakao. Bizkaia. España UE.

RESUMEN

La obtención de imágenes arteriográficas mediante Resonancia Magnética.(Angio-Resonancia) es una técnica consolidada y con evidencia científica que la avala como alternativa no invasiva a la arteriografía convencional por catéter. Presenta además ventajas frente a la ecografía doppler (obtención de imágenes arteriográficas) y la arteriografía por TAC (ausencia de radiación ionizante y contrastes con un perfil más seguro), y en muchos casos aporta información adicional, de tipo anatómico o funcional. Los avances técnicos en los equipos de Resonancia en los últimos años han conseguido que estas exploraciones sean competitivas, si bien para conseguir un resultado óptimo, es importante disponer de medios técnicos y humanos adecuados. Presentamos en este artículo una revisión de las principales aplicaciones de la Angio-Resonancia en la vasculatura intracraneal, troncos supraórticos, aorta, arterias renales, extremidades inferiores, arterias pulmonares, y otras ramas aórticas. En estos momentos, sus principales limitaciones son la menor resolución espacial (aspecto importante en territorios como las arterias pulmonares, coronarias o los vasos de pequeño calibre intracraneales), la menor disponibilidad y sus contraindicaciones. Al ser una técnica en constante evolución, es previsible un uso creciente en la patología vascular, limitando la arteriografía convencional a un papel intervencionista.

PALABRES CLAVES: resonancia magnética, diagnóstico, angioresonancia, patología vascular arterial.

ABSTRACT

Obtention of arteriographic images by means of Magnetic Resonance (Magnetic Resonance Angiography) is a robust technique, and scientific evidence recommends its use as a non invasive alternative to conventional catheter arteriography. In addition, it has some advantages comparing to doppler sonography (obtention of arteriographic images) and CT angiography (lack of ionising radiation and use of safer contrast media), and in many cases provides additional information, morphologic or functional. Technical advances in Magnetic Resonance systems over the last years have made this examination competitive, although obtaining an optimal result requires appropriate technical and human resources. In this article we present a review of the clinical applications of Magnetic Resonance Angiography in intracranial vasculature, supraortic trunks, aorta, renal arteries, inferior extremities, pulmonary arteries and other aortic vessels. At this time, main disadvantages include lower spatial resolution (important question in territories such as pulmonary and coronary arteries, and small intracranial vessels), less availability and contraindications to the technique. As this technique is continuously evolving, it is feasible to see a growing use in vascular diseases, reserving conventional arteriography to interventional procedures.

KEY WORDS: magnetic resonance, diagnosis, magnetic resonance angiography, arterial vascular disease.

LABURPENA

Erresonantzia Magnetikoa edo Angio-erresonantziaren bitartez irudi arteriografikoak eskuratzea dagoeneko egonkorturik dagoen teknika da. Zientziaren alorrak egiaztatu duen bezala, kateter bidezko ohiko arteriografiak gainera egun daukagun beste aukera bat da, inolako kalterik eragiten ez duena, gainera. Doppler ekografiarekin (irudi arteriografikoak eskuratzeko teknika) eta OTA bidezko arteriografiarekin erkatuz gero, abantaila handiak eskaintzen ditu. Askotan, anatomiar edo funtzionaltasunari begirako informazio gehigarria ematen du. Azken urteotan erresonantzia-ekipoetan aurrerapen tekniko ugari izan direnez, azterketa horiek oso lehiakorrek dira gaur egun; alabaina, emaitza ezin hobea erdiesteko, ezinbestekoa da bitarteko tekniko eta giza bitarteko egokiak izatea. Honako artikulua honetan, beraz, Angio-erresonantziaren aplikazio nagusiak gainbegiratu ditugu: gazezur barneko basoetan, enbor supraortikoetan, aortan, giltzurrunetako arterietan, beheko gorputz-adarretan, birika-arterietan eta beste adar aortiko batzuetan, hain zuzen. Une honetan, azterketa mota honek baditu bere mugak: espazio-bereizmen txikiagoa dauka (eta ezaugarri hori oso garrantzitsua da birika-arterietan, arteria koronarioetan edo gazezur barneko baso txikietan azterketa egiteko), erabilia izateko prestasun txikiagoa dauka eta kontraindikazio dezente ditu. Etengabe bilakaeran dagoen teknika denez, baso-patologian gero eta gehiago erabiliko dela aurreikusten da; hartara, ohiko arteriografiak rol interbentzionista baino ez du izango.

GILTZA HITZAK: Erresonantzia magnetikoa, Diagnostikoa, Angio-erresonantzia eta Arterietako Baso-patologia.

Correspondencia:
Ana Capalastegui.
OSATEK, S.A. Unidad de Galdakao
Hospital de Galdakao
Barrio Labeaga s/n
48960, Galdakao. Bizkaia. España UE.
Correo electrónico: acapalastegui@osatek.es
Enviado: 09/11/04 Aceptado: 14/02/05

Torasemida
Sutril

La Certeza
de Predecir
la Respuesta



en el Tratamiento
con Diurético



Ferrer grupo

Torres Via Cerdas 46, 84 (Barcelonès) 08028 Barcelona

[illegible]

Introducción

La obtención de imágenes mediante rayos X tras la inyección de un medio de contraste yodado en el torrente sanguíneo fue la primera técnica que consiguió ofrecer una representación del árbol vascular arterial, es decir, una arteriografía. La Arteriografía Convencional (AC) permite conseguir imágenes de gran resolución espacial, con identificación de vasos de pequeño calibre, sobre todo si se emplean técnicas de substracción digital e inyecciones selectivas del contraste. Además, el acceso por punción arterial permite aplicar técnicas de revascularización. La constante evolución en las técnicas, el desarrollo de nuevos materiales y la introducción de contrastes yodados no iónicos y de baja osmolaridad han reducido el riesgo inherente a estos procedimientos. No obstante, siguen precisando ingreso hospitalario, puede existir mala tolerancia por el paciente, los costes son elevados, y, lo que es más importante, la morbi-mortalidad aunque mínima (1), no es despreciable.

Los últimos avances en otras técnicas de imagen han impulsado el desarrollo de métodos diagnósticos alternativos que puedan sustituir a la AC diagnóstica en determinados casos, como son la ecografía-doppler, la angiografía por TAC (ATAC) y la Angiografía por Resonancia Magnética (ARM). La ecografía doppler es una técnica completamente inocua, de alta disponibilidad y barata, pero que en ocasiones presenta limitaciones, debidas a la constitución del paciente, a la dependencia del ecografista y a la falta de obtención de imágenes comprensibles para los cirujanos o que puedan ser usadas como mapa previo a un procedimiento endovascular (2,3). El ATAC, ha mejorado de manera espectacular sus resultados con los últimos avances técnicos de los equipos (multidetectores) (4,5), consiguiendo imágenes de gran resolución espacial y una magnífica detección de las calcificaciones, pero sigue presentando inconvenientes inherentes a la técnica: emplea radiación ionizante y medios de contraste con un

perfil menos seguro que los de la Resonancia Magnética (RM) (6) en cuanto a número y gravedad de reacciones alérgicas y nefrotoxicidad. Los radiólogos estamos obligados a considerar la eficacia, beneficios y riesgos de una técnica diagnóstica que no emplee radiación ionizante frente a una que sí lo emplee, siempre que proporcione, por lo menos, similar información.

La ARM se perfila como una técnica diagnóstica no invasiva con grandes posibilidades de implantación debido a la calidad de las imágenes obtenidas, el enorme potencial de desarrollo futuro y la seguridad que ofrece al paciente, ya que emplea dos fuentes de energía (magnetismo y radiofrecuencia) sin efectos adversos conocidos. Su progresiva implantación, a medida que los centros validan la técnica y los clínicos ganan confianza, está resultando en una disminución de arteriografías diagnósticas convencionales. Actualmente, las principales desventajas de esta técnica son su menor disponibilidad, las contraindicaciones y la menor resolución espacial de las imágenes. En nuestro medio, el coste es superior al de un TAC, e inferior al de las técnicas invasivas (arteriografía convencional), que requieren hospitalización. En este momento se puede considerar que más que una tecnología emergente, la ARM es una técnica consolidada. Este artículo ofrece una revisión de las aplicaciones de la ARM en el diagnóstico de patología vascular arterial.

Angiografía por Resonancia Magnética: aspectos técnicos

Aunque la RM lleva más de 20 años empleándose como técnica diagnóstica, fue necesario esperar algún tiempo antes de ver su utilidad en el terreno vascular. Inicialmente se emplearon técnicas sin contraste (tiempo-de-vuelo, TOF y contraste-de-fases, PC) que se basaban en la obtención de imágenes en las que la sangre circulante brillaba en las imágenes, gracias a la sensibilidad intrín-

seca de la RM al movimiento. Estas secuencias tenían sin embargo limitaciones importantes inherentes a la propia técnica: largo tiempo de exploración, dificultad para estudiar territorios amplios, mala visualización de vasos distales y/o de pequeño calibre, artefactos de variada naturaleza, etc. Actualmente se encuentran superadas, limitándose su uso a aplicaciones muy concretas.

En 1993, M. Prince introduce la técnica de la angiografía 3D contrastada (7), que debe su nombre al empleo una secuencia 3D (adquisición de datos en las tres dimensiones del espacio, con posibilidad de reconstruirlos posteriormente en cualquier dirección) y al uso de contraste paramagnético i.v. (gadolinio). Este hito supuso una revolución en las aplicaciones de la ARM. El desarrollo tecnológico de los equipos de RM en años posteriores consiguió superar las dificultades que se planteaban en abdomen (peor relación señal/ruido, movimientos de estructuras debido a respiración y peristaltismo intestinal que degradan la calidad de la imagen), gracias al empleo de secuencias más rápidas que conseguían durante una apnea toda la información necesaria para la obtención de la imagen (8). Posteriormente, la instalación de mesa móvil automática en los equipos de RM ha permitido obtener estudios diagnósticos de las extremidades inferiores.

Estas exploraciones requieren la adecuación de una serie de factores técnicos, que en la práctica limitan su uso a determinados centros. Se necesita un equipo de RM de elevadas prestaciones: alto campo, gradientes potentes y rápidos, bobinas multicanal, software adecuado, mesa móvil automatizada e inyector de contraste compatible con la RM. Son exploraciones con cierta complejidad, que requieren un personal entrenado, para reducir los fallos técnicos y obtener el máximo rendimiento diagnóstico. Es importante la sincronización adecuada de la inyección de gadolinio con la adquisición de imágenes para obtener una fase arterial pura (buen contraste

arterial y ausencia de contraste en venas). Esto puede hacerse calculando mediante la inyección de una pequeña cantidad de contraste el tiempo que tarda en llegar a la región a estudiar o a través de opciones de software de los equipos, que permiten detectar la llegada del contraste de un modo automático o visual, en tiempo real. Las nuevas generaciones de gradientes han demostrado la posibilidad de obtener una serie 3D en un tiempo ultracorto, con lo que se pueden obtener varias fases consecutivas, incluso en un mismo tiempo de apnea. (9,10). Todos estos factores influyen significativamente en el resultado final.

La manipulación de las imágenes obtenidas (postproceso) es esencial para extraer toda la información posible y mejorar la calidad de las imágenes obtenidas. Esta tarea la realiza el médico radiólogo en la estación de trabajo, una vez que el paciente ya ha salido de la máquina. Básicamente consiste en proyectar las imágenes obtenidas, para obtener un aspecto similar al de una AC. Esto se consigue con los MIPs (Proyecciones de Máxima Intensidad), por lo que son imágenes muy valoradas por los clínicos, pero en muchos casos, determinados problemas diagnósticos se resuelven mejor con MPRs (Reconstrucciones MultiPlanares) o MIPs restringidos, que consiguen demostrar vasos de pequeño calibre, eliminar superposiciones o lograr el plano ideal para cada caso. Otros métodos de reconstrucción más sofisticados (reconstrucciones sombreadas de superficie, endoscopia virtual) pueden conseguir imágenes espectaculares pero que habitualmente no añaden datos significativos al diagnóstico (11).

Finalmente, es necesario recordar la existencia de unas contraindicaciones generales para la realización de RM: marcapasos, determinados clips de aneurismas intracraneales, implantes electrónicos (neuroestimuladores, bombas de infusión, implantes cocleares), etc. El médico radiólogo debe conocer la existencia de cualquier implante metálico en el paciente, para decidir si es posible realizar el estudio

de RM con seguridad. Aunque muchos pacientes acuden a realizarse la prueba con ansiedad, según nuestra experiencia la claustrofobia supone un problema real en un escaso porcentaje de pacientes. Asimismo, se requiere cierta colaboración del paciente, para estar inmóvil (y mantener apneas, si estudiamos el tórax o abdomen) durante el tiempo que dura cada secuencia (16-20 segundos). El tiempo total del estudio, incluyendo la preparación (toma de vía, colocación en la mesa con las bobinas, explicación de la prueba) es actualmente de unos 20 minutos. Por último, la ARM también puede emplearse tras la realización de un procedimiento terapéutico endovascular o quirúrgico, para confirmar el buen resultado del mismo o detectar posibles complicaciones. Cuando se ha colocado un stent, los artefactos producidos pueden dificultar la valoración del flujo arterial, y ello dependerá sobre todo de la composición del material empleado, y también de la geometría del stent. En los stents compuestos de nitinol, el artefacto puede ser nulo o mínimo, pero en otros casos llega a impedir totalmente la valoración del segmento

correspondiente del vaso. La presencia de prótesis de aneurisma aórtico no provoca en general artefactos importantes.

Angiografía por Resonancia Magnética: Aplicaciones

En estos momentos podemos considerar que la ARM se encuentra implantada en el estudio de troncos supraaórticos, aorta, arterias renales y extremidades inferiores, habiendo probado su eficacia para sustituir como estudio inicial a la AC. Su uso está aumentando en otras ramas aórticas y arterias pulmonares, siendo previsible que a corto plazo se obtengan resultados adecuados. La ARM de arterias coronarias se encuentra aún en investigación, sin resultados probados, siendo un territorio donde actualmente es ampliamente superada por el ATAC.

Vasculatura intracraneal

El flujo arterial intracraneal presenta ciertas ventajas cuando va a ser estudiado con ARM, como son la ausencia de movimientos significativos y el

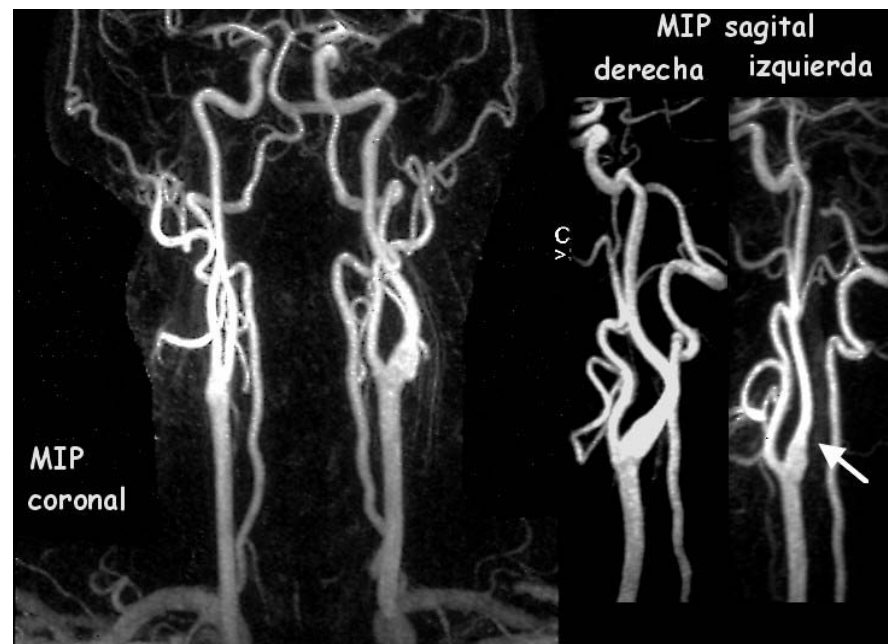


Fig. 1. Troncos supraaórticos estudiados con angio resonancia: Mip coronal (izquierda) y MIPs sagitales (derecha), demostrando una mínima placa ateromatosa en cara posterior de bulbo carotídeo izquierdo.

pequeño territorio a estudiar. El mayor reto lo constituye la obtención de imágenes con suficiente resolución espacial, ya que se trata de vasos de pequeño calibre. Así, la eficacia de la ARM en la detección de patología en esta localización va disminuyendo según se trata de vasos más distales y por lo tanto de menor calibre. La técnica de elección es actualmente el 3D-TOF en el plano axial, sensibilizado al flujo arterial gracias a la saturación selectiva del flujo venoso. Se puede emplear sin o con contraste (12). Otra limitación de la ARM la constituye la falta de información sobre la hemodinámica de la circulación intracraneal, por lo que en muchos casos resulta difícil descartar la contribución de un vaso concreto al llenado de una lesión, o, por ejemplo, cual es la dirección del flujo en el polígono de Willis. Aunque hay técnicas que permiten detectar la dirección del flujo (PC), no se emplean rutinariamente. Recientemente se están comenzando a aplicar las técnicas 3D contrastadas con buenos resultados, sacrificando resolución espacial pero ganando información funcional, ya que permiten obtener imágenes de llenado arterial en sucesivas fases y proporcionar por lo tanto una aproximación a la hemodinámica de la lesión.

La ARM ha demostrado utilidad en la detección de estenosis arteriales, especialmente en vasos proximales (carótidas, basilar, segmentos proximales de las principales arterias intracraneales). Esta técnica tiende sin embargo a sobrevalorar las lesiones estenóticas. En la evaluación de la patología isquémica cerebral, la RM ofrece además la posibilidad de valorar el territorio afecto, tanto en fase aguda (gracias a las técnicas de difusión) como en fase crónica.

La ARM es útil para el estudio de aneurismas carotídeos, estando el límite inferior de identificación en los aneurismas en 3 mm (13). La ARM proporciona información sobre el tamaño, cuello y localización del aneurisma, así como su relación con estructuras circundantes. Podemos emplear esta técnica en el segui-

miento de aneurismas tratados, sin olvidar que los clips de aneurismas pueden constituir una contraindicación absoluta para la realización de la RM, si son ferromagnéticos, ya que existe riesgo de desplazamiento debido al campo magnético, con el consiguiente sangrado.

La ARM también es útil en el diagnóstico y seguimiento de malformaciones arterio-venosas, identificando el nidus, el aporte arterial y los vasos de drenaje, así como en las fístulas dures. El uso de ARM empleando técnica 3D contrastada se va imponiendo por su ventaja demostrando la hemodinámica de estas lesiones. Aunque la RM puede ser la prueba diagnóstica inicial y de seguimiento, la arteriografía convencional selectiva y superselectiva continúa siendo una exploración necesaria en la mayoría de los casos a la hora de tomar decisiones terapéuticas ¹².

Troncos supraórticos

Las nuevas bobinas permiten obtener imágenes diagnósticas de los troncos supraórticos desde su origen en el cayado hasta la vasculatura intracraneal, pudiendo de este modo estudiar adecuadamente la existencia de lesiones arterioescleróticas (figura 1). Aunque la caracterización de estenosis se centra en las bifurcaciones carotídeas, debido a la mayor frecuencia de lesiones en este nivel, la ARM permite evaluar estenosis en la salida del cayado, o incluso a nivel intracraneal (canal carotídeo, segmentos distales de las carótidas internas). En estos momentos existe en la literatura científica evidencia de que la eficacia de la ARM es comparable a la de la AC en la identificación y caracterización de estenosis (14,15). La ARM muestra utilidad y superioridad con respecto al eco doppler en la diferenciación entre estenosis preoclusivas y oclusiones verdaderas (16), aspecto importante por sus implicaciones a la hora de clasificar una lesión como quirúrgica o no quirúrgica. Actualmente varios autores recomiendan que la ARM sea la única técnica de imagen prequirúrgica (17),

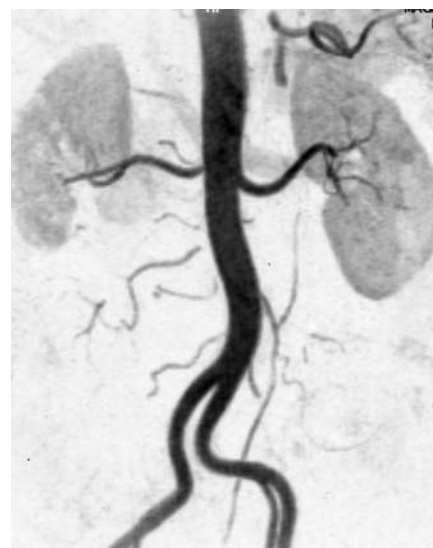


Fig.2. Aorta abdominal normal: imagen de angio resonancia magnética con técnica 3D contrastada (MIP coronal).

aunque otros defienden el hecho de que su eficacia diagnóstica aumenta al combinarla con el eco doppler (18). La ARM presenta una ventaja añadida en el caso de que exista una disección arterial (carotídea o vertebral), ya que en las imágenes morfológicas se identifica fácilmente el hematoma subintimal (19). Ello es debido a la característica señal brillante que presentan los productos de degradación de la hemoglobina en las secuencias potenciadas en T1. Todo estudio de ARM en troncos supraórticos debe obtener rutinariamente imágenes T1 en el plano axial, ya que de otro modo esta patología podría pasar desapercibida.

La ARM puede también identificar la inversión de flujo en la arteria vertebral que se produce en un síndrome de robo de la subclavia, si bien en estos casos es útil conocer la sospecha clínica, para adaptar la técnica y emplear determinadas secuencias que confirman con absoluta certeza la inversión del flujo.

Un capítulo interesante, aún en investigación, es la evaluación de las características de la placa ateromatosa, como factor predictivo del pronóstico del paciente (20). Es necesario recordar que la RM es relativamente insensible a la detección de calcio.

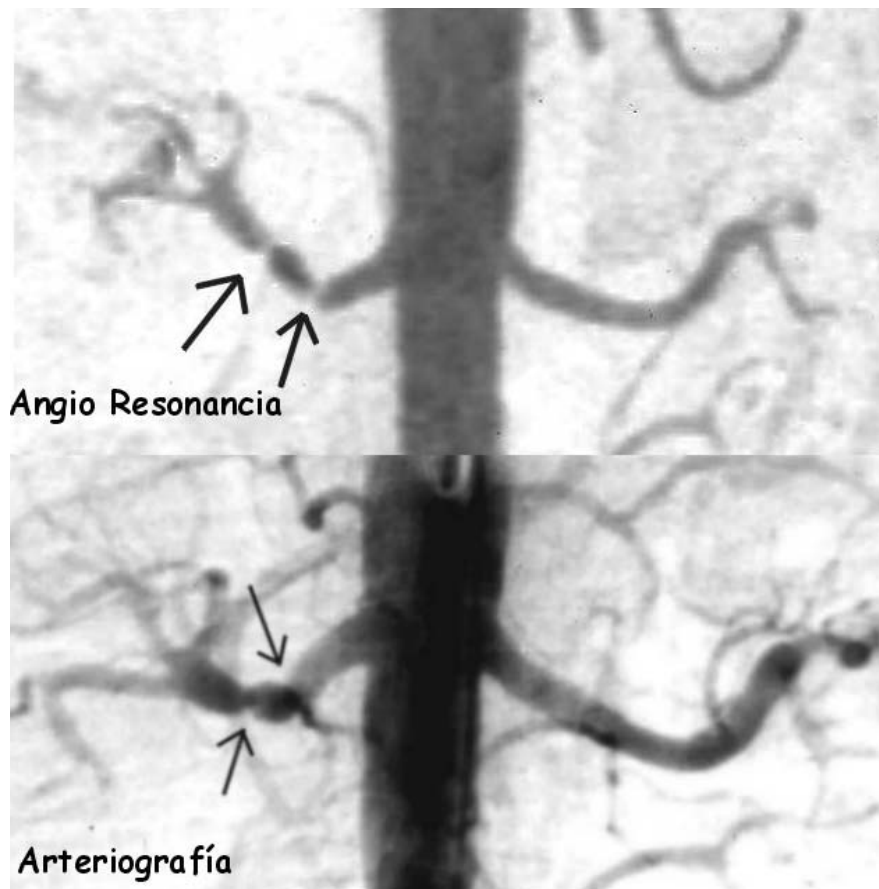


Fig.3. Correlación entre la imagen de arterias renales obtenidas angio resonancia magnética (arriba) y arteriografía convencional (abajo). Se identifican dos estenosis en tercio medio de arteria renal derecha debidas a displasia fibromuscular, en un paciente en estudio por hipertensión arterial.

Aorta

Para la aorta torácica se emplea un plano oblicuo sagital, situado sobre una imagen axial. Para la aorta abdominal, el plano ideal es el coronal oblicuo, adaptándonos al curso de la aorta, sobre un localizador sagital (figura 2). Los resultados obtenidos con esta técnica en el estudio de aneurismas de aorta abdominal y estenosis arterioescleróticas en las series publicadas son muy buenos, equiparables a los de la AC. Los trabajos más recientes apuntan a la ARM como la única técnica de imagen a emplear en la evaluación prequirúrgica del paciente con enfermedad aórtica (21).

Cualquier técnica de imagen que se emplee para estudiar los aneurismas aórticos debe intentar determinar las

siguientes características: extensión (longitud y diámetro cráneo-caudal), relación con ramas viscerales (renales) y arterias ilíacas (condiciona la técnica quirúrgica), existencia o no de trombo mural, existencia de vasos renales supernumerarios o de una vena renal izquierda retroaórtica. La ARM ofrece esta información, y además añade datos sobre el estado de las estructuras extraluminales, si empleamos secuencias anatómicas: pared aórtica, trombo mural, proporcionando información importante sobre el diámetro real del aneurisma.

La ARM puede demostrar los diferentes grados de afectación en las estenosis y oclusiones arterioescleróticas en el sector aorto-ilíaco (22,23,24) desde la placa mural hasta las estenosis y la oclusión. Cuando estudiamos este tipo de patología debemos prestar atención a establecer el grado de

estenosis y la longitud de vaso afecto, determinar la presencia de circulación colateral y diferenciar entre estenosis severa y oclusión. En el caso concreto de las oclusiones (Síndrome de Leriche), es la técnica ideal capaz de mostrar el segmento ocluido, ya que consigue definir el punto de recanalización distal sin problemas por dilución del contraste a través de la circulación colateral.

En las disecciones aórticas, la ARM identifica la doble luz, con diferentes velocidades de circulación, así como el punto de rotura intimal y la extensión a ramas aórticas (25). En las disecciones crónicas, se muestra como una técnica útil para realizar controles evolutivos. Una evaluación completa obliga a estudiar la aorta desde su raíz hasta los vasos ilíacos. Si se afecta la raíz aórtica es posible con RM evaluar el estado de competencia de la válvula aórtica mediante secuencias cine, que permiten visualizar el movimiento de la válvula a lo largo del ciclo cardíaco y detectar flujos anómalos indicativos de insuficiencia o estenosis. En las disecciones agudas, la RM no es la técnica de elección debido a la inestabilidad del paciente.

El estudio de úlcera penetrante con RM debe combinar técnicas morfológicas y angiográficas para detectar el hematoma subintimal o intramural. La RM ha demostrado su eficacia, aunque hay que señalar que es claramente inferior que el TAC detectando calcificaciones intimales desplazadas. El hematoma intramural, o disección aórtica sin flap intimal, se identifica en RM como un engrosamiento mural sin efecto masa en la luz aórtica, y con la característica señal brillante en el T1 (26).

Arterias renales

La principal aplicación es la detección de estenosis de arteria renal, como causante de HTA y/o insuficiencia renal. Clásicamente, este screening se hacía con AC, aunque su uso en la práctica se ve limitado por ser el riesgo que conlleva, o con eco-doppler, con resultados variables. La ARM ha

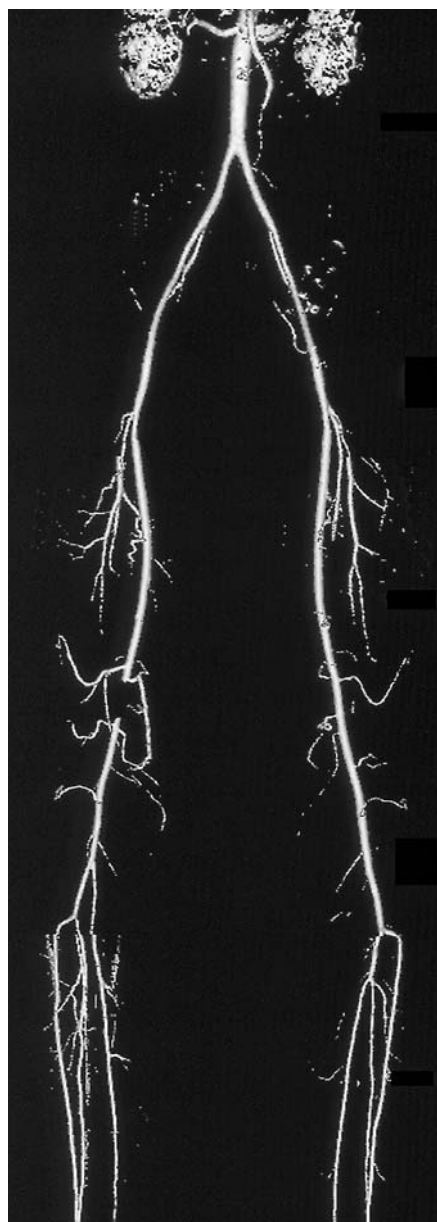


Fig.4. Angio resonancia magnética del sector aorto-iliaco y extremidades inferiores (reconstrucción sombreada de superficie); oclusión de arteria poplítea derecha, con circulación colateral y buen flujo distal. Variante anatómica con origen alto de la arteria tibial posterior derecha.

demonstrado su utilidad para identificar las estenosis hemodinámicamente significativas, y varios estudios publicados en los últimos años han demostrado que la técnica que mejores resultados ofrece es la angiografía 3D contrastada en apnea^{27,28}. Más que intentar graduar la estenosis en porcentajes, el papel de la ARM debe limitarse a dividir los pacientes en dos

grupos: aquellos con alta probabilidad de estenosis significativa (y que por lo tanto deben dirigirse a AC terapéutica) y aquellos con arterias renales normales o con estenosis no significativas. La RM ofrece también la posibilidad de medir el flujo en la arteria renal, empleando secuencias cine PC con sincronización cardíaca y con un plano de imagen perpendicular al vaso. Se calcula así el volumen de flujo por unidad de tiempo, que puede a su vez correlacionarse con la masa renal para ser más significativo.

El criterio diagnóstico de estenosis es el estrechamiento de la luz del vaso, y se valoran signos secundarios: dilatación postestenótica y datos nefrográficos, como son la captación de contraste por parte del parénquima renal retrasada con respecto al riñón contralateral, el adelgazamiento cortical y menor tamaño renal. Aunque el hecho de que una estenosis sea hemodinámicamente significativa lo determina la reversibilidad de sus efectos al corregirla, se acepta que los signos secundarios tienen un alto valor predictivo positivo, aunque su sensibilidad sea baja (29). En general, la ARM tiende a sobrevalorar las estenosis, siendo infrecuentes los falsos negativos de la técnica.

Aunque la mayoría de las estenosis de arteria renal son de origen arterioesclerótico, la displasia fibromuscular constituye la segunda causa en frecuencia (figura 3). En estos casos se suele afectar la arteria renal media y distal, así como ramas segmentarias, con un patrón arrosariado típico. Cuando la afectación es leve, la identificación de las características lesiones requiere imágenes con alta resolución espacial y libres de artefactos. La ARM detecta adecuadamente las estenosis asociadas, aunque aún presenta problemas debidos a falta de resolución espacial en la identificación de cambios murales sutiles, indicativos de esta patología.

Otra indicación de la ARM de arterias renales es el estudio de manera no cruenta de las variantes anatómicas de la vasculatura (vasos supernumerarios). Esto puede tener su interés en

la valoración de donantes potenciales de riñón (ya que condiciona la técnica quirúrgica) y en los síndromes de la unión pieloureteral, para separar los pacientes con obstrucción causada por un vaso polar inferior de aquellos idiopáticos (candidato a técnicas de endopielotomía percutánea). En general, la ARM se puede aplicar al estudio de cualquier tipo de patología vascular renal: complicaciones en los trasplantes, masas neoplásicas (vascularización arterial, invasión venosa), malformaciones, aneurismas, etc (30).

Extremidades inferiores

La incorporación de avances en los equipos de RM de última generación, como la mesa móvil automática y los inyectores automáticos de contraste, ha conseguido una situación tecnológica favorable a la obtención de imágenes diagnósticas del árbol vascular en un territorio amplio, como son las extremidades inferiores. Para estudiar las arterias desde aorta abdominal hasta tobillos, la mesa de la RM se va desplazando, obteniendo imágenes de tres zonas que se solapan mínimamente (abdomino-pélvica, muslos y piernas), ya que esta técnica de imagen tiene limitada la zona a estudiar a un máximo de 50 cm. La inyección de contraste debe adaptarse (cantidad, flujo, intervalos) de manera específica a esta situación para que el resultado sea óptimo. Tras el postprocesado de las imágenes, éstas se imprimen en una placa de modo que simulen continuidad entre las tres zonas estudiadas consecutivamente (figura 4).

La principal indicación en este territorio es el estudio de la patología arterioesclerótica, identificando y caracterizando estenosis, así como oclusiones. En este momento hay suficiente evidencia científica acumulada avalando la eficacia de la RM frente a las técnicas convencionales (31,32). La RM en ocasiones es superior a la AC en la identificación del punto de recanalización del vaso obstruido a través de colaterales. También es útil en el estudio de aneurismas y ectasias, definiendo su extensión y la posible trom-

bosis mural, así como en el seguimiento de pacientes intervenidos, valorando la permeabilidad del bypass y detectando posibles complicaciones (estenosis, pseudoaneurismas, etc.). Se ha empleado esta técnica diagnóstica en los síndromes de atrapamiento poplíteo con buenos resultados, ya que no solo identifica la estenosis u oclusión arterial, sino que permite obtener imágenes morfológicas que demuestran la anomalía anatómica asociada (inserción muscular aberrante), o incluso imágenes dinámicas, que ponen de manifiesto una estenosis arterial que únicamente se produce en dorsiflexión del pie.

La ARM también se ha empleado en pacientes diabéticos, para estudiar el estado de la vasculatura distal, en el pie. En concreto, hay estudios que han empleado esta técnica para identificar vasos distales permeables y ofrecer una alternativa de revascularización quirúrgica, demostrando que identifica vasos permeables adecuados para el bypass en un número superior de casos a los que identifica la AC.

Arterias pulmonares

Este campo se encuentra menos desarrollado en este momento debido al conflicto que existe entre la necesidad de identificar adecuadamente vasos de pequeño calibre con suficiente resolución espacial y los problemas derivados del movimiento respiratorio y cardíaco que existen en la caja torácica. Los equipos de última generación permiten obtener imágenes que conjugan elevada resolución espacial, adecuada cobertura anatómica y tiempo de adquisición lo suficientemente bajo como para realizar una apnea cómoda (suelen ser pacientes con cierto grado de disnea). Las imágenes se pueden adquirir en el plano coronal (puede haber problemas para cubrir la totalidad de campos pulmonares) o en dos adquisiciones consecutivas sagitales (una para cada pulmón). La principal aplicación sería el diagnóstico de tromboembolismo pulmonar. El estudio mediante RM puede ofrecer en estos casos información anatómica, arteriográfica (ARM) y de perfusión pul-

monar (33,34,35) (figura 5). Sin embargo, actualmente la resolución espacial de la ARM es muy inferior a la del TAC, no siendo fiable en la valoración de vasos distales. Por lo tanto, en este momento parece razonable considerar a la RM técnica de elección únicamente en contraindicaciones al TAC: embarazadas (población con mayor prevalencia de TEP) y alergia al contraste yodado.

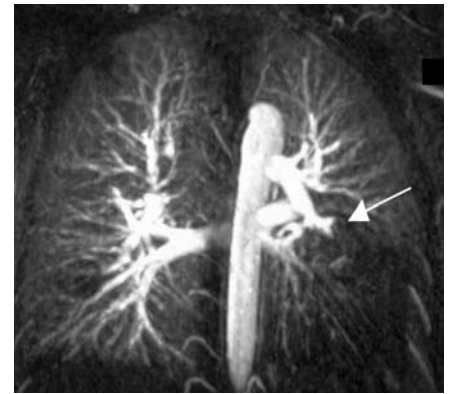
La RM puede ser diagnóstica en entidades de naturaleza vascular, como malformaciones arterio-venosas pulmonares, y determinadas anomalías congénitas (secuestro intralobar, anomalías del drenaje venoso). Asimismo, cuando se combina con imágenes anatómicas, puede ser una técnica complementaria al TAC en determinados aspectos del estadiaje de carcinoma pulmonar: tumor de Pancoast, invasión vascular, mediastínica o de pared torácica.

Otras ramas aórticas

Actualmente la ARM puede proporcionar imágenes diagnósticas adecuadas de las arterias esplácnicas, que solucionen problemas diagnósticos como la isquemia mesentérica. La técnica de ARM es similar a la empleada para el estudio de las arterias renales, centrando el volumen 3D en una situación más anterior para cubrir las ramas de las arterias mesentéricas. En estos casos, se valora el número y grado de estenosis, así como la existencia de circulación colateral. Estudios de investigación recientes emplean la cuantificación de flujo con RM en diferentes fases postpandriales para el diagnóstico de la isquemia mesentérica crónica (36).

La ARM es útil para evaluar el estado de las arterias subclavias en los síndromes de estrecho torácico superior, siendo posible obtener imágenes en aducción y abducción de los brazos, lo cual es importante para demostrar algunas compresiones dinámicas.

La ARM ya se emplea en muchos centros como técnica de elección en la evaluación pre y postquirúrgica de los trasplantes hepáticos. En el estadije del adenocarcinoma pancreático,



Tromboembolismo pulmonar en mujer gestante. Angio RM (MIP coronal) con la imagen típica de stop debida al trombo (flecha) en la arteria que irriga los segmentos basales de LII, condicionando una menor vasculatura distal.

la ARM puede valorar con eficacia la invasión vascular y venosa, complementando así el estudio morfológico del páncreas. Otro territorio interesante lo constituye la vasculatura espinal. La ARM, con adquisiciones en el plano sagital, puede valorar fístulas arteriovenosas dures con buenos resultados (37). Menos consistentes son los resultados en el estudio de otras lesiones, como malformaciones arterio-venosas, tumores vasculares y enfermedad oclusiva vascular.

Otra indicación de la ARM es el estudio de la anatomía y patología de las fístulas arterio-venosas en extremidad superior en los pacientes sometidos a hemodiálisis.

En resumen, la ARM, como técnica de diagnóstico por imagen no invasiva, tiene un papel creciente en el estudio de la patología vascular, cuyo fin último es limitar la arteriografía por catéter a un papel intervencionista y evitar los riesgos inherentes a esta técnica. En muchas ocasiones, la RM aporta además información adicional, ya sea de tipo anatómico o funcional. En este momento, la mayor limitación de la ARM con respecto a la AC y el ATAC es la menor resolución espacial, aunque es previsible que se produzcan avances en los equipos de RM tanto en el software como en el hardware, y habrá que valorar su impacto en las aplicaciones clínicas. La ARM ha demostrado su utilidad, y ya hay sufi-

cienta evidencia científica que lo avala, aunque el desarrollo de su enorme potencial aún no ha finalizado. La validez clínica, las implicaciones en la seguridad del paciente y la eficiencia económica demostrada en cada centro deberán en definitiva guiar en la selección de una técnica de imagen cuando el clínico precise estudiar el estado de las arterias de un paciente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 Waugh JR, Sacharias N. Arteriographic complications in the DSA era. *Radiology* 1992;182:243-246.
- 2 Sturhmann M, Roefke C, Jahnke T, Cramer BM. Duplex sonography of renal artery stenosis: potentials and limits of frequency spectrum analysis of arterial segments compared with angiography. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 1998;168:258-263.
- 3 Strotzer M, Fellner CM, Geissler A, Gmeinwieser J, Kohler SM, Krämer BK et al. Noninvasive assessment of renal artery stenosis. A comparison of MR angiography, colour doppler sonography and intraarterial angiography. *Acta Radiol* 1995;36:243-247.
- 4 Kaatee R, Beek F, De Lange E, Van Leeuwe M, Smits H, Van Der Ven E et al. Renal artery stenosis: detection and quantification with spiral CT angiography versus optimized digital subtraction angiography. *Radiology* 1997;205:121-127.
- 5 Beregi JP, Louvegny S, Ceugnart L, Willoteaux S, Elkohem M, Desmoucelle F et al. Helical CT angiography of renal arteries: two-years of experience. *J Radiol* 1997;78:549-556.
- 6 Nelson KL, Gifford LM, Lauber-Huber C, Gross CA, Lasser TA. Clinical safety of gadopentate dimeglumine. *Radiology* 1995;196:439-443.
- 7 Prince MR, Yucel EK, Kaufman JA, Harrison DC, Geller SC. Dynamic gadolinium-enhanced three-dimensional abdominal MR arteriography. *J Magn Reson Imaging* 1993;3:877-881.
- 8 Prince MR, Narasimham DL, Stanley JC, Chenevert TL, Williams DM, Marx MV et al. Breath-hold gadolinium-enhanced MR angiography of the abdominal aorta and its major branches. *Radiology* 1995;197:785-792.
- 9 Schoenber SO, Knopp MV, Prince MR, Londy F, Knopp MA. Arterial-phase three-dimensional gadolinium magnetic resonance angiography of the renal arteries. Strategies for timing and contrast media injection: original investigation. *Invest Radiol* 1998;33:506-514.
- 10 Goyen M, Laub G, Ladd ME, Debatin J, Barkhausen J, Truemmler KH et al. Dynamic 3D MR angiography of the pulmonary arteries in under four seconds. *Magn Reson Imaging* 2001;13:372-377.
- 11 Davis CP, Hany TF, Wildermuth S, Schmidt M, Debatin JF. Postprocessing techniques for gadolinium-enhanced three-dimensional MR angiography. *Radiographics* 1997;17:1061-1077.
- 12 Sohn C, Sevick RJ, Frayne R. Contrast-enhanced MR angiography of the intracranial circulation. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2003;11:599-614.
- 13 Metens T, Rio F, Baleriaux D, Roger T, David P, Rodesch G. Intracranial aneurysms: detection with gadolinium-enhanced dynamic three-dimensional MR angiography-initial results. *Radiology* 200;216:39-46.
- 14 Scarabino T, Carriero A, Giannatempo GM, Marano R, De mathaeis P, Bonomo L, et al. Contrast-enhanced MR angiography in the study of carotid artery stenosis: comparison with digital subtraction angiography. *J Neuroradiol* 1999;26:87-91.
- 15 Back MR, Rogers GA, Wilson JS, Johnson BL, Shames ML, Bandyk DF. Magnetic resonance angiography minimizes need for arteriography after inadequate carotid duplex ultrasound scanning. *Journal of Vascular Surgery* 2003;38(3):422-30.
- 16 Remonda L, Heid O, Schroth G. Carotid artery stenosis occlusion, and pseudo-occlusion: first-pass, gadolinium-enhanced, three-dimensional MR angiography-preliminary study. *Radiology* 1998;209(1):95-102.
- 17 Rofsky NM, Adelman MA. Gadolinium-enhanced MR angiography of the carotid arteries: a small step, a giant leap? *Radiology* 1998;209:31-34.
- 18 El-Sadem SM, Grant EG, Hathout GM, Zimmerman PT, Cojhen SN, Baker JD. Imaging of the internal carotid artery: the dilemma of the total versus the near total occlusion. *Radiology* 2001;221:301-308.
- 19 Auer A, Schmidauer C, Waldenberger P, Aichner F. Magnetic resonance angiographic and clinical features of extracranial vertebral dissection. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1998;64:474-481.
- 20 Helft G, Worthley SG, Fuster V et al. Progression and regression of atherosclerotic lesions: monitoring with serial noninvasive magnetic resonance imaging. *Circulation* 2002;105(8):993-8.
- 21 Smyth RH, Grist TM. MR angiography of the abdominal aorta. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1998;6:321-329.
- 22 Snidow JJ, Johnson MS, Harris VJ, Margosian PM, Aisen AM, Lalka S et al. Three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography for aortoiliac inflow assessment plus renal artery screening in a single breath-hold. *Radiology* 1996;198:725-732.
- 23 Hany TF, Debatin JF, Leung DA, Pfammatter T. Evaluation of the aortoiliac and renal arteries: comparison of breath-hold, contrast-enhanced three-dimensional MR angiography with conventional catheter angiography. *Radiology* 1997;204:357-362.
- 24 Holland GA, Dougherty L, Carpenter JP, Golden MA, Gilfeather M, Slossman F et al. Breath-hold three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography of the aorta and the renal and other visceral abdominal arteries. *AJR* 1996;166:971-981.
- 25 Krinsky G, Rofsky NM, DeCoroto DR, et al. Thoracic aorta: comparison of gadolinium-enhanced three-dimensional MR angiography with conventional MR imaging. *Radiology* 1997;202:183-193.
- 26 Murray JG, manisali M, Flamm SD, et al. Intramural hematoma of the thoracic aorta: MR image findings and their prognostic implications. *Radiology* 1997;204:349-356.
- 27 Rieumont MJ, Kaufman JA, Geller SC, Yucel EK, Cambria RP, Fang LS et al. Evaluation of renal artery stenosis with dynamic gadolinium-enhanced MR angiography. *AJR* 1997;169:39-44.
- 28 De Cobelli F, Vanzulli A, Sironi S, Mellone R, Angeli E, Venturini M et al. Renal artery stenosis: evaluation with breath-hold, three-dimensional, dynamic, gadolinium-enhanced versus three-dimensional phase-contrast MR angiography. *Radiology* 1997;205:689-695.
- 29 Prince MR, Schoenberg SO, Ward JS, Londy FJ, Wakefield TW. Hemodynamically significant atherosclerotic renal artery stenosis: MR angiographic features. *Radiology* 1997;205:128-136.
- 30 Siegelman ES, Gilfeather M, Holland GA, Carpenter JP, Golden MA, Townsend RR et al. Breath-hold three-dimensional gadolinium contrast-enhanced MR angiography of the renovascular system. *AJR* 1997;168:1035-1040.
- 31 Koelemay MJ, Lijmer JG, Stoker J, Legemate DA, Bossuyt PM. Magnetic resonance angiography for the evaluation of lower extremity arterial disease: a meta-analysis. *JAMA* 2001;285(10):1338-45.
- 32 Visser K, Hunink MG. Peripheral arterial disease: gadolinium-enhanced MR angiography versus color-guided duplex US-a meta-analysis. *Radiology* 2000;216(1):67-77.
- 33 Haage P, Piroth W, Krombach G, Schäffter T, Günther RW, Bückner A. Pulmonary embolism. Comparison of angiography with spiral computed tomography, magnetic resonance angiography and real-time magnetic resonance imaging. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 2003;167:729-734.
- 34 Stein PD, Woodard PK, Hull RD, Kayali F, Weg JG, Olson RE, Fowler SE. Gadolinium-enhanced magnetic resonance angiography for detection of acute pulmonary embolism: an in-depth review. *Chest* 2003;124:2324-2328.
- 35 Oudkerk M, Van Beek EJR, Wielopolski P, Van Ooijen PMA, Brouwers-Kuyper EMJ, Bongaerts AH et al. Comparison of contrast-enhanced magnetic resonance angiography and conventional pulmonary angiography for the diagnosis of pulmonary embolism: a prospective study. *Lancet* 2002;359:1643-1647.
- 36 Li KC. Mesenteric occlusive disease. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 1998;6:331-350.
- 37 Bowe BC, Saraf-Lavi E, Pattany PM. MR angiography of the spine: update. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 2003;11:559-584.