

ACTUALIZACIÓN

Seguimiento mediante técnicas de neuroimagen de los aneurismas cerebrales tratados por vía endovascular

F. Delgado^a, A. Saiz^b, A. Hilario^c, E. Murias^b, L. San Román Manzanera^d, A. Lagares Gomez-Abascal^e, A. Gabarrós^f y A. González García^{g,*}, en representación del Grupo de Enfermedades Cerebrovasculares de la Sociedad Española de Neuroradiología (SENR)[◊]

^a Sección de Neuroradiología, Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Reina Sofía, Córdoba, España

^b Sección de Neuroradiología, Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Universitario Central de Asturias, Oviedo, España

^c Sección de Neuroradiología, Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital 12 de Octubre, Madrid, España

^d Sección de Neuroradiología, Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Clinic, Barcelona, España

^e Servicio de Neurocirugía, Hospital 12 de Octubre, Madrid, España

^f Servicio Neurocirugía, Hospital de Bellvitge, Barcelona, España

^g Sección de Neuroradiología, Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Universitario Virgen del Rocío, Sevilla, España

Recibido el 12 de marzo de 2013; aceptado el 25 de junio de 2013

Disponible en Internet el 19 de octubre de 2013

PALABRAS CLAVE

Aneurisma cerebral;
Espirales;
Procedimiento
endovascular y
seguimiento

Resumen No existen recomendaciones específicas en las guías de práctica clínica sobre el tiempo, prueba de imagen ni intervalo para controlar la evolución de los aneurismas intracraneales tratados por vía endovascular. Hemos revisado la bibliografía existente en las principales bases de datos médicas usando como palabras clave: aneurisma cerebral, espirales, procedimiento endovascular y seguimiento. Nuestro objetivo ha sido, dentro del Grupo de Enfermedades Cerebrovasculares de la Sociedad Española de Neuroradiología, proponer unas recomendaciones y un protocolo orientativo, basados en la evidencia científica, para monitorizar mediante neuroimagen los aneurismas intracraneales tratados por técnicas endovasculares, incluyendo las técnicas de neuroimagen más adecuadas, el intervalo, el tiempo de seguimiento y la mejor forma de definir los hallazgos radiológicos, con el objetivo de mejorar los resultados clínicos y optimizar y racionalizar los recursos disponibles.

© 2013 SERAM. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

KEYWORDS

Cerebral aneurysm;
Coils;
Endovascular
procedure and
follow-up

Neuroimaging follow-up of cerebral aneurysms treated with endovascular techniques

Abstract There are no specific recommendations in clinical guidelines about the best time, imaging tests, or intervals for following up patients with intracranial aneurysms treated with endovascular techniques. We reviewed the literature, using the following keywords to search in the main medical databases: cerebral aneurysm, coils, endovascular procedure, and follow-up.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: gjgjandor@gmail.com (A. González García).

◊ Los componentes del grupo están relacionados en el [Anexo 1](#).

Within the Cerebrovascular Disease Group of the Spanish Society of Neuroradiology, we aimed to propose recommendations and an orientative protocol based on the scientific evidence for using neuroimaging to monitor intracranial aneurysms that have been treated with endovascular techniques. We aimed to specify the most appropriate neuroimaging techniques, the interval, the time of follow-up, and the best approach to defining the imaging findings, with the ultimate goal of improving clinical outcomes while optimizing and rationalizing the use of available resources.

© 2013 SERAM. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

La hemorragia subaracnoidea (HSA) está considerada como una de las enfermedades cerebrovasculares agudas más graves y es origen del 5% de todos los ictus hospitalarios. Su causa más importante es la rotura de un aneurisma intracraneal.

La prevalencia de los aneurismas intracraneales en la población es de un 0,4% en estudios retrospectivos de autopsias, de un 3,6% en los prospectivos, de un 3,7% en estudios angiográficos retrospectivos y de un 6% cuando son prospectivos¹. La incidencia de HSA oscila entre 2 y 22,5 casos por cada 100.000 habitantes y año², con grandes variaciones entre regiones. Es más frecuente en mujeres y se relaciona con el consumo de tabaco, alcohol y cocaína, síndromes familiares y enfermedades genéticas predisponentes (Ehlers-Danlos y enfermedad poliquística hepatorrenal autosómica dominante)³⁻⁵. Se considera que los enfermos con aneurismas diagnosticados tienen un riesgo anual de sangrado del 0,4% por año⁶.

La tasa de mortalidad poblacional es del 50% y la tasa de mortalidad hospitalaria depende directamente del estado clínico al ingreso hospitalario, de la escala de Fisher, del tamaño del aneurisma y del tipo de tratamiento utilizado⁷. La tasa de mortalidad de un aneurisma cerebral roto, sin tratamiento, es del 60%, y una tasa de dependencia del 15-20%. El principal factor pronóstico es la tasa de resangrado, que es aproximadamente de un 20-30% en el primer mes y un 3% anual posteriormente⁸.

El tratamiento quirúrgico de los aneurismas cerebrales rotos, iniciado en los años 60, mejoró significativamente el pronóstico de estos pacientes al reducir la tasa de mortalidad hospitalaria al 8-20% y la tasa de pacientes dependientes al 20-37%⁹. Las técnicas endovasculares con espirales de platino y las técnicas asistidas han mejorado aún más los excelentes resultados del tratamiento quirúrgico, dejando la mortalidad en el 7-15% y la tasa de pacientes dependientes en el 20%.

En el año 2002 se publicó el estudio *International Subarachnoid Aneurysm Trial Collaborative Group* (ISAT)¹⁰, estudio multicéntrico y aleatorizado de 2.143 pacientes en 43 centros, que comparaba el tratamiento quirúrgico con el tratamiento endovascular. Se aleatorizaron los aneurismas rotos tratables por vía endovascular y quirúrgica, quedando infrarrepresentados los aneurismas que eran más accesibles para cada uno de los brazos de tratamiento. Este estudio demostró que los resultados del tratamiento

endovascular, en términos de supervivencia al año libre de incapacidades, eran significativamente mejores que los del tratamiento quirúrgico. La reducción del riesgo relativo y absoluto al año en dependencia o muerte del grupo endovascular frente al quirúrgico fue del 22,6 y 6,9%, respectivamente. A pesar de ello, la tasa de resangrado del tratamiento quirúrgico es menor y el porcentaje de aneurismas cerrados completamente mayor, aunque el análisis continuado del estudio ISAT a lo largo de los años ha demostrado que, a pesar de estos inconvenientes, la protección en términos de supervivencia del tratamiento endovascular se mantiene en el tiempo^{11,12}. Muchos estudios prospectivos y retrospectivos han confirmado estos hallazgos¹³⁻²³.

La bibliografía demuestra que los aneurismas intracraneales pueden reabrirse y crecer tras ser tratados²⁴. Este crecimiento o recurrencia de los aneurismas se produce bien por compactación de la masa de espirales, crecimiento del resto de cuello, bien por expansión del fondo del aneurisma²⁵. Existen además 2 tipos de recurrencia: una precoz, en los primeros 6 meses postratamiento, y una tardía, que puede corresponder a un recrecimiento del aneurisma tratado o a un nuevo aneurisma en el mismo sitio²⁶.

No existen unas recomendaciones específicas en las guías de práctica clínica sobre el tiempo, prueba de imagen ni intervalo utilizado para seguir los aneurismas tratados por vía endovascular²⁷. En lo único que se coincide es en que se deben seguir, y hacerlo a largo plazo. En la guía de práctica clínica publicada por la *American Heart Association* en 2012 se establece una recomendación clase I nivel de evidencia B para seguir los aneurismas tratados por vía endovascular o quirúrgica. La recomendación, muy genérica, establece que los aneurismas tratados deben seguirse con una técnica de imagen, y el tiempo y la modalidad de imagen se deben individualizar²⁸.

El objetivo de este trabajo es establecer unas recomendaciones y un protocolo orientativo, basados en la evidencia científica, para seguir mediante neuroimagen los aneurismas intracraneales tratados con técnicas endovasculares incluyendo las técnicas de neuroimagen más adecuadas, el intervalo, el tiempo de seguimiento y la forma más adecuada de definir los hallazgos radiológicos, con la intención de mejorar los resultados clínicos y optimizar y racionalizar los recursos disponibles. Para ello, buscamos en las principales revistas del área disponibles en los últimos 10 años recogidas en las principales bases de datos médicas (PubMed, EMB reviews, Cochrane Database of Systematic Reviews) usando las palabras clave: aneurisma cerebral, espirales, procedimiento endovascular y seguimiento. Realizamos una revisión

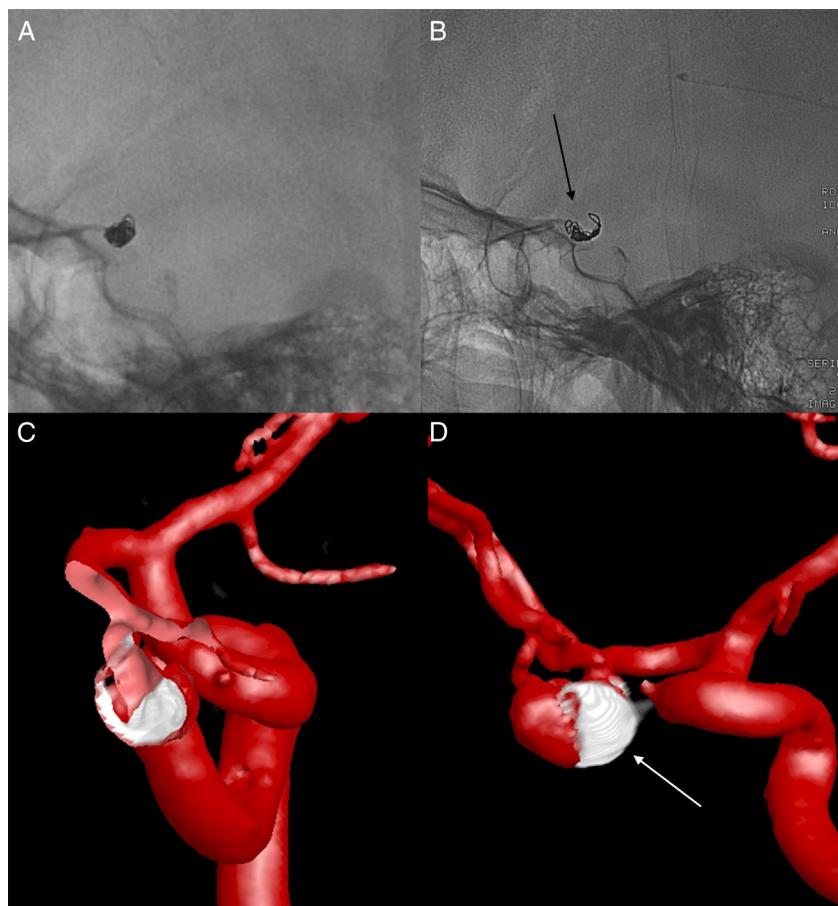


Figura 1 Mujer de 45 años con hemorragia subaracnoidea por rotura de un aneurisma de la arteria comunicante anterior que se trató con espirales por vía endovascular (A). A los 2 meses, sufrió un nuevo episodio de hemorragia subaracnoidea, con cambio morfológico de las espirales y reimpactación (B, flecha). Angiografía con sustracción digital 3D con las espirales representadas en blanco (C-D, flecha).

exhaustiva de ensayos clínicos, metaanálisis y revisiones sistemáticas publicados en los últimos 10 años^{10-26,29-62}. Los resultados y las recomendaciones están dirigidos a la práctica asistencial y no a estudios de investigación o de monitorización de ensayos clínicos. Las variables que se han recogido han sido: autor, revista, año de publicación, número de pacientes tratados, número de aneurismas tratados, técnicas diagnósticas utilizadas (angioTC, angioRM 3D TOF, angioRM 3D con contraste intravenoso [angioRM CC], angiografía con sustracción digital [ASD] y angiografía rotacional 3D [A3D]) y tiempos de utilización, grado de cierre según la clasificación de Raymond y tipo de tratamiento (espirales, técnica asistida sí/no, balón, endoprótesis) y tiempo de seguimiento de los aneurismas. En los artículos revisados la suma de los aneurismas publicados fue de 18.234. La técnica diagnóstica más frecuentemente utilizada para controlar los aneurismas tratados por vía endovascular fue la angiografía cerebral, con más de un 65% de los pacientes. Le siguió la angioRM CC con un 34,7% y después la angioRM TOF con un 32,8%. El tiempo medio de seguimiento de los aneurismas fue de 10,9 meses (rango: 1-60 meses).

Técnicas de imagen para seguir los aneurismas tratados con espirales

La resolución de las diferentes técnicas de imagen disponibles para seguir los aneurismas cerebrales tratados con espirales son: angioRM 0,6-1 mm; angioTC 0,4-0,7 mm; ASD 0,2 mm; y A3D 0,15 mm. Por lo tanto, la técnica de imagen con mayor resolución es la A3D. Debido a su alta resolución espacial la ASD se considera la técnica de imagen de referencia³⁴⁻³⁸, aunque tiene un índice de complicaciones del 0,43%^{63,64}.

Radiografía simple

Algunos estudios demuestran que seguir los aneurismas tratados por vía endovascular con radiografías simples, valorando el cambio morfológico de las espirales (fig. 1), tiene una correlación cercana al 90% con la ASD, con una sensibilidad del 60-80% y una especificidad del 70-95%⁶⁵.

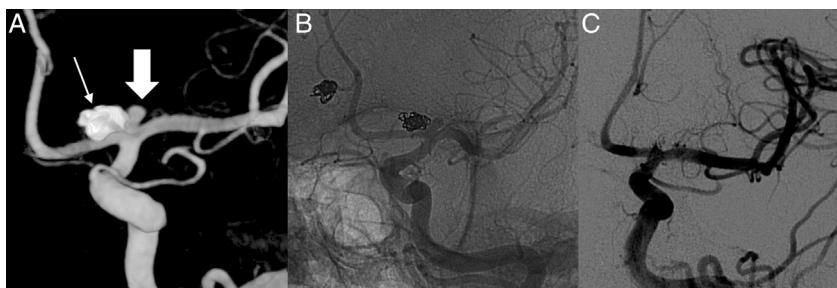


Figura 2 Hombre de 36 años con hemorragia subaracnoidea y aneurisma en espejo en ambas bifurcaciones carotídeas. A los 4 años, reimpactación de espirales en la arteriografía 3D (A, flecha fina) con crecimiento del aneurisma de la bifurcación carotídea izquierda (A, flecha gruesa), e imagen nativa no sustraída (B). Control tras tratamiento endovascular con espirales (C).

Angiotomografía computarizada

La angioTC no es apropiada para seguir el tratamiento endovascular de los aneurismas por los artefactos que provocan las espirales^{39,40}.

Angiografía con sustracción digital y angiografía rotacional 3D

En la actualidad son las técnicas de referencia para seguir los aneurismas tratados con espirales³⁴⁻³⁶.

La A3D (fig. 2) consiste en la reconstrucción de volúmenes tridimensionales a partir de los datos adquiridos durante una exploración angiográfica rotacional. Proporciona información muy detallada sobre la situación de las espirales de platino y su relación con las estructuras vasculares, y representa en múltiples proyecciones el cuello del aneurisma. Como limitaciones, además de ser un procedimiento invasivo, están la mayor dosis de radiación, y la mayor dosis de contraste administrada en una sola inyección. Estos 2 problemas tienden a solventarse a medida que aparecen equipos más modernos que realizan la adquisición en menos tiempo (3 en vez de 7 s) y con menor número de disparos (40 en vez de 100) en cada rotación. La relación coste-efectividad en el control de los aneurismas tratados con espirales es la misma que la angioRM a pesar de que esta técnica tiene un menor coste⁴¹⁻⁴⁵.

Angiorresonancia 3D TOF

Es una técnica alternativa no invasiva sin apenas morbilidad ni molestias para el paciente, que no utiliza radiaciones ionizantes ni medios de contraste (fig. 3)⁴⁶.

Los parámetros más habituales de la secuencia tridimensional *time-of-flight* (3D TOF) son: TR 36; tiempo de eco (TE) 6,9; FOV 18 × 16,2 cm; 25° de ángulo de inclinación; matriz de 256 × 224; 46 particiones; grosor de corte de 0,7 mm; y un tiempo de adquisición de 6 min⁵⁰.

La sensibilidad para diagnosticar la recanalización, tomando como estándar de referencia a la ASD, es del 80-85% y la especificidad del 90-100%, con un VPP aproximado al 100% y un VPN del 90%⁴⁷.

Una de las ventajas de la angioRM 3D TOF es que al no usar gadolinio es más económica y se evita el riesgo de la

fibrosis sistémica nefrogénica en pacientes susceptibles^{48,49}. Sus limitaciones mayores son el tiempo relativamente largo, el desfase de espín y la saturación de la señal. Al ser la secuencia TOF insensible a flujos complejos o lentos es difícil ver el cuello o el aneurisma residual. Esta pérdida de señal es atribuible al desfase intravóxel y efectos de saturación⁴⁶⁻⁴⁸ y es más susceptible a artefactos provocados por el paquete de espirales, y a los falsos positivos por la formación del trombo. Así, la alta señal en un aneurisma trombosado no necesariamente representa flujo sino que puede ser debido al acortamiento de T1 secundario a la trombosis subaguda entre las espirales.

Angiorresonancia-3D con contraste intravenoso

No hay diferencias estadísticamente significativas entre las 2 técnicas, 3D TOF y CC, respecto al seguimiento de los aneurismas cerebrales⁴⁶⁻⁴⁹, aunque la concordancia entre lectores es mayor con la angioRM CC (fig. 4)⁵⁰.

Los parámetros más habituales de la secuencia angioRM CC, obtenida en plano coronal, son: TR 6,6; TE 2,4; FOV 22 × 22 cm; ángulo de inclinación 45°; matriz de 259 × 224; grosor de corte de 1,4 mm; y tiempo de adquisición de 58 s.

La angioRM CC es más rápida e independiente del flujo que el TOF (fig. 5)⁵¹. Puede presentar el problema de la captación de los vasa vasorum o del trombo organizado que haga pensar en un resto de aneurisma⁵². Permite ver mejor las arterias pequeñas, por lo que es mejor para valorar aneurismas distales como los de la bifurcación de la arteria pericallosa y la arteria callosa marginal, y también para estudiar la recanalización de aneurismas gigantes que puedan presentar trombosis entre las espirales, artefacto por las espirales y flujo lento en el cuello (fig. 6)⁵².

Equipos de 3 teslas

La principal ventaja de los estudios de angioRM 3 T²⁵ es que doblan la relación señal-ruido, permiten disminuir los TE y mejorar la resolución espacial (matrices de 1.024 × 512 y 1 mm de espesor de corte). También aumentan los tiempos de relajación T1, lo que incrementa el contraste de la sangre y los convierte en una alternativa a la ASD en términos de eficiencia⁵². Sin embargo, la sensibilidad parece ser similar a los equipos de 1,5 T^{47,53-56}.

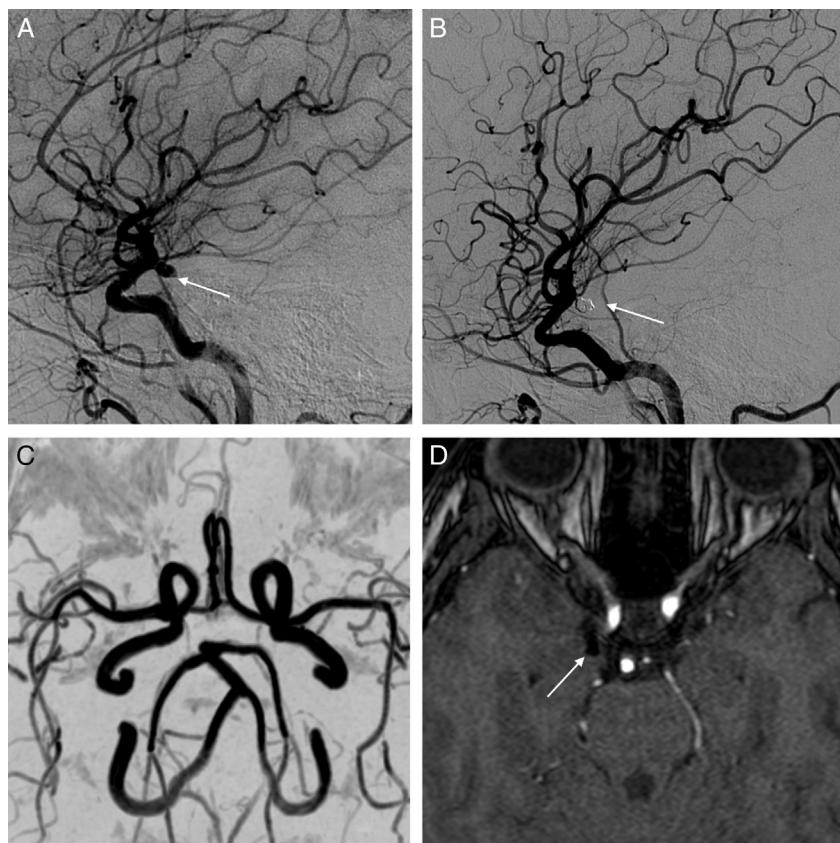


Figura 3 Mujer de 46 años con hemorragia subaracnoidea y aneurisma de la arteria comunicante posterior derecha (A, flecha) que se trata con espirales con cierre completo (B, flecha). A los 6 meses, angioRM 3D TOF con cierre completo del aneurisma tanto en la reconstrucción (C) como en la imagen fuente (D, flecha).

Hay casos particulares que considerar

Algunas espirales como el *Nexus*® (ev3, Irvine, CA, EE. UU.) provocan más artefactos, sobre todo en la angioRM 3D TOF^{57,58}, probablemente por la aleación platino-iridio de estas espirales comparada con la de platino-wolframio de otras⁵⁷.

Por otro lado, las endoprótesis pueden provocar artefactos que simulen estenosis e impidan valorar adecuadamente el cuello del aneurisma⁵⁸. La endoprótesis *Enterprise*® (Codman, Massachusetts, EE. UU.) puede producir más artefactos

que la *Neuroform*® (Stryker, Neurovascular, Fremont, CA, EE. UU.), al menos con las angioRM 3D TOF⁶⁰. Con las endoprótesis que desvian el flujo («flow diverters») se aconseja el control mediante ASD hasta que haya más datos fiables sobre el periodo de neoendotelización⁶⁶. Si se ha usado *Onyx*® (ev3, Irvine, CA, EE. UU.) para tratar el aneurisma, este material es hipointenso en todas las secuencias de angioRM y apenas provoca artefactos. En la angioTC provoca artefactos por el aumento energético de la radiación (*beam hardening*)⁶⁷.

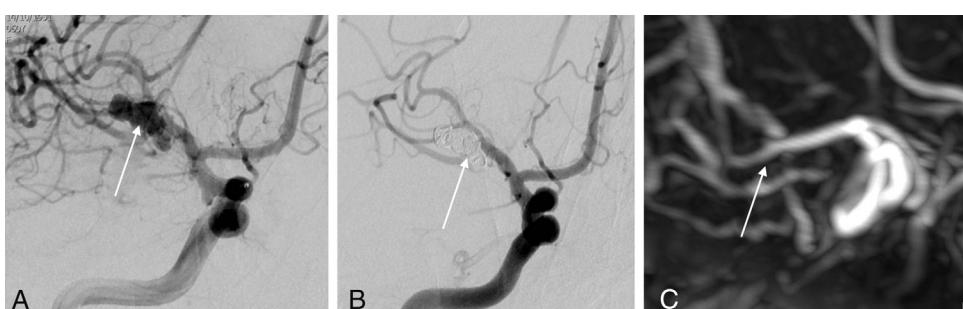


Figura 4 Mujer de 60 años ingresada por hemorragia subaracnoidea. A) Arteriografía con sustracción digital que demuestra un aneurisma (flecha) de la arteria cerebral media derecha de 14 × 6 × 6 mm. B) Control tras tratamiento con espirales (flecha). C) Correlación con la angioRM con contraste. Cierre completo.

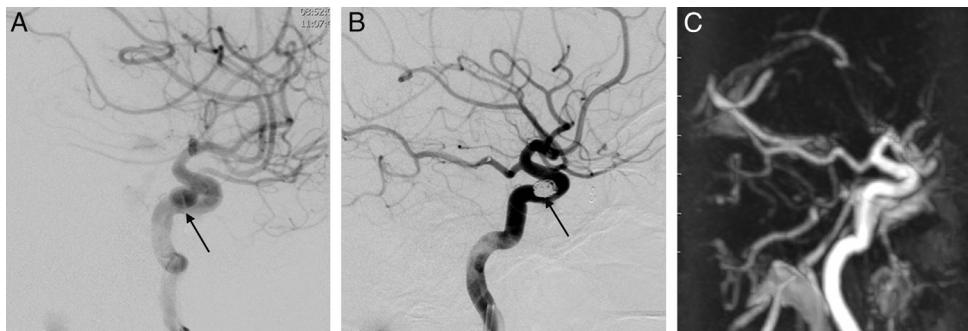


Figura 5 Mujer de 52 años con aneurisma incidental demostrado en el estudio de un meningioma (no mostrado). A) Aneurisma carotídeo paraclínoideo izquierdo (flecha) de $7 \times 5 \times 5$ mm en la arteriografía con sustracción digital. B) Control angiográfico tras tratamiento endovascular con espirales (flecha). C) Correlación con angioRM con contraste al año del tratamiento. Cierre completo.

Definición de los hallazgos en las técnicas de neuroimagen

Utilizando como guía el estudio ISAT¹⁰ y los nuevos estudios prospectivos de pacientes no consecutivos, como los estudios *Clinical and Anatomic Results in the Treatment of Ruptured Intracranial Aneurysms*¹⁴⁻¹⁷ y *Cerebral Aneurysm Rerupture After Treatment*²⁰, deben tenerse siempre en cuenta los siguientes conceptos:

1. Grado de cierre de los aneurismas tras el primer tratamiento (ASD) (fig. 7)
 - a. Cierre completo. Aneurisma totalmente cerrado, sin restos.

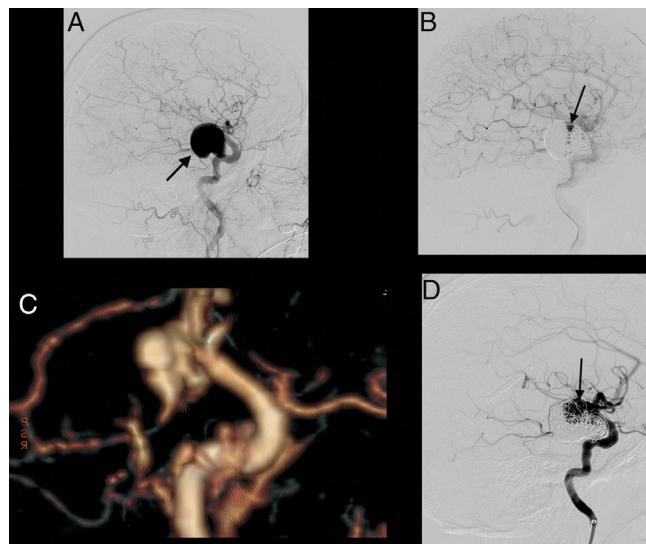


Figura 6 Mujer de 59 años que ingresa por hematoma temporal derecho y hemorragia subaracnoidea. A) En la arteriografía con sustracción digital se observa un aneurisma de la arteria comunicante posterior derecha (flecha) de $23 \times 19 \times 29$ mm. B) Control final donde se observa un resto de aneurisma (flecha). C) Reconstrucción volumétrica de superficie de la angioRM con contraste que demuestra compactación de las espirales con mayor volumen de aneurisma residual. D) Correlación con la arteriografía de control (flecha).

- b. Cierre con resto de cuello. Aneurisma cerrado con un resto de cuello para preservar el origen de una rama. El cierre completo y el cierre con resto de cuello se pueden agrupar en «cierre correcto» del aneurisma.
- c. Resto de aneurisma. Cuando el cierre del aneurisma es parcial, solo se puede cerrar el punto de rotura o no se consigue una buena densidad de espirales en el interior del aneurisma.
2. Grado de cierre del aneurisma en el seguimiento (ASD y/o angioRM).
 - a. Tratamiento estable. Cuando el aneurisma no ha variado su grado de cierre respecto a los controles previos.
 - b. Mejoría del tratamiento. Cuando el grado de cierre ha mejorado respecto al estudio previo.
 - c. Empeoramiento del grado de cierre. Cuando el cierre del aneurisma ha empeorado, bien por compactación de las espirales bien por crecimiento del aneurisma.

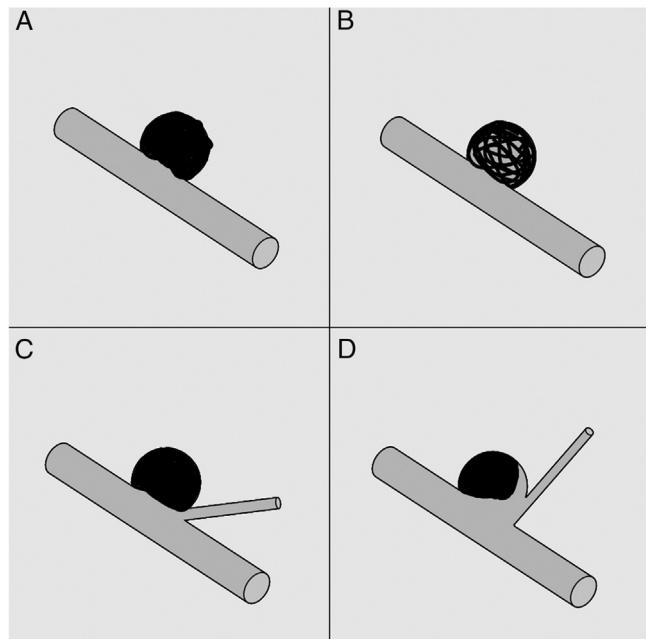


Figura 7 Clasificación de los grados de cierre de los aneurismas tratados por vía endovascular. A) Cierre completo. B) Cierre incompleto. C y D) Cuello residual.

Tiempo de seguimiento de los aneurismas tratados con espirales

El seguimiento clínico a largo plazo ha puesto de manifiesto que los aneurismas tratados con espirales tienen una tasa de resangrado muy baja. En alguna serie con seguimiento a largo plazo²⁰, la tasa de resangrado fue menor del 0,1% aunque en el grupo endovascular del ISAT^{10,11} llegó al 2,6% en el primer año. En el *Cerebral Aneurysm Rerupture After Treatment*²⁰ la tasa dependió directamente del grado de cierre del aneurisma, y llegó a ser del 17,6% cuando el cierre era menor del 70% del aneurisma.

En lo que coinciden las series es en que el resangrado después del tratamiento se produce principalmente en los primeros 6-12 primeros meses, y se relaciona con el grado de cierre del aneurisma²⁰.

El empeoramiento del grado de cierre del aneurisma ocurre principalmente en los primeros 6 meses. En los seguimientos a largo plazo algunas series han descrito una tasa de recrecimiento del aneurisma inferior al 2% tras el primer año y hasta los 10 años. Los aneurismas más grandes, con cierre incompleto, y los de la circulación posterior, tienden a recanalizarse más. Algunos autores afirman que un aneurisma que a los 6 meses está cerrado por completo no necesita más seguimiento^{20,21}. Un resultado morfológicamente estable al año indica que la probabilidad de recurrencia es muy baja¹⁴.

Los pacientes con HSA tienen más riesgo de presentar un nuevo aneurisma, de los cuales un tercio serán verdaderos nuevos aneurismas y el resto aneurismas ya presentes que pasaron desapercibidos en la angiografía. Se definen como aneurisma «de novo» o de nueva aparición aquellos aneurismas que crecen o han crecido en el entorno del aneurisma primitivo. En el ISAT^{11,12}, de los 24 resangrados 11 ocurrieron por otros aneurismas, 4 de los cuales ya estaban presentes y el resto eran nuevos. Actualmente se tiende a pensar que los aneurismas representan una forma de vasculopatía («enfermedad aneurismática») que requiere seguimiento a largo plazo²⁹. La frecuencia de aparición de estos nuevos aneurismas es muy baja, del orden de 0,75-1,54% a los 5 años de seguimiento^{30,68}. Por ello, algunos autores no ven recomendable hacer un cribado de nuevos aneurismas en pacientes con HSA por los costes y complicaciones de la angiografía. Los mismos autores destacan que es necesario tener más información sobre los factores de riesgo de desarrollar nuevos aneurismas en pacientes con HSA para identificar a los que se pueden beneficiar del cribado³¹.

Por lo tanto, no existe acuerdo sobre cuál es el tiempo recomendable para seguir los aneurismas tratados por vía endovascular. Algunos autores recomiendan hacerlo durante los 3 años siguientes³², mientras que otros solo durante un año si la oclusión es estable^{24,34}. Hay grupos que han seguido a estos pacientes incluso 10 años tras el tratamiento³¹. Lo más habitual es seguirlos durante al menos los 2 primeros años, cuando la tasa de empeoramiento del grado de cierre es mayor, con objeto de detectar los aneurismas cerrados parcialmente y las recanalizaciones precoces, para así disminuir el resangrado a valores similares a los de las series quirúrgicas. En las series, la tasa de retratamiento oscila entre el 6 y el 11%²¹.

Seguridad de las espirales y endoprótesis en estudios de resonancia magnética

La composición de las espirales (platino, nitinol o platino e iridio) ha sido evaluada y se puede realizar con seguridad el control del aneurisma en la RM⁶⁹⁻⁷⁴.

Las espirales y endoprótesis nuevas deben ser evaluadas previamente para valorar la seguridad en campos magnéticos.

Las espirales de platino utilizadas no interaccionan con el campo magnético y no provocan artefactos que impidan seguir los aneurismas con RM. En estudios *in vitro* el incremento de la temperatura es mínimo durante la RM.

Se ha evaluado la seguridad de las espirales de platino y las endoprótesis intracraneales en estudios *in vitro* en RM de 1,5 T. En RM de 3 T no se han evaluado todas las espirales y endoprótesis.

La responsabilidad de interpretar las pruebas de imagen

Los neurorradiólogos no intervencionistas interpretan las pruebas de imagen para los aneurismas igual que los intervencionistas⁵⁰. La concordancia interobservador para determinar el grado de cierre del aneurisma con resonancia magnética es bueno, por lo que no hay diferencias apreciables en la valoración del tratamiento endovascular^{50,74}.

Recomendaciones generales para seguir los aneurismas tratados por vía endovascular

1. Tiempo e intervalo de seguimiento de los aneurismas tratados por vía endovascular.

Según el resultado inmediato del tratamiento endovascular, se recomienda realizar al menos un primer control con ASD en el primer año según el grado de cierre del aneurisma (fig. 8):

- En los pacientes con cierre completo del aneurisma, ASD entre los 6-12 meses.
- En pacientes con cuello residual del aneurisma, ASD entre los 3 y 6 meses.
- En los pacientes con cierre incompleto del aneurisma, ASD entre 1 y 3 meses.

La duración del seguimiento de los aneurismas tratados por vía endovascular podrá establecerse:

a. Según la forma de presentación:

- a.1 Aneurisma roto.
 - Aneurismas con cierre completo: al menos 3 años (recomendable 5 años).
 - Aneurisma con cuello residual: si es estable, seguir hasta los 5 años.
 - Aneurisma con cierre incompleto: se deben seguir indefinidamente.
- a.2 Aneurisma no roto.
 - Aneurisma con cierre completo: 3 años.
 - Aneurisma con cuello residual: 3 años.
 - Aneurisma con cierre incompleto: indefinidamente.

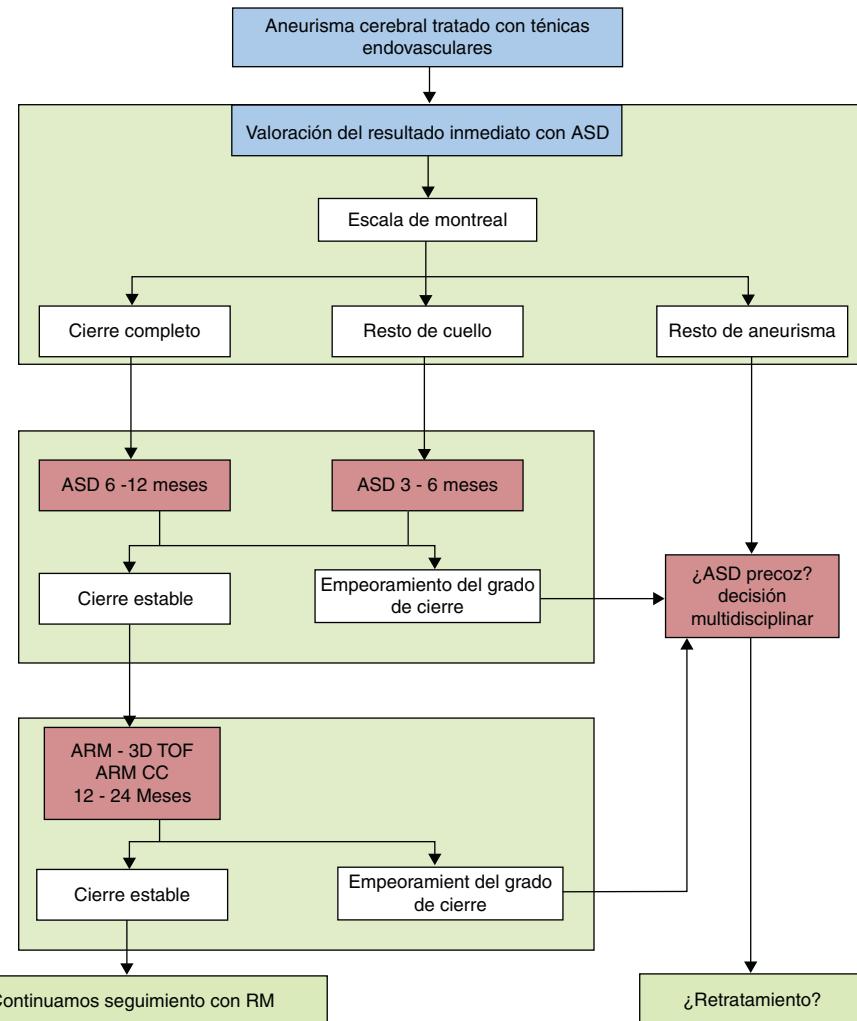


Figura 8 Algoritmo para el seguimiento de los aneurismas tratados con espirales.

b. Según el tamaño:

Los aneurismas de gran tamaño (aneurismas gigantes) se deben seguir de forma continuada por su alta tasa de recrecimiento. Podemos recomendar:

- Con cierre completo del aneurisma: seguimiento al menos 5 años.
- Cuello residual y cierre incompleto: seguimiento indefinidamente.

c. Según edad del paciente:

En pacientes jóvenes con aneurismas tratados con espirales, se deben seguir indefinidamente por la posibilidad de nuevos aneurismas.

2. Técnica de imagen ideal para seguir los aneurismas tratados con espirales.

La ASD y la A3D son consideradas actualmente las técnicas de elección para los aneurismas tratados con espirales. Debido a que son técnicas cruentas y no exentas de riesgos, no son recomendables para seguimientos prolongados, por lo que se recomienda realizar al menos un control con ASD durante el primer año y proseguir con técnicas de imagen no invasivas. Estará indicada una nueva ASD ante

cualquier cambio en las características morfológicas del aneurisma.

Los aneurismas tratados con endoprótesis, o con endoprótesis que derivan el flujo, se deben controlar con ASD debido a los artefactos de flujo que se producen en el interior de las endoprótesis. Las pruebas no invasivas se reservarán para cuando se esté seguro de la endotelización y estabilidad del aneurisma.

La angioTC no es una prueba válida para seguir los aneurismas tratados con espirales.

La angioRM con secuencia 3D TOF y angioRM CC son adecuadas para seguir los aneurismas. No existe evidencia sobre cuál de las 2 técnicas es mejor ni existen ensayos aleatorizados que las hayan comparado con la ASD. No hay evidencia científica actualmente que demuestre la superioridad de los imanes de 3 T sobre los de 1,5 T para seguir con RM los aneurismas tratados con espirales. Lo que es recomendable es realizar los controles en el mismo equipo y con la misma secuencia.

La experiencia y dotación de cada centro es fundamental para indicar una nueva ASD ante la sospecha de crecimiento, aunque sí es necesario que el seguimiento sea realizado por un neurorradiólogo con experiencia.

Conclusiones

Existe una gran variabilidad de protocolos y experiencia en cada centro en el seguimiento de los aneurismas cerebrales tratados con espirales. La primera técnica de control tras el tratamiento para valorar la eficacia y estabilidad durante el primer año será la ASD, para pasar luego a la angioRM en el control a largo plazo. Hacer de nuevo una ASD estará indicado cuando cambien las características morfológicas o empeore el grado de cierre.

No se ha demostrado que para el seguimiento sea mejor usar un medio de contraste en la angioRM o hacerlo con imanes de 3 T.

El seguimiento con pruebas de imagen de pacientes con aneurismas tratados con espirales, principalmente la RM, debe realizarse bajo supervisión del neurorradiólogo y con unas condiciones técnicas adecuadas y homogéneas que permitan comparar los estudios, según la disponibilidad y experiencia de cada centro.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

Autorías

1. Responsable de la integridad del estudio: AGG
2. Concepción del estudio: todos los miembros del grupo
3. Diseño del estudio: FD, AS, AH, EM, LSRM, AGG, 4. Obtención de los datos: todos los miembros del equipo.
4. Análisis e interpretación de los datos: FD, AS, AH, EM, LSRM, AL G-A, AGG
5. Tratamiento estadístico: AGG
6. Búsqueda bibliográfica: FD, AS, EM, JM.
7. Redacción del trabajo: FD, AS, AH, EM, AGG
8. Revisión crítica del manuscrito con aportaciones intelectualmente relevantes: todos los miembros del grupo
9. Aprobación de la versión final: todos los miembros del grupo.

Conflictos de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Anexo 1. Miembros del Grupo de Enfermedades Cerebrovasculares de la Sociedad Española de Neurorradiología (SENR)

Dr. Josep Munuera del Cerro (Hospital Universitario German Trias y Pujol, Badalona), Dr. Joaquín Zamarro Parra (Hospital Virgen de la Arrixaca, Murcia), Dr. Alberto Gil

(Hospital Universitario Cruces, Bilbao), Dr. Salvador Pedraza Gutiérrez (Hospital Universitario Josep Trueta, Girona), Dr. Juan Francisco Arenillas (Servicio Neurología, Hospital Clínico Valladolid), Dr. Aitziber Aleu (Servicio de Neurología, Hospital Universitario German Trias y Pujol, Badalona).

Bibliografía

1. Rinkel GJE, Djibuti M, Algra A, van Gijn J. Prevalence and risk of rupture of intracranial aneurysms. A systematic review. *Stroke*. 1998;29:251-6.
2. Ingall T, Asplund K, Mahonen M, Bonita R. A multinational comparison of subarachnoid hemorrhage epidemiology in the WHO MONICA stroke study. *Stroke*. 2000;31:1054-61.
3. Fick GM, Gabow PA. Natural history of autosomal dominant polycystic kidney disease. *Annu Rev Med*. 1994;45:23-9.
4. Sacco RL, Wolf PA, Bharucha NE, Meeks SL, Kannel WB, Charette LJ, et al. Subarachnoid and intracerebral hemorrhage: Natural history, prognosis, and precursive factors in the Framingham study. *Neurology*. 1984;34:847-54.
5. Bonita R. Cigarette smoking, hypertension and the risk of subarachnoid hemorrhage: A population-based case control study. *Stroke*. 1986;17:831-5.
6. Feigin VL, Lawes CM, Bennett DA, Barker-Collo SL, Parag V. Worldwide stroke incidence and early case fatality reported in 56 population-based studies: A systematic review. *Lancet Neurol*. 2009;8:355-69.
7. Hop JW, Rinkel GJ, Algra A, van Ginj J. Case-fatality rates and functional outcome after subarachnoid hemorrhage: A systematic review. *Stroke*. 1997;28:660-4.
8. Ingall TJ, Whisnant JP, Wiebers DO, O'Fallon WN. Has there been a decline in subarachnoid hemorrhage mortality? *Stroke*. 1989;20:718-24.
9. Kassell NF, Torner JC. The International Cooperative Study on Timing of Aneurysm Surgery—an update. *Stroke*. 1984;15:566-70.
10. Molyneux A, Kerr R, Stratton I, Sandercock P, Clarke M, Shrimpton J, et al. International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: A randomised trial. *Lancet*. 2002;360:1267-74.
11. Molyneux AJ, Kerr RS, Yu LM, Clarke M, Snaide M, Yarnold JA, et al. International subarachnoid aneurysm trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised comparison of effects on survival, dependency, seizures, rebleeding, subgroups, and aneurysm occlusion. *Lancet*. 2005;366:809-17.
12. Molyneux AJ, Kerr RS, Birks J, Ramzi N, Yarnold J, Snaide M, et al. Risk of recurrent subarachnoid haemorrhage, death, or dependence and standardised mortality ratios after clipping or coiling of an intracranial aneurysm in the International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT): Long-term follow-up. *Lancet Neurol*. 2009;8:427-33.
13. Pierot L, Spelle L, Vitry FB, ATENA Investigators. Immediate clinical outcome of patients harboring unruptured intracranial aneurysms treated by endovascular approach: Results of the ATENA study. *Stroke*. 2008;39:2497-504.
14. Pierot L, Cognard C, Ricolfi F, Anxionnat R, CLARITY investigators. Mid-term anatomic results after endovascular treatment of ruptured intracranial aneurysms with Guglielmi detachable coils and matrix coils: analysis of the CLARITY series. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2012;33:469-73.
15. Cognard C, Pierot L, Anxionnat R, Ricolfi F, CLARITY Study Group. Results of embolization used as the first treatment choice in a consecutive nonselected population of ruptured

- aneurysms: clinical results of the Clarity GDC study. *Neurosurgery*. 2011;69:837–41.
16. Pierot L, Cognard C, Anxionnat R, Ricolfi F, CLARITY Investigators. Ruptured intracranial aneurysms: factors affecting the rate and outcome of endovascular treatment complications in a series of 782 patients (CLARITY study). *Radiology*. 2010;256:916–23.
 17. Pierot L, Cognard C, Ricolfi F, Anxionnat R, CLARITY Investigators. Immediate anatomic results after the endovascular treatment of ruptured intracranial aneurysms: Analysis in the CLARITY series. *AJR Am J Neuroradiol*. 2010;31:907–11.
 18. Henkes H, Fischer S, Weber W, Milosavljević E, Felber S, Brew S, et al. Endovascular coil occlusion of 1811 intracranial aneurysms: Early angiographic and clinical results. *Neurosurgery*. 2004;54:268–80.
 19. Sakai N, Taki W, Yoshimura S, Hyogo T, Ezura M, Matsumoto Y, et al. RESAT Study Group Retrospective survey of endovascular treatment for ruptured intracranial aneurysm in Japan: Retrospective Endovascular Subarachnoid Aneurysm Treatment (RESAT) study. *Neuro Med Chir (Tokyo)*. 2010;50:961–5.
 20. Johnston SC, Dowd CF, Higashida RT, Lawton MT, Duckwiler GR, Gress DR, for the CARAT Investigators. Predictors of rehemorrhage after treatment of ruptured intracranial aneurysms: The Cerebral Aneurysm Rerupture After Treatment (CARAT) study. *Stroke*. 2008;39:120–5.
 21. Pierot L, Leclerc X, Bonafe A, Bracard S, French Matrix Registry Investigators. Endovascular treatment of intracranial aneurysms with matrix detachable coils: Midterm anatomic follow-up from a prospective multicenter registry. *AJR Am J Neuroradiol*. 2008;29:57–61.
 22. Linfante I, DeLeo III MJ, Gounis MJ, Brooks CS, Wakhloo AK. Cerecyte versus platinum coils in the treatment of intracranial aneurysms: Packing attenuation and clinical and angiographic midterm results. *AJR Am J Neuroradiol*. 2009;30:1496–501.
 23. Agid R, Willinsky RA, Lee SK, Terbrugge KG, Farb RI. Characterization of aneurysm remnants after endovascular treatment: Contrast-enhanced MR angiography versus catheter digital subtraction angiography. *AJR Am J Neuroradiol*. 2008;29:1570–4.
 24. Willinsky RA, Peltz J, da Costa L, Agid R, Farb RI, Terbrugge KG. Clinical and angiographic follow-up of ruptured intracranial aneurysms treated with endovascular embolization. *AJR Am J Neuroradiol*. 2009;30:1035–40.
 25. Raymond J, Guilbert F, Weill A, Roy D. Follow-up of treated aneurysms: The challenge of recurrences and potential solutions. *Neuroimaging Clin N Am*. 2006;16:513–23.
 26. Ferns SP, Sprengers ME, van Rooij WJ, van Zwam WH, de Kort GA, Velthuis BK, et al. Late reopening of adequately coiled intracranial aneurysms: Frequency and risk factors in 400 patients with 440 aneurysms. *Stroke*. 2011;42:1331–7.
 27. Meyers PM, Schumacher HC, Higashida RT, Derdeyn CP, Nesbit GM, Sacks D, et al. Reporting standards for endovascular repair of saccular intracranial cerebral aneurysms. *Stroke*. 2009;40:e366–79.
 28. Connolly Jr ES, Rabinstein AA, Carhuapoma JR, Derdeyn CP, Dion J, Higashida RT, et al., American Heart Association Stroke Council; Council on Cardiovascular Radiology and Intervention; Council on Cardiovascular Nursing; Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia; Council on Clinical Cardiology. Guidelines for the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage: A guideline for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2012;43:1711–37.
 29. Origitano TC. Current options in clipping versus coiling of intracranial aneurysms: To clip, to coil, to wait and watch. *Neurosurg Clin N Am*. 2008;19:469–76.
 30. Ferns SP, Sprengers ME, van Rooij WJ, van den Berg R, Velthuis BK, de Kort GA, et al. De novo aneurysm formation and growth of untreated aneurysms. A 5-year MRA follow-up in a large cohort of patients with coiled aneurysms and review of the literature. *Stroke*. 2011;42:313–8.
 31. Sprengers ME, van Rooij WJ, Sluzewski M, Rinkel GJ, Velthuis BK, de Kort GA, et al. MR angiography follow-up 5 years after coiling: frequency of new aneurysms and enlargement of untreated aneurysms. *AJR Am J Neuroradiol*. 2009;30:303–7.
 32. van Rooij WJ, Sluzewski M. Imaging follow-up after coiling of intracranial aneurysms. *AJR Am J Neuroradiol*. 2009;30:1646–9.
 33. Wermer MJ, van der Schaaf IC, Velthuis BK, Algra A, Buskens E, Rinkel GJ, ASTRA Study Group. Follow-up screening after subarachnoid hemorrhage: Frequency and determinants of new aneurysms and enlargement of existing aneurysms. *Brain*. 2005;128:2421–9.
 34. Brinjikji W, Cloft H, Lanzino G, Kallmes DF. Comparison of 2D digital subtraction angiography and 3D rotational angiography in the evaluation of dome-to-neck ratio. *AJR Am J Neuroradiol*. 2009;30:831–4.
 35. Serafin Z, Strześniewski P, Lasek W, Beuth W. Follow-up after embolization of ruptured intracranial aneurysms: A prospective comparison of two-dimensional digital subtraction angiography, three-dimensional digital subtraction angiography, and time-of-flight magnetic resonance angiography. *Neuroradiology*. 2012;54:1253–60.
 36. Ferré JC, Carsin-Nicol B, Morandi X, Carsin M, de Kersaint-Gilly A, Gauvrit JY, et al. Time-of-flight MR angiography at 3 T versus digital subtraction angiography in the imaging follow-up of 51 intracranial aneurysms treated with coils. *Eur J Radiol*. 2009;72:365–9.
 37. Lubicz B, Neugroschl C, Collignon L, Francois O, Baleriaux D. Is digital subtraction angiography still needed for the follow-up of intracranial aneurysms treated by embolisation with detachable coils. *Neuroradiology*. 2008;50:841–8.
 38. Ringer AJ, Lanzino G, Veznedaroglu E, Rodriguez R, Mericle RA, Levy EI, et al. Does angiographic surveillance pose a risk in the management of coiled intracranial aneurysms? A multicenter study of 2243 patients. *Neurosurgery*. 2008;63:845–9.
 39. Buhk JH, Kallenberg K, Mohr A, Dechent P, Knauth M. Evaluation of angiographic computed tomography in the follow-up after endovascular treatment of cerebral aneurysms—a comparative study with DSA and TOF-MRA. *Eur Radiol*. 2009;19:430–6.
 40. Sherif C, Bavinzski G, Dorfer C, Dechent P, Knauth M. Computerized assessment of angiographic occlusion rate and coil density in embolized human cerebral aneurysms. *AJR Am J Neuroradiol*. 2009;30:1046–53.
 41. Schaafsma JD, Koffijberg H, Buskens E, Velthuis BK, van der Graaf Y, Rinkel GJ. Cost-effectiveness of magnetic resonance angiography versus intra-arterial digital subtraction angiography to follow-up patients with coiled intracranial aneurysms. *Stroke*. 2010;41:1736–42.
 42. Kau T, Gasser J, Celedin S, Rabitsch E, Eicher W, Uhl E, et al. MR Angiographic Follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils: evaluation of a blood-pool contrast medium. *AJR Am J Neuroradiol*. 2009;30:1524–30.
 43. Schaafsma JD, Velthuis BK, Majoe CB, van den Berg R, Brouwer PA, Barkhof F, et al. Intracranial aneurysms treated with coil placement: test characteristics of follow-up MR angiography—Multicenter study. *Radiology*. 2010;256:209–18.
 44. Nakiri GS, Santos AC, Abud TG, Aragon DC, Colli BO, Abud DG. A comparison between magnetic resonance angiography at 3 Teslas (time-of-flight and contrast enhanced) and flat-panel digital subtraction angiography in the assessment of embolized brain aneurysms. *Clinics (Sao Paulo)*. 2011;66:641–8.
 45. Zhou B, Li M, Wang W, Xu HW, Chengand YD, Wang J. Three-dimensional volume-rendering technique in the angiographic follow-up of intracranial aneurysms embolized with coils. *J Neurosurg*. 2010;112:674–80.

46. Ramgren B, Siemund R, Cronqvist M, Undrén P, Nilsson OG, Holtås S, et al. Follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils: Comparison of 3D inflow MRA at 3 T and 1.5 T and contrast-enhanced MRA at 3 T with DSA. *Neuroradiology*. 2008;50:947–54.
47. Kaufmann TJ, Huston J, Cloft HJ, Mandrekar B, Gray L, Bernstein MA, et al. A prospective trial of 3 T and 1.5 T time-of-flight and contrast-enhanced MR angiography in the follow-up of coiled intracranial aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2010;31:912–8.
48. Anzalone A, Scomazzoni F, Cirillo M, Cadioli M, Iadanza A, Kirchin MA, et al. Follow-up of coiled cerebral aneurysms: comparison of three-dimensional time-of-flight magnetic resonance angiography at 3 Tesla with three-dimensional time-of-flight magnetic resonance angiography and contrast-enhanced magnetic resonance angiography at 1.5 Tesla. *Invest Radiol*. 2008;43:559–67.
49. Anzalone N, Scomazzoni F, Cirillo M, Righi C, Simonato F, Cadioli M, et al. Follow-up of coiled cerebral aneurysms at 3 T: Comparison of 3D Time-of-Flight MR angiography and contrast-enhanced MR angiography. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2008;29:1530–6.
50. Díaz Aguilera R, Bravo Rodríguez F, Ramos Gómez MJ, Cano Sánchez A, Martínez Paredes M, Delgado Acosta F. MR angiography follow-up of embolized cerebral aneurysms: Inter-observer agreement. *Radiología*. 2009;51:300–6.
51. Bakker NA, Westerlaan HE, Metzemaekers J, van Dijk JM, Eshghi OS, Mooij JJ, et al. Feasibility of magnetic resonance angiography (MRA) follow-up as the primary imaging modality after coiling of intracranial aneurysms. *Acta Radiol*. 2010;51:226–32.
52. Dupre S, Coulthard A. Follow up of coiled intracranial aneurysms with standard resolution and higher resolution magnetic resonance angiography. *J Med Imaging Radiat Oncol*. 2008;52:57–63.
53. Huang BY, Castillo M. Neurovascular Imaging at 1.5 tesla versus 3.0 tesla. *Magn Reson Imaging Clin N Am*. 2009;17:29–46.
54. Buhk JH, Kallenberg K, Mohr A, Dechent P, Knauth M. No advantage of time-of-flight magnetic resonance angiography at 3 Tesla compared to 1.5 Tesla in the follow-up after endovascular treatment of cerebral aneurysms. *Neuroradiology*. 2008;50:855–61.
55. Urbach H, Dorenbeck U, von Falkenhausen M, Wilhelm K, Willinek W, Schaller C, et al. Three-dimensional time-of-flight MR angiography at 3 T compared to digital subtraction angiography in the follow-up of ruptured and coiled intracranial aneurysms: A prospective study. *Neuroradiology*. 2008;50:383–9.
56. Pierot L, Portefaix C, Gauvrit JY, Boulin A. Follow-up of coiled intracranial aneurysms: comparison of 3D time-of-flight MR angiography at 3 T and 1.5 T in a large prospective series. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2012;33:2162–6.
57. Kang HS, Moon WJ, Roh HG, Han MH, Choe WJ, Cho J, et al. MR angiographic evaluation is limited in intracranial aneurysms embolized with Nexus coils. *Neuroradiology*. 2008;50:171–8.
58. Bhattacharya JJ, Siddiqui MA, Zampakis P, Jenkins S. MRA artifacts with Nexus coils. *Neuroradiology*. 2008;50:821.
59. Wakhloo AK, Mandell J, Gounis MJ, Brooks C, Linfante I, Winer J, et al. Stent-assisted reconstructive endovascular repair of cranial fusiform atherosclerotic and dissecting aneurysms: Long-term clinical and angiographic follow-up. *Stroke*. 2008;39:3288–96.
60. Van Rooij WJ, Sprengers ME, Sluzewski M, Beute GN. Intracranial aneurysms that repeatedly reopen over time after coiling: Imaging characteristics and treatment outcome. *Neuroradiology*. 2007;49:343–9.
61. Kamran M, Yarnold J, Grunwald IQ, Byrne JV. Assessment of angiographic outcomes after flow diversion treatment of intracranial aneurysms: a new grading schema. *Neuroradiology*. 2011;53:501–8.
62. Piotin M, Spelle L, Mounayer C, Salles-Rezende MT, Giasante Abud D, Vanzin-Santos R, et al. Intracranial aneurysms: treatment with bare platinum coils aneurysm packing, complex coils and angiographic recurrence. *Radiology*. 2007;243:500–7.
63. Kaufmann TJ, Huston J, Mandrekar JN, Schleck CD, Thielen KR, Kallmes DF. Complications of diagnostic cerebral angiography: evaluation of 19,826 consecutive patients. *Radiology*. 2007;243:812–9.
64. Cloft HJ, Joseph GJ, Dion JE. Risk of cerebral angiography in patients with subarachnoid hemorrhage, cerebral aneurysm and arteriovenous malformation: A meta-analysis. *Stroke*. 1999;30:522–8.
65. Hwang GB, Niimi Y, Setton A, Pryor J, Baltsavias G, Albert R, et al. The accuracy of plain skull X-ray examination as a predictor of recanalization following Guglielmi detachable coil embolization in the treatment of cerebral aneurysms. *Intervent Neuroradiol*. 2000;6:195–202.
66. Meilán Martínez A, Murias Quintana E, Gil García A, Vega Valdés P, Saiz Ayala A. Técnicas asistidas para el tratamiento endovascular de aneurismas cerebrales complejos o atípicos. *Radiología*. 2013;55:118–29.
67. Khan R, Wallace RC, Fiorella DJ. Magnetic resonance angiographic imaging Follow-up of treated intracranial aneurysms. *Top Magn Reson Imaging*. 2008;19:231–9.
68. Gallas S, Janue AC, Pasco A, Drouineau J, Gabrillargues J, Gaston A, et al. Long-term follow-up of 1036 cerebral aneurysms treated by bare coils: A multicentric cohort treated between 1998 and 2003. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2009;30:1986–92.
69. Hennemeyer CT, Wicklow K, Feinberg DA, Derdeyn CP. In vitro evaluation of platinum Guglielmi detachable coils at 3 T with a porcine model: Safety issues and artifacts. *Radiology*. 2001;219:732–7.
70. Nehra A, Moran CJ, Cross DT, Derdeyn CP. MR safety and imaging of Neuroform Stents at 3 T. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2004;25:1476–8.
71. Shellock FG, Gounis M, Wakhloo A. Detachable coil for cerebral aneurysms: In vitro evaluation of magnet field interactions, heating, and artifacts at 3 T. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2005;26:363–6.
72. Shellock FG, Shellock VJ. Metallic stents: evaluation of MR imaging safety. *AJR Am J Roentgenol*. 1999;173:543–7.
73. Nehra A, Moran CJ, Cross 3rd DT, Derdeyn CP. MR safety and imaging of Neuroform stents at 3 T. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2004;25:1476–8.
74. Karacozoff AM, Shellock FG, Wakhloo AK. A next-generation, flow-diverting implant used to treat brain aneurysms: In vitro evaluation of magnetic field interactions, heating and artifacts at 3 T. *Magn Reson Imaging*. 2013;31:145–9.