

Evaluación de la estenosis de la arteria carótida interna por angiografía RM con contraste: revisión sistemática de la bibliografía

Pilar Rodríguez Pérez * • José Martínez Cantarero* • Miguel Ruiz Díaz** • José Antonio Blázquez Morera** • Juan E. del Llano Señarís***

*Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario 12 de Octubre. Madrid. **Departamento de Estadística. Universidad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid. ***Fundación Gaspar Casal. Madrid. España.

Objetivo: Valorar la utilidad diagnóstica de la angiografía RM con contraste (ARMC) en el estudio de la estenosis de la arteria carótida interna extracraneal (ACI) frente a la arteriografía con sustracción digital intraarterial (ASDIA).

Material y métodos: Búsqueda de los artículos relevantes desde el año 1990 al 2000, utilizando las bases de datos MEDLINE y EMBASE. Criterios iniciales de selección: 1. Artículos que comparasen angio-RM con ASDIA en el estudio de estenosis de la ACI, y 2. Tamaño muestral, 10 sujetos o más. Posteriormente se seleccionaron los estudios con ARMC. Se estudiaron los resultados diagnósticos de la ARMC, y se valoró además la ARM sin contraste (TOF —time-of-flight—) si los estudios la incluían. Se elaboraron curvas COR e intervalos de confianza al 95%.

Resultados: En los estudios se evaluaron 324 pacientes y 648 ACI (12 artículos). Los resultados diagnósticos en la discriminación de la estenosis carotídea de la ARMC frente a la ASDIA fueron: sensibilidad y especificidad ponderadas, 97,28% y 97,08%, respectivamente. Se observó una diferencia significativa a favor de la ARMC frente a la ARM TOF en dichos valores ($p = 0,08$ y $p < 0,001$, respectivamente).

Conclusiones: Las técnicas ARM demuestran una capacidad diagnóstica muy alta en la detección de estenosis carotídea, siendo superior la técnica con contraste frente a la de sin contraste. A pesar de no ser superior a la ASDIA, dado el riesgo de morbimortalidad que esta última presenta (0,7-1,2%), muchos autores abogan porque la ARMC (asociada a la ecografía Doppler) se convierta en el método de elección del estudio quirúrgico de la estenosis de la ACI.

Palabras clave: Estenosis carotídea. Angiografía. Angio-RM.

Evaluation of Contrast MR Angiography in the Study of Internal Carotid Artery Stenosis. Systematic Review of the Literature

Aim: To evaluate the diagnostic benefit of using contrast MR Angiography (MRA) in the study of extracranial internal carotid artery stenosis as opposed to intraarterial digital subtraction arteriography (IADSA).

Materials and methods: A search for relevant articles from 1990 to 2000 using MEDLINE and EMBASE databases. Initial selection criteria: 1. articles which compare MRA and IADSA in the study of extracranial internal carotid artery stenosis; and 2. sample size of 10 or more subjects. Studies employing contrast MRA were subsequently selected. Contrast MRA diagnostic results were studied, as were those of non-contrast MRA (TOF) if included. ROC curves and 95% confidence intervals were calculated.

Results: In the studies, 324 patients and 648 extracranial internal carotid arteries were evaluated (12 articles). The diagnostic results in carotid artery stenosis discrimination using contrast MRA as opposed to IADSA were: sensitivity and specificity = 97.28% and 97.08%. With regard to contrast MRA vs. non-contrast MRA (TOF), significant differences favoring contrast MRA in both sensitivity and specificity were observed. ($p = 0.08$ and $p < 0.001$, respectively).

Conclusions: MRA techniques demonstrate very high diagnostic capabilities in the detection of carotid stenosis, with contrast MRA being more effective than non-contrast. MRA. In spite of not being superior to IADSA, given the morbimortality risk with which the latter is associated (0.7-1.2%), many authors defend contrast MRA (in association with Doppler echography) having become the method of choice for presurgical study of extracranial internal carotid artery stenosis

Rodríguez Pérez P, Martínez Cantarero J, Ruiz Díaz M, et al. Evaluación de la estenosis de la arteria carótida interna por angiografía RM con contraste: revisión sistemática de la bibliografía. Radiología 2004;46(1):xx-xx.

Correspondencia:

PILAR RODRÍGUEZ PÉREZ. Av. Picos de Europa, 5. Villanueva del Pardillo. 28229 Madrid. España.

Recibido: 13-I-2003.

Aceptado: 24-IX-2003.

La patología ateromatosa estenosante de la arteria carótida interna (ACI) es responsable de hasta el 25% de los accidentes cerebrovasculares¹. Los hallazgos de estudios de gran población¹, indican que la prevalencia de la estenosis de la ACI aumenta con la edad, es del 0,5% en la sexta década y aumenta a un 10% en mayores de 80 años. La gran mayoría de los casos son asintomáticos.

Tras varios estudios grandes y multicéntricos como el NAS-CET (North American Symptomatic Carotid Endarterectomy

Trial)^{2,3}, el ECST (European Carotid Surgery Trial)⁴ y el ACAS (Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study)⁵, se ha demostrado una correlación entre la gravedad de la estenosis de la ACI y el riesgo de infarto cerebral. El umbral de estenosis considerado como significativo es el 70%, puesto que dichas estenosis son hemodinámicamente significativas y el tratamiento quirúrgico de éstas disminuye el riesgo de infarto cerebral (reducción absoluta del riesgo de infarto cerebral del 17% a los ocho años en el estudio NASCET, del 11,6% a los tres años en el ECST y del 5,9% a los cinco años en el ACAS)^{4,6}. Por esto, es muy importante determinar el grado de estenosis previamente a considerar el tratamiento de elección.

La identificación de la patología carotídea en los estudios multicéntricos se ha realizado con la angiografía convencional (ASDIA); el beneficio de la cirugía está disminuido por el índice de complicaciones de la angiografía (morbimortalidad, 1,2% en el ACAS y 0,7% en el NASCET). Esto enfatiza la importancia de desarrollar técnicas no invasivas que la reemplacen.

Las pruebas de imagen que se deben utilizar en la valoración de la estenosis carotídea deben ser capaces de cuantificar con exactitud la estenosis, identificando las estenosis mayores del 70% (que son consideradas quirúrgicas) y distinguiendo entre estenosis severas (70-99%) y oclusiones (puesto que estas últimas no son quirúrgicas). Asimismo, es importante la detección de lesiones vasculares asociadas. Se debe considerar el coste de la técnica diagnóstica utilizada y el riesgo al que se somete al paciente.

Algunos autores abogan por la ecografía Doppler como técnica diagnóstica previa a la cirugía²²; sin embargo, presenta limitaciones en el caso de placas calcificadas, en identificar la casi oclusión de la ACI con flujo muy lento⁷ y además es operador

dependiente. Otra técnica utilizada para medir la estenosis de la ACI ha sido la angiografía por tomografía computarizada (angio-TC). A pesar de los buenos resultados de esta técnica en varios estudios⁸⁻¹⁰, los inconvenientes que tiene, además de la utilización de radiación ionizante, es la limitación de la medición de la estenosis carotídea con placas ateromatosas calcificadas⁸⁻¹¹. Aunque técnicas desarrolladas recientemente, como la denominada volumen Rendering podrían obviar este último problema¹². La técnica denominada multicorte, amplía las posibilidades diagnósticas de la TC helicoidal.

La angiografía con resonancia magnética (ARM) del territorio carotídeo, se considera una de las modalidades más importantes de los estudios no invasivos. Desde principios de los años noventa se comenzaron a publicar numerosos artículos sobre la evaluación de la estenosis de la ACI con la ARM¹³⁻¹⁶ con técnicas sin contraste o convencionales (técnica TOF —*time-of-flight*— y PC), y se compararon con la ASDIA. Sin embargo, el inconveniente de estas técnicas ARM, es la de sobreestimar o más raramente subestimar el grado de estenosis¹⁷⁻¹⁹. Para obviar tales inconvenientes se ha desarrollado la ARM con contraste (ARMC) (secuencia rápida eco de gradiente T1 asociada a la inyección de contraste paramagnético)²⁰. Con esta técnica se evitan los límites producidos por la saturación de los espines de flujo lento y/o espines turbulentos que se producen en la ARM convencional²¹. Así, en algunos estudios se ha encontrado una concordancia estricta entre la ASDIA y la ARMC en identificar y graduar la estenosis²¹. Además, se cree que los cambios morfológicos en la pared arterial pueden ser útiles en predecir el riesgo del infarto cerebral²²⁻²⁵. Estos cambios morfológicos pueden detectarse claramente en las imágenes de RM de alta resolución sin y con contraste^{7,26-29}.

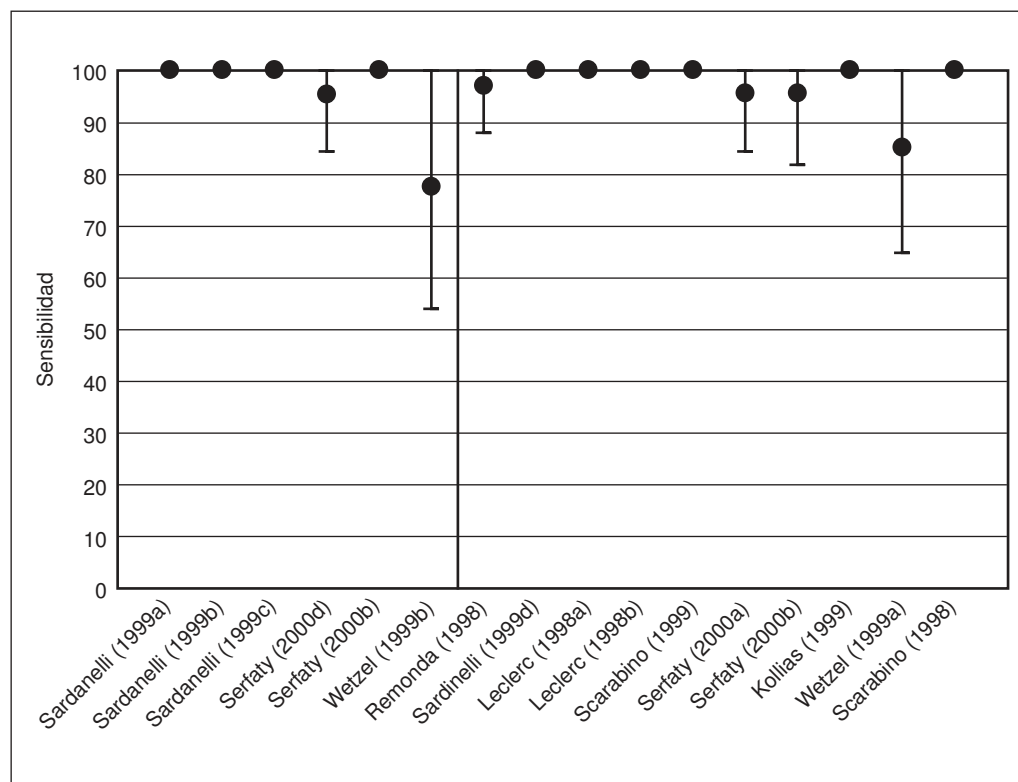


Fig. 1.—Intervalos de confianza del 95% para la sensibilidad calculada en cada estudio.

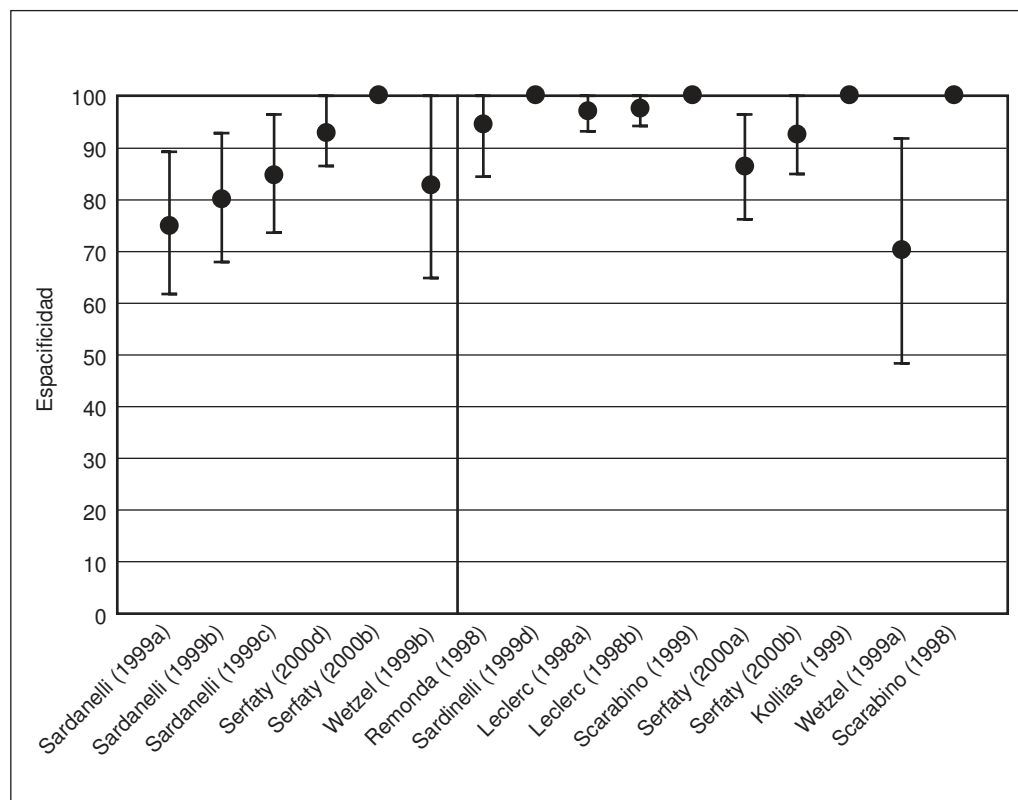


Fig. 2.—Intervalos de confianza del 95% para la especificidad calculada en cada estudio.

En este estudio hemos realizado una revisión sistemática de la bibliografía para valorar la utilización de la ARM con contraste en comparación con la ASDIA y ARM sin contraste, en el estudio de la estenosis de la ACI y determinar su valor como método diagnóstico.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se ha realizado una búsqueda sistemática de los artículos publicados durante los años 1990 y 2000 en las bases de datos electrónicas de MEDLINE y EMBASE para los artículos relevantes usando los términos: «Carotid-Arteries», «Carotid-Stenosis», «Magnetic-Resonance-Angiography», «Angiography-Digital-Subtraction», incluyendo todas las posibles combinaciones; se utilizaron los operadores «OR» y «AND». La búsqueda fue reducida posteriormente a los estudios humanos. El resultado de esta búsqueda fue de 296 artículos. De este total, se realizó una segunda selección de aquellos que valoraban la utilidad diagnóstica de la angio-RM utilizando como método diagnóstico de referencia la angiografía convencional (ASDIA) y estudios que valoren como mínimo a 10 sujetos con ambas técnicas, con el resultado de 56 artículos. Se realizó una última selección de los trabajos que utilizaban la resonancia con contraste como método diagnóstico, que es el objetivo de nuestro estudio, con el resultado de 12 artículos. Se extrajeron los datos de los estudios seleccionados de forma estandarizada. En algunos de éstos se comparaban distintas variantes de ARM entre sí y también respecto a la técnica ASDIA. Cada variante de ARM se clasificó bien como ARM con contraste o como ARM sin contraste (tabla 1); se realizó un estudio com-

parativo de las técnicas ARM con y sin contraste respecto a la ASDIA.

De los estudios seleccionados, se extrajeron los valores de sensibilidad y especificidad *informados* por los autores originales (tabla 2). Para asegurar que la información fuera comparable entre estudios, se reanalizaron los datos, considerando los casos de estenosis con diagnóstico correcto o incorrecto por el estudio de imagen no invasivo, se consideró como referencia el diagnóstico de la ASDIA. Se calcularon los valores de sensibilidad y especificidad, y se estableció como criterio para considerar casos verdaderos positivos a las estenosis de la ACI mayores de 70% diagnosticadas con ambas técnicas (tabla 3). A partir de los valores de sensibilidad y especificidad, se estimaron los intervalos de confianza (IC) del 95% (asumiendo la distribución muestral de una proporción).

La comparación entre las técnicas con contraste y sin contraste se realizó comparando, en primer lugar, los valores promedio de sensibilidad entre técnicas y, en segundo, lugar los valores promedio de especificidad entre ambas técnicas. Para ello, se ponderó cada valor de sensibilidad (o especificidad) por el número de mediciones realizadas en el estudio para obtener la proporción correspondiente (aciertos positivos o aciertos negativos) y se utilizó la prueba t para muestras independientes (con contraste frente sin contraste).

Por último, se compararon ambos tipos de técnicas elaborando las curvas COR (*receiver operating characteristic curve*) globales para la ARM sin y con contraste, siguiendo la metodología de Moses et al³⁰ (fig. 3). Para elaborar la curva COR de una técnica se considera que cada pareja de datos de sensibilidad (proporción de verdaderos positivos) y 1-especificidad (proporción

TABLA 1
CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE NEUROIMAGEN

	<i>Nombre del autor principal, año y conjunto de datos</i>	<i>Técnica de neuroimagen</i>	<i>ARM con contraste o sin contraste</i>
1	Sardanelli (1999a)	ARM 2D TOF	Sin contraste
2	Sardanelli (1999b)	ARM 3D TOF MULT	Sin contraste
3	Sardanelli (1999c)	ARM 3D TOF Tone	Sin contraste
4	Serfaty (2000c)	ARM TOF	Sin contraste
5	Serfaty (2000d)	ARM TOF + ECO Doppler	Sin contraste
6	Wetzel (1999b)	ARM MOTSA	Sin contraste
7	Remonda (1998)	ARM 3D con contraste	Con contraste
8	Sardanelli (1999d)	ARM GD-FISP	Con contraste
9	Leclerc (1998a)	ARM fast 3D con contraste	Con contraste
10	Leclerc (1998b)	ARM fast 3D con contraste	Con contraste
11	Scarabino (1999)	ARM 3D con contraste	Con contraste
12	Serfaty (2000a)	ARM 3D con contraste	Con contraste
13	Serfaty (2000b)	ARM con contraste + ECO Doppler	Con contraste
14	Kollias (1999)	ARM 3D con contraste	Con contraste
15	Wetzel (1999a)	ARM con contraste	Con contraste
16	Scarabino (1998)	ARM 3D con contraste	Con contraste
17	Krinsky (1998a)	ARM 3D nbh con contraste	Con contraste
18	Krinsky (1998b)	ARM 3D bh con contraste	Con contraste
Total N	18	18	18

TABLA 2

VALORES INFORMADOS DE SENSIBILIDAD, ESPECIFICIDAD Y 1-ESPECIFICIDAD (EN PORCENTAJES) POR TÉCNICA Y ESTUDIO

<i>Tipo de técnica</i>		<i>Nombre del autor principal</i>	<i>Sensibilidad informada</i>	<i>Especificidad informada</i>	<i>1-especificidad informada</i>
Sin contraste	1	Sardanelli (1999a)	100,00	75,00	25,00
	2	Sardanelli (1999b)	100,00	80,00	20,00
	3	Sardanelli (1999c)	100,00	85,00	15,00
	4	Serfaty (2000c)	94,74	93,18	6,82
	5	Serfaty (2000d)	100,00	100,00	0,00
	6	Wetzel (1999b)	76,92	82,35	17,65
<i>Total</i>	<i>n</i>	6	6	6	6
Con contraste	1	Remonda (1998)	96,00	94,74	5,26
	2	Sardanelli (1999d)	100,00	100,00	0,00
	3	Leclerc (1998a)	100,00	97,37	2,63
	4	Leclerc (1998b)	100,00	97,92	2,08
	5	Scarabino (1999)	100,00	100,00	0,00
	6	Serfaty (2000a)	94,74	86,36	13,64
	7	Serfaty (2000b)	100,00	100,00	0,00
	8	Kollias (1999)	100,00	100,00	0,00
	9	Wetzel (1999a)	84,62	70,59	29,41
	10	Scarabino (1998)	100,00	100,00	0,00
	11	Krinsky (1998a)	60,00	99,44	0,56
	12	Krinsky (1998b)	80,00	97,77	2,23
<i>Total</i>	<i>n</i>	12	12	12	12
Total	N	18	18	18	18

*Los conjuntos de datos extraídos del estudio de Krinsky no han sido incluidos en el análisis, al incluir el estudio de todo el arco aórtico y estar desglosado por observadores.

de falsos positivos), obtenidos de un estudio, constituyen un punto de la curva. Dichas proporciones son sometidas después a una transformación logística y trasladadas a un espacio en el que cada conjunto de datos queda representado por dos puntos. Posteriormente, se estima una ecuación de regresión lineal que se ajuste a esa nube de puntos. La ecuación de la recta de regresión es transformada de nuevo al espacio COR, obteniéndose la curva COR estimada resumen. La curva COR de cada técnica se resu-

me estimando el estadístico Q*, correspondiente al punto de máxima sensibilidad que dará lugar a la máxima especificidad sobre la curva.

RESULTADOS

En nuestra revisión se seleccionaron 12 artículos^{17,21,26,31-39} pa-

TABLA 3

VALORES CALCULADOS DE SENSIBILIDAD, ESPECIFICIDAD Y 1-ESPECIFICIDAD (EN PORCENTAJES) POR TÉCNICA Y ESTUDIO

Tipo de técnica		Nombre del autor principal	Sensibilidad calculada	Especificidad calculada	1-especificidad calculada
Sin contraste	1	Sardanelli (1999a)	100,00	75,00	25,00
	2	Sardanelli (1999b)	100,00	80,00	20,00
	3	Sardanelli (1999c)	100,00	85,00	15,00
	4	Serfaty (2000c)	88,00	93,00	7,00
	5	Serfaty (2000d)	100,00	100,00	0,00
	6	Wetzel (1999b)	—	—	—
Total	n	6	5	5	5
Con contraste	1	Remonda (1998)	94,00	96,00	4,00
	2	Sardanelli (1999d)	100,00	100,00	0,00
	3	Leclerc (1998a)	100,00	98,00	2,00
	4	Leclerc (1998b)	100,00	100,00	0,00
	5	Scarabino (1999)	100,00	100,00	0,00
	6	Serfaty (2000a)	94,00	85,00	15,00
	7	Serfaty (2000b)	100,00	100,00	0,00
	8	Kollias (1999)	—	—	—
	9	Wetzel (1999a)	—	—	—
	10	Scarabino (1998)	100,00	100,00	0,00
	11	Krinsky (1998a)*	38,00	94,00	6,00
	12	Krinsky (1998b)*	28,00	95,00	5,00
Total	n	12	10	10	10
Total	N	18	15	15	15

Nótese que los valores *informados* por los autores (tabla 2) y los *calculados* en este trabajo pueden diferir, debido a que algunos autores han excluido de sus cálculos de sensibilidad los pacientes con un 100% de estenosis de ACI.

ra el estudio estadístico, de los cuales sólo se pudieron extraer los datos de ocho trabajos^{17,21,32,33,35-37,39} (tabla 2); finalmente se valoraron 324 pacientes y 648 carótidas internas. El intervalo entre ambas técnicas ARM y ASDIA, fue variable en los artículos revisados, con un mínimo de menos de 12 h³², hasta un máximo de dos meses³¹. En la totalidad de los trabajos, se utilizaron los criterios del estudio NASCET para graduar la estenosis vascular. En los estudios en donde se especificó el sexo de la población^{20,21,31,32,35,36,39}, hubo un predominio de varones (porcentaje medio de 63%). En casi la totalidad de los trabajos, excepto en uno³⁷, donde no se especificaron los antecedentes clínicos, la mayoría de la población estudiada presentaba sospecha de patología cerebrovascular aterosclerótica^{20,21,26,31-33,35,36,38,39}. En la mayor parte de los casos, los pacientes presentaban antecedentes de AIT (accidente isquémico transitorio), amaurosis *fugax* y accidente cerebrovascular como episodios previos. La edad de la población fue de 22 a 93 años con una edad media aproximada de 63 años.

Todos los trabajos en donde se realizó un estudio comparativo entre técnicas de ARM^{31,34-38}, se compararon técnicas TOF (2D, 3D y MOTSA) con técnicas con contraste. En todos los estudios se obtuvieron mejores resultados de sensibilidad y especificidad así como menos artefactos de sobreestimación con la ARMC que con la ARM TOF excepto en un estudio³¹. Esto fue probablemente debido a que en este último estudio no se utilizó una técnica ARMC adecuada (sin apnea mantenida o *non breath hold*) y sin medición del tiempo de inyección de contraste. Hemos observado que en los artículos de ARMC más recientes^{21,26,33-37}, las técnicas de adquisición de datos se realizan con adecuación del tiempo de inyección de contraste.

En las figuras 1 y 2 se muestra la sensibilidad y especificidad calculadas y su IC del 95% para cada uno de los conjuntos de da-

tos extraídos que han sido incluidos en el análisis estadístico (los estudios se encuentran ordenados siguiendo el orden de las tablas 2 y 3). Los valores que hemos obtenido de los estadísticos descriptivos de resumen de la sensibilidad y especificidad por técnica ARM, ponderados por el número de sujetos de cada estudio quedan reflejados en la tabla 4: los valores promedio y ponderados para la sensibilidad y especificidad de la ARM sin contraste han sido 94,99% y 84,53%, y los valores ponderados de la sensibilidad y especificidad ponderada de la ARM con contraste han sido 97,28% y 97,08%. Estos valores indican la alta capacidad diagnóstica de ambas técnicas, siendo superior la ARM con contraste.

En el grupo de ARM con contraste, el IC para la sensibilidad promedio se encuentra comprendido entre los límites [96,56-98,00%] y la especificidad promedio entre los límites [96,13-98,03%]. En el grupo sin contraste, el IC para la sensibilidad promedio está comprendido entre los límites [93,18-96,82%]. Sin embargo, el IC para la especificidad promedio en este grupo se amplía para comprender los valores [83,33-85,74%].

Comparando los valores promedio ponderados de sensibilidad entre ambas técnicas se obtuvo un promedio significativamente más alto ($p = 0,08$) para la técnica con contraste (estadístico contraste = 2,3; error típico = 1,0; grados de libertad = 104). De manera similar también se apreciaron diferencias significativas en la especificidad ($p < 0,001$) a favor de la ARM con contraste (estadístico contraste = 15,6; error típico = 0,78; grados de libertad = 367).

La ARMC detectó correctamente todos los casos de oclusión en todos los pacientes de los estudios revisados excepto en un caso³⁵.

La figura 3 muestra las curvas COR de resumen estimadas para cada tipo de técnica. El estadístico Q* para la técnica con contraste es 0,967, frente a un área de 0,955 para la curva de la técnica sin contraste. Debe señalarse que esta metodología exige la

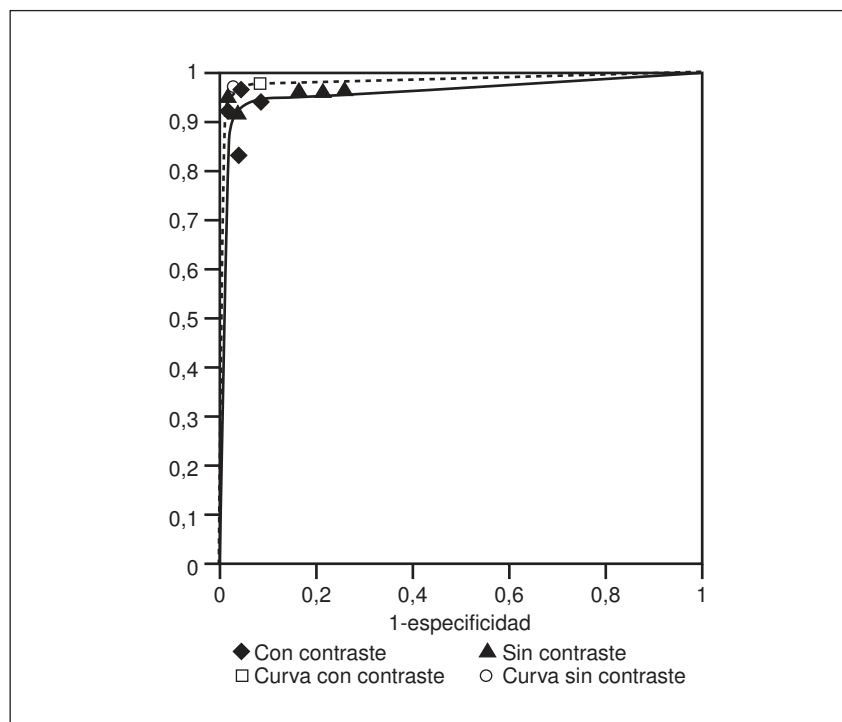


Fig. 3.—Valores transformados de 1-especificidad y sensibilidad por tipo de técnica en el espacio de la curva COR, para cada conjunto de datos, y curva COR pronosticada para cada técnica.

eliminación de los valores extremos para la interpolación de la curva resumen, lo que ha llevado a no considerar los conjuntos de datos procedentes del trabajo de Wetzel. De no proceder de esta forma, se genera un artefacto en la estimación que da lugar a curvas anómalas.

DISCUSIÓN

La ASDIA es considerada tradicionalmente la técnica diagnóstica de referencia en la enfermedad estenosante de la ACI, y es la técnica utilizada en los estudios multicéntricos sobre estenosis carotídea (NASCET, ECST, etc.). Sin embargo, el riesgo de complicaciones asociadas a la ASDIA (accidentes tromboembólicos, nefrotoxicidad, etc.), que se cifran del 0,7-1,6%⁵, ha llevado a la búsqueda de técnicas diagnósticas no invasivas

alternativas (angio-RM, angio-TC y ecografía Doppler). Dichas técnicas no invasivas para ser consideradas como técnicas de elección deberían tener al menos una rentabilidad diagnóstica similar a la ASDIA, técnica que también tiene errores⁴⁰. Debido a que la reproducibilidad de la ASDIA no es mayor que el 94%⁴⁰⁻⁴², las sensibilidades y especificidades obtenidas de las técnicas no invasivas en los estudios comparativos podrían ser mejores. Un estudio ideal sería correlacionar los resultados con los resultados anatomopatológicos, algo no siempre posible. De hecho, en un estudio comparativo entre la ASDIA, la RM y la ecografía, utilizando como referencia los resultados quirúrgicos se encontró mejor correlación de los resultados de la RM y la ecografía que de la ASDIA⁴³. Esta discrepancia se podría atribuir al hecho de que el diámetro más pequeño no suele apreciarse en la ASDIA cuando la estenosis tiene forma elíptica o compleja.

TABLA 4

ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS DE RESUMEN DE LA SENSIBILIDAD Y ESPECIFICIDAD POR TÉCNICA, PONDERADOS POR EL NÚMERO DE MEDICIONES EN CADA CONJUNTO DE DATOS

<i>ARM con contraste o sin contraste</i>				
<i>Sin contraste</i>			<i>Con contraste</i>	
	<i>Sensibilidad calculada</i>	<i>Especificidad calculada</i>	<i>Sensibilidad calculada</i>	<i>Especificidad calculada</i>
Media	94,99	84,53	97,28	97,08
Desviación típica	8,31	8,23	4,47	7,50
Mínimo	76,92	75,00	84,62	70,59
Máximo	100,00	97,73	100,00	100,00
Número de mediciones	80	181	147	240

Las técnicas de ARM sin contraste (TOF) desarrolladas por primera vez por Sélér en 1989, se han comparado con la ASDIA en el diagnóstico de la estenosis carotídea. Sin embargo, las desventajas de estas secuencias son la pérdida de señal con el flujo lento, en relación con el efecto de saturación y el vacío de señal producido por el flujo turbulento en el lugar de la estenosis en relación con el desfase de espín intravóxel, produciéndose sobreestimaciones o subestimaciones de la estenosis. Además, las imágenes están frecuentemente degradadas por artefactos de movimiento debido al largo tiempo requerido para la adquisición de datos. El desarrollo de nuevas secuencias con la introducción de contraste ha llevado a una mejoría en la exactitud diagnóstica de la ARM, evitando tales inconvenientes. El grupo de Prince fue el primero en evidenciar el valor de utilizar contraste (gadolinio) en la angio-RM para mejorar el contraste vascular⁴⁴. La ARM con contraste es una técnica que se está imponiendo cada vez más sobre la técnica ARM TOF. En los estudios de ARMC es recomendable utilizar la secuencia *breath hold* (de apnea mantenida). Además, la utilización de contraste requiere una metodología adecuada de adquisición de datos durante el mayor realce arterial para evitar el solapamiento venoso. La metodología empleada en los trabajos es variada: el test del bolo o embolada programada^{21,36,37}, la adquisición de datos tras la detección automática de contraste (técnica denominada *triggering*)²⁶ y la técnica de sustracción digital^{33,34}. Otro punto importante en la metodología de ARM con contraste es la adquisición de datos en el espacio K, existiendo diferentes técnicas y se deben llenar principalmente durante la fase arterial aquellas partes del espacio K que determinan el contraste de la imagen. En varios trabajos, se ha demostrado la superioridad de la RM con contraste frente a las otras secuencias de RM en cuanto a mejor calidad de imagen con menos artefactos, mejor evaluación de estenosis arterial carotídea, mejor señal vascular arterial, menor solapamiento venoso y mejor visualización de los vasos desde el arco aórtico hasta la base craneal, además de reducir el tiempo de exploración, lo que además de disminuir los artefactos de movimiento, tiene mejor aceptación por parte del paciente⁴⁵⁻⁴⁷. En el presente estudio, la ARMC ha demostrado presentar mejor capacidad diagnóstica que la ARM sin contraste en la valoración del grado de estenosis, aunque no totalmente equiparable a la ASDIA.

En la mayoría de los estudios revisados, no se informa de las características de la placa ateromatosa que produce la estenosis arterial, información potencialmente importante que se obtiene con la RM y no con la ASDIA. Así las placas ulceradas o «blandas» (*soft*) pueden ser más proclives a fragmentarse y embolizar, causando un episodio de isquemia o infarto cerebral⁴⁹.

Finalmente, continúa el debate sobre el resultado coste-beneficio obtenido con la cirugía en pacientes con estenosis carotídea asintomática que, de acuerdo con algunos autores, no está demostrada⁵⁰. Actualmente, la necesidad de realizar cribaje (*screening*) de estenosis carotídea en la población es controvertida. No está demostrado su beneficio en poblaciones asintomáticas con baja prevalencia de enfermedad (< 1%)⁵¹. En grupos de alto riesgo y alta prevalencia (> 20%), sí podría presentar beneficios⁵¹.

CONCLUSIONES

La ARMC y la ARM TOF se pueden considerar técnicas con muy alta capacidad de detección de estenosis graves de la ACI; sin embargo, no se ha demostrado que sean mejores que la técnica

de referencia (ASDIA). La ARMC es superior a la ARM TOF tanto en la capacidad de discriminar sujetos con menos de un 70% de estenosis ($p < 0,001$), como en más de un 70% de estenosis ($p = 0,04$)³⁴⁻³⁸. Por otra parte, la sensibilidad y especificidad de la ARMC son mayores cuando se combina con la ecografía Doppler³³.

Con la ARMC es posible detectar los vasos «seudoocluidos» (con estenosis muy severa), diferenciándolos de los ocluidos^{32,39}. Esto evita el consiguiente error de clasificar lesiones como no quirúrgicas en vez de como quirúrgicas, problema que puede ocurrir con otras técnicas diagnósticas no invasivas como la ecografía Doppler y la ARM TOF³².

Hay muchos autores que abogan porque la ARM se convierta en el método de elección del estudio prequirúrgico (preendarterectomía) de la estenosis carotídea^{52,53}. Un avance importante que constituye la ARMC frente a la ASDIA, es que además de tener menos riesgos asociados permite valorar los cambios morfológicos de la pared arterial²⁶, información que ayuda a predecir el riesgo de infarto o isquemia cerebral^{23-25,48,49}. La ARM podría utilizarse como método diagnóstico en el seguimiento posquirúrgico tras la realización de una endarterectomía de estenosis de la ACI³⁷, de esta forma se evita el riesgo que conlleva la realización de la ASDIA.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos su colaboración a los Dres. Vicente Martínez de Vega (RM. Clínica Ntra. Señora del Rosario. Madrid), Ana Ramos, Jorge Campollo y José María Millán (Sección de Neurorradiología. Hospital 12 de Octubre. Madrid.)

BIBLIOGRAFÍA

1. Phatouros CC, Higashida RT, Malek AM, Meyers PM, Lempert TE, Dowd CF, et al. Carotid artery stent placement for atherosclerotic disease: rationale, technique, and current status. *Radiology* 2000; 217:26-41.
2. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial: methods, patient, characteristics, and progress. *Stroke* 1991;22:711-20.
3. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. Beneficial effect of carotid endarterectomy in symptomatic patients with high grade carotid stenosis. *N Eng J Med* 1991;325:445-53.
4. European Carotid Surgery Trialists Collaborative Group. MRC European Carotid Surgery Trial: interim results for symptomatic patients with severe (70-90%) or with mild (0-29%) carotid stenosis. *Lancet* 1991;337:1235-43.
5. Executive Committee for the Asymptomatic Carotid Atherosclerosis Study. Endarterectomy for asymptomatic carotid artery stenosis. *JAMA* 1995;273:1412-28.
6. Barnett HJ, Taylor DW, Eliasziw M, Fox AJ, Ferguson GG, Haynes RB, et al. Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis: North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. *N Engl J Med* 1998;339:1415-25.
7. Wasserman BA, Haacke EM, Li D. Carotid plaque formation and its evaluation with angiography, ultrasound and MR angiography. *JMRI* 1994;4:515-27.
8. Schwartz RB, Jones KM, Chernoff DM, Mukherji SK, Khorasani R, Tice HM, et al. Common carotid artery bifurcation: evaluation with spiral CT, work in progress. *Radiology* 1992;185:513-9.

9. Leclerc X, Godefroy O, Pruvo JP, Leys D. Computed tomographic angiography for the evaluation of carotid artery stenosis. *Stroke* 1995;26:1577-81.
10. Marks MP, Napel S, Jordan JE, Enzmann DR. Diagnosis of carotid artery disease: preliminary experience with maximum intensity projection spiral CT angiography. *AJR Am J Roentgenol* 1993; 160:1267-71.
11. Dillon EH, van Leeuwen MS, Fernández MA, Eikelboom BC, Mali WP. CT angiography: application to the evaluation of carotid artery stenosis. *Radiology* 1993;189:211-9.
12. Leclerc X, Godefroy O, Lucas C, Benhaim JF, Saint Michel T, Leys D, et al. Internal carotid arterial stenosis: ct angiography with volume rendering. *Radiology* 1999;210:673-82.
13. Naidich TP, Righi AM. Neurovascular imaging. *Radiol Clin NA* 1995;33:115-66.
14. Ackermann RH, Candia MR. Assessment of carotid artery stenosis by MR angiography. *Seminars in ultrasound, CT and MRI* 1992; 13:146-255.
15. Laster RE, Acker JD, Halford HH 3rd, Nauert TC. Assessment of MRA vs arteriography for evaluation of cervical carotid bifurcation disease. *AJNR* 1993;14: 681-8.
16. Pan XM, Anderson CM, Reilly LM, Saloner D, Lee RE, Perez S, et al. Magnetic resonance angiography of the carotid artery combining two and three-dimensional acquisitions. *J Vasc Surg.* 1992 Oct; 16:609-15;dimension 615-8.
17. Scarabino T, Carriero A, Magarelli N, Florio F, Giannatempo GM, Bonomo L, et al. MR angiography in carotid stenosis: a comparison of three techniques. *Europ J Radiol* 1998;28:117-25.
18. Bowen BC, Quencer RM, Margosian P, Pattany PM. MR angiography of the occlusion disease of the arteries in the head and neck: current concepts. *AJN* 1994;162:9-18.
19. Patel MR, Klufas RA, Kim D, Edelman RR, Kent KC. MR angiography of the carotid bifurcation: artifact and limitations. *AJR Am J Roentgenol* 1994;162:1431-7.
20. Scarabino T, Carriero A, Balzano S, Sciannelli V, Bonomo L, Salvolini U. Carotid bifurcation stenosis-occlusion: contrast enhanced MRA versus DSA. *Radiol Med* 1998;95:170-3.
21. Scarabino T, Carriero A, Giannatempo GM, Marano R, de Matthaeis P, Bonomo L, et al. Contrast-enhanced MR angiography (CE MRA) in the Study of the Carotid Stenosis: comparison with Digital Subtraction Angiography (DSA). *J Neuroradiol* 1999;26:87-91.
22. Fisher M, Blumenfeld AM, Smith TW. The importance of carotid artery plaque disruption and hemorrhage. *Arch Neurol* 1987;44: 1086-9.
23. Sitzer M, Muller W, Siebler M, Hort W, Kniemeyer HW, Jancke L, et al. Plaque ulceration and lumen thrombus are the main sources of cerebral microemboli in high-grade internal carotid artery stenosis. *Stroke* 1995;26:1231-3.
24. Eliasziw M, Streifler JY, Fox AJ, Hachinski VC, Ferguson GG, Barnett HJ. Significance of plaque ulceration in symptomatic patients with high-grade carotid stenosis. *Stroke* 1994;25:304-8.
25. Streifler JY, Eliasziw M, Fox AJ, Benavente OR, Hachinski VC, Ferguson GG, et al. Angiographic detection of carotid plaque ulceration: comparison with surgical observations in a multicenter study—North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial. *Stroke* 1994;25:1130-2.
26. Aoki S, Nakajima H, Kumagai H, Araki T. Dynamic Contrast-enhanced MR Angiography and MR Imaging of the Carotid Artery: High-Resolution Sequences in Different Acquisition Planes. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000;21:381-5.
27. Toussaint JF, la Muraglia GM, Southern JF, Fuster V, Kantor HL. Magnetic resonance images: lipid, fibrous, calcified, hemorrhagic, and thrombotic components of human atherosclerosis in vivo. *Circulation* 1996;94:932-8.
28. Yuan C, Tsuruda JS, Beach KN, Hayes CE, Ferguson MS, Alpers CE, et al. Techniques for high-resolution MR imaging of atherosclerotic plaque. *J Magn Reson Imaging* 1994;4:43-9.
29. Lin W, Abendschein DR, Haacke EM. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of carotid arterial wall in pigs *J Magn Reson Imaging* 1997;7:183-90.
30. Moses LE, Shapiro D, Littenberg B. Combining independent studies of a diagnostic test into a summary ROC curve: data-analytic approaches and some additional considerations. *Stat Med* 1993;12:1293-316.
31. Slosman F, Stolpen AH, Lexa FJ, Schnall MD, Langlotz CP, Carpenter JP, et al. Extracranial atherosclerotic carotid artery disease: evaluation of non-breath-hold three-dimensional gadolinium-enhanced mr angiography. *AJR Am J Roentgenol* 1998;170:489-95.
32. 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;209:95-102.
33. Serfaty JM, Chirossel P, Chevallier JM, Ecochard R, Froment JC, Douek PC. Accuracy of three-dimensional gadolinium-enhanced MR angiography in the assessment of extracranial carotid artery disease. *AJR Am J Roentgenol* 2000;175:455-63.
34. Willing DS, Turski PA, Frayne R, Graves VB, Korosec FR, Swan JS, et al. Contrast-enhanced 3D MR DSA of the carotid artery bifurcation: preliminary study of comparison with unenhanced 2D and 3D time-of-flight MR angiography. *Radiology* 1998;208:447-51.
35. Kollias SS, Binkert CA, Ruesch S, Valavanis A. Contrast-enhanced MR angiography of the supra-aortic vessels in 24 seconds: a feasibility study. *Diagnostic Neuroradiology* 1999;41:391-400.
36. Sardanelli F, Zandrino F, Parodi RC, de Caro G. MR angiography of internal carotid arteries: breath-hold Gd-enhanced 3D fast imaging with steady-state precession versus unenhanced 2D and 3D time-of-flight techniques. *Journal of Computer Assisted Tomography* 1999;23:208-15.
37. Wetzel S, Boos M, Bongartz G, Radü EW. Selection of patients for carotid thromboendarterectomy: the role of magnetic resonance angiography. *Journal of Computer Assisted Tomography* 1999;23:91-94.
38. Krinsky G, Maya M, Rofsky N, Lebowitz J, Nelson PK, Ambrosino M, et al. Gadolinium-enhanced 3D MRA of the aortic arch vessels in the detection of atherosclerotic cerebrovascular occlusive disease. *Journal of Computer Assisted Tomography* 1998;2:167-78.
39. Leclerc X, Martinat P, Godefroy O, Lucas C, Giboreau F, Ares GS, et al. Contrast-Enhanced Three-Dimensional Fast Imaging with Steady-State Precession (FISP) MR angiography of supracarotid vessels: preliminary results. *Am J Neuroradiol* 1998;19:1405-14.
40. Young GR, Sandercock PA, Slattery J, Humphrey PR, Smith ET, Brock L. Observer variation in the interpretation of intra-arterial angiograms and the risk of inappropriate decisions about carotid endarterectomy. *J Neurol Neurosurgery Psychiatry* 1996;60:152-7.
41. Gagne PJ, Matchett J, MacFarland D, Hauer-Jensen M, Barone GW, Edit JF, et al. Can the NASCET technique for measuring carotid stenosis be reliably applied outside the trial? *J Vasc Surg* 1996;24:449-55.
42. Eliasziw M, Fox AJ, Sharpe BL, Barnett HJ. Carotid artery stenosis: external validity of the North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial measurement method. *Radiology* 1997;204:229-33.
43. Pan XM, Saloner D, Reilly LM, Bowersox JC, Murria SP, Anderson CM, et al. Assessment of carotid artery stenosis by ultrasonography, conventional angiography, and magnetic resonance angiography: correlation with ex vivo measurement of plaque stenosis. *J Vasc Surg* 1995;21:82-8.
44. Prince MR. Gadolinium-enhanced MR aortography. *Radiology* 1994;191:155-64.
45. De Marco JK, Schonfeld S, Keller I, Bernstein MA. Contrast-enhanced carotid mr angiography with commercially available triggering mechanisms and elliptic centric phase encoding. *AJR Am J Roentgenol* 2001;176:221-7.
46. Huston J III, Fain SB, Riederer SJ, Wilman AH, Bernstein MA, Busse RF. Carotid arteries: maximizing arterial to venous contrast in

- fluoroscopically triggered contrast-enhanced mr angiography with elliptic centric view ordering. *Radiology* 1999;211:265-73.
47. Cloft HJ, Murphy KJ, Prince MR, Brunberg JA. 3D gadolinium-enhanced mr angiography of the carotid arteries. *Magnetic Resonance Imaging* 1996;14:593-600.
48. Riles TS, Eidelman EM, Litt AW, Pinto RS, Oldford F, Schwartzberg GWST. Comparison of magnetic resonance angiography, conventional angiography, and duplex scanning. *Stroke* 1992;23:341-6.
49. Geroulakos G, Domjan J, Nicolaides A, Stevens J, Labropoulos N, Ramaswami G, et al. Ultrasonic carotid artery plaque structure and the risk of cerebral infarction on computed tomography. *J Vasc Surg* 1994;20:263-6.
50. Warlow C. Endarterectomy for asymptomatic carotid stenosis? *Lancet* 1995;345:1254-5.
51. Whitty CJM, Sudlow CLM, Warlow CP. Investigating individual subjects and screening populations for asymptomatic carotid stenosis can be harmful. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1998;64:619-23.

52. Huston J III. MRA of carotids evolves into definitive method. Diagnostic Imaging Europe 2001;17:41-5.
53. Rofsky NM, Adelman MA. Gadolinium-enhanced MR angiography of the carotid arteries: a small step, a giant leap? Radiology 1998; 209:31-4.