

LIBRO DE BOLSILLO DE ANGIOGRAFÍA POR RM EN NEURORRADIOLOGÍA: TÉCNICAS Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Tipo: Presentación Electrónica Educativa

Autores: **Patricia Martín Medina**, Amaya Hilario Barrio, Elena Salvador Álvarez, Laura Koren Fernández, Federico Ballenilla Marco, Ana Ramos González

Objetivos Docentes

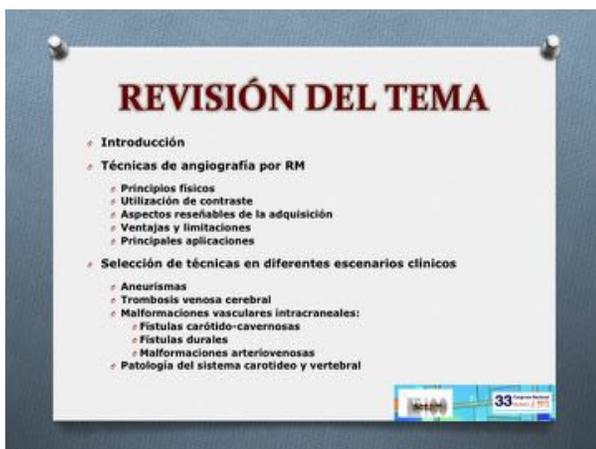
- Conocer las técnicas de angiografía por RM (ARM) y sus principios físicos.
- Describir las ventajas, limitaciones y los artefactos de cada técnica.
- Elaborar un algoritmo diagnóstico práctico en función de las principales indicaciones clínicas.

Imágenes en esta sección:



Fig. 1: Portada

Revisión del tema



INTRODUCCIÓN:

Los estudios de imagen cerebrovascular se están empleando cada vez con mayor frecuencia en la evaluación de las estructuras arteriovenosas en la región de cabeza y cuello, en el manejo del ictus y en el estudio de cefaleas.

La ARM es una de las técnicas no invasivas más empleadas para el estudio del sistema cerebrovascular.

TÉCNICAS DE ANGIOGRAFÍA POR RM:

| | PC | TOF | ANGIORM dinámica | ANGIORM con resolución temporal |
|-------------------------------|---|---|---|--|
| 2D/3D | 2D/3D | 2D/3D | 3D | 4D |
| CONTRASTE | NO | SI/NO | SI | SI |
| Supresión tejido estacionario | *** | * | ** | *** |
| VENTAJAS | - No requiere administración de contraste | - Buena resolución espacial | - Estudios multifase - Rápido - Amplia cobertura - Valores flujos lentos - Pocos artefactos | - Útil en situaciones de circulación arterial rápida (flujos) y en las que interesa definir en el tiempo cómo discurre la circulación vascular |
| LIMITACIONES | - Duración prolongada - Artefactos de movimiento y en zonas de turbulencia | - Duración prolongada - Poco sensible a flujos lentos o complejos - Efecto T1 (tumor, hematomas...) | - Moderada resolución espacial y dificultad en la obtención de la imagen pura arterial en la región cerebral. | - Baja resolución espacial |
| APLICACIONES | 2D: - Programación estudios vasculares 3D: - Despiñaje trombosis venosa - Pacientes con contraindicación al contraste (venas y TSA) | 2D: - Programación estudios vasculares 3D: - SIN CIV: Valoración del polígono de Willis - CON CIV: situaciones especiales *Contraindicación al contraste (venas y TSA) | - De elección en patología carótida y vertebral - Aneurismas complejos y aneurismas tratados - Trombosis venosa - Fístulas durales - MAVs | - Fístulas durales - Malformaciones AV - Robo subclavia |

Tabla 1. Técnicas de angiografía por RM

1.- SECUENCIAS PC (Phase Contrast):

A) Principios físicos:

- Utiliza la diferencia de magnetización entre el tejido estacionario y el tejido en movimiento.
- Se basa en la velocidad del flujo y puede aportar información acerca de la dirección del mismo [1].

B) Utilización de contraste:

- Estas técnicas no requieren la administración de contraste.

C) Aspectos reseñables de la adquisición:

- Se pueden realizar secuencias PC bidimensionales (2D) o tridimensionales (3D).
- Se selecciona un umbral de velocidad en función de si el estudio se encuentra dirigido a la valoración de estructuras venosas o arteriales [1, 2].

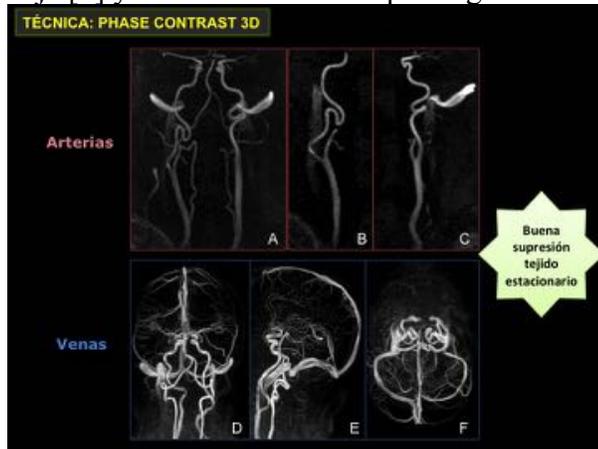
D) Ventajas y limitaciones:

- No emplean contraste, por lo que puede ser una buena opción en pacientes a los que no se les puede administrar el mismo (insuficiencia renal, alergias) [2].
- Muestran una excelente supresión del tejido estacionario.
- Se producen artefactos en los cambios de dirección de los vasos y puede existir pérdida de señal en las regiones de flujo turbulento (como puede ser el bulbo carotídeo) o en tramos horizontales al plano de estudio (bucles y trayectos petrosos y cavernosos).
- La duración de la adquisición es prolongada en los estudios 3D [1, 2].

E) Principal aplicación:

- Las técnicas 2D se emplean como localizadores para la programación de los posteriores estudios angiográficos 3D de cualquier secuencia y así incluir con seguridad las estructuras vasculares de la región anatómica a estudio.
- Las técnicas 3D pueden emplearse en el despistaje de la trombosis venosa cerebral si la sospecha es

baja [5] y en la valoración de patología carotídea en pacientes con contraindicación al contraste [2].



2.- SECUENCIAS TOF (Time of Flight)

A) Principios físicos:

- Utiliza la diferencia de señal del tejido estacionario y del tejido en movimiento.
- Es un tipo de secuencia eco de gradiente potenciada en T1 [1].

B) Utilización de contraste:

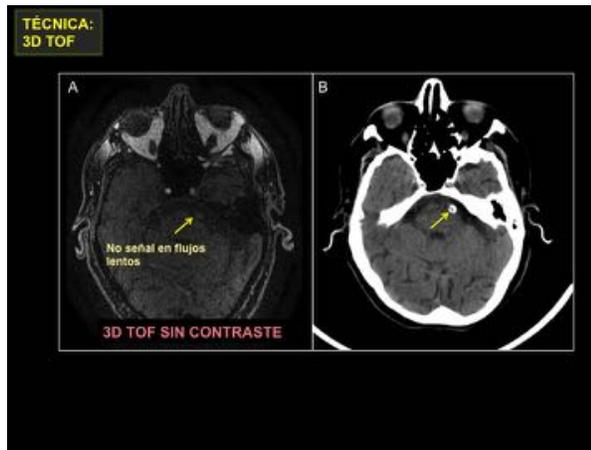
- Estas secuencias pueden ser adquiridas sin y con contraste.

C) Aspectos reseñables de la adquisición:

- Se pueden realizar secuencias TOF bidimensionales (2D) o tridimensionales (3D).
- Para identificar venas o arterias es necesaria la colocación de bandas de saturación para anular las señales que se dirigen en dirección contraria a las mismas [2].
- La intensidad de señal máxima, especialmente en las secuencias 2D, ocurre en los vasos perpendiculares al plano de imagen y, por tanto, puede existir cierta pérdida de señal en los vasos o trayecto que discurren paralelos al plano de estudio [1].
- Los datos se adquieren mediante la planificación de 2 o 3 secciones volumétricas que se solapan para generar la imagen final. Por los efectos de saturación el tamaño máximo de cada sección es limitado. La adquisición de 2-3 secciones, en lugar de una, mejora la detección de los flujos lentos, minimiza el efecto de saturación y permite aumentar la cobertura de la región a estudio [3].

D) Ventajas y limitaciones:

- No suprime completamente el tejido estacionario.
- Es poco sensible a flujos lentos o complejos por lo que tiene limitaciones en casos de vasos periféricos



y puede sobreestimar las estenosis.

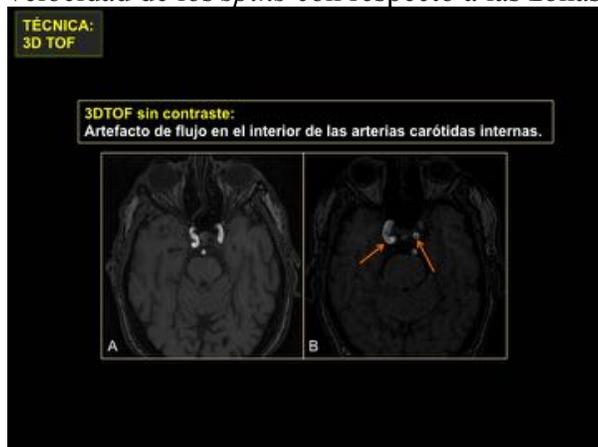
- Dado que son secuencias sensibles al efecto T1 carecen de precisión para diferenciar flujo de aquello hiperintenso en T1 como puede ser el trombo; y se dificulta su análisis en la vecindad de hematomas subagudos [1].

- Pueden producirse artefactos por el solapamiento de las secciones. Un vaso que cruza más de una sección puede no visualizarse completamente. Así mismo si el solapamiento es incorrecto pueden



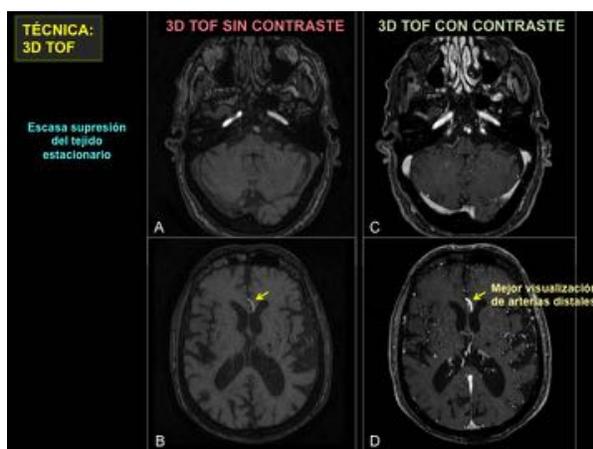
simularse la presencia de aneurismas o estenosis [1, 3].

- A veces se ocasionan artefactos con pérdida de señal en la región central de los vasos por la mayor velocidad de los spins con respecto a las zonas periféricas.



- La duración de la adquisición es prolongada y la cobertura de estudio relativamente limitada.

- Se pueden adquirir secuencias 3D TOF con contraste para mejorar la visualización de arterias distales y también para valorar simultáneamente el parénquima [4]. En los estudios 3D TOF con contraste no existe el problema de saturación y no es necesario, por tanto, realizar varias secciones, se puede obtener



una única sección de mayor tamaño.

- Estas técnicas muestran la mejor resolución espacial dentro de las secuencias de ARM y permiten su valoración con las técnicas de post-proceso (*maximum intensity projection*–MIP-, *volumen rendering* –VR-) con una buena calidad de imagen.

E) Principal aplicación:

- La adquisición 2D TOF se puede emplear como localizadores para la programación de los estudios vasculares 3D. Su empleo como técnica angiográfica sin contraste está en desuso por sus limitaciones frente al resto de técnicas [2].

- La secuencia 3D TOF sin contraste es la técnica de elección en el estudio del polígono de Willis y también es útil en el abordaje diagnóstico de las fistulas durales [1, 2].

- La secuencia 3D TOF con contraste se emplea para mejorar la visualización de las arterias periféricas, en caso de aneurismas complejos (gigantes, tratados con stent, trombosados), y en el estudio de las malformaciones vasculares [6].

- Estas técnicas pueden emplearse, con sus limitaciones, como herramienta en la valoración de la patología carotídea en pacientes con contraindicación al contraste [2].

3.- SECUENCIA DE ARM DINÁMICA CON CONTRASTE INTRAVENOSO (CIV).

A) Principios físicos:

- La imagen vascular se obtiene basándose en el acortamiento del T1 de la sangre por la presencia del contraste. Emplea secuencias eco de gradiente 3D.

B) Utilización de contraste:

- Se adquieren siempre con contraste.

C) Aspectos reseñables de la adquisición:

- Para su realización es imprescindible la sincronización de la obtención de la imagen con el pico vascular del contraste. Esto se consigue mediante el relleno central del espacio k (diseñado para la obtención de la información de la resolución de contraste en los primeros segundos de la adquisición y la información de la resolución espacial a continuación) [7].

1. Programación del estudio con localizadores PC 2D.
2. Existen varias maneras de realizar esta técnica: con o sin máscara pre-contraste para la sustracción posterior. Se pueden emplear tiempos de repetición (TR) cortos para disminuir la señal del tejido estacionario.
3. Optimización de la resolución espacial versus tiempo (grosor de corte, *Field Of View*-FOV-)
4. Inyección de contraste: generalmente se emplean dosis dobles (una dosis y media), a una velocidad de 2cc/s.
5. Detección de bolo: se puede realizar mediante la colocación de un ROI en el cayado aórtico (en el

caso del estudio de troncos supra-aórticos –TSA-) o más exacto y empleado con técnicas de fluoroscopia a tiempo real.

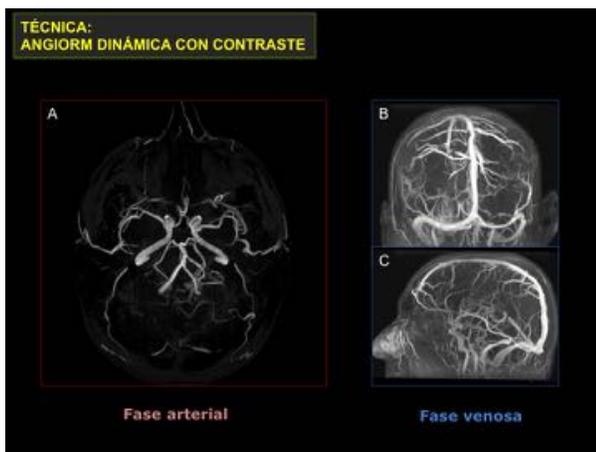
6. Posibilidad de estudio multifase.

D) Ventajas y limitaciones:

- No depende del flujo, se producen menos artefactos, es rápida, fácil de realizar, permite valorar regiones anatómicas grandes.
- Se puede adquirir en fase arterial y/o venosa.
- Buena supresión del tejido estacionario [1].
- Su aplicación intracraneal clásicamente se encuentra limitada por la corta ventana de tiempo entre la fase arterial y venosa en la circulación cerebral lo que dificulta la obtención de la imagen arterial en un área de estudio amplia con una aceptable resolución espacial [6]. Por tanto, existe cierto compromiso en la resolución espacial al intentar conseguir el equilibrio entre una adecuada cobertura y la velocidad de adquisición.
- Los inconvenientes principales de la ARM son los artefactos de movimiento respiratorio o de deglución que pueden degradar las imágenes, y los artefactos asociados a metal de cirugías cercanas o *stents* que pueden anular la señal en el interior de la luz del vaso.

E) Principal aplicación:

- Se considera la técnica de elección en el estudio de la patología vascular, tanto arterial como venosa, y especialmente en la patología carotídea y vertebral.
- Es especialmente útil en el diagnóstico y seguimiento de las malformaciones arterio-venosas (MAVs) y fistulas.



*** Un subtipo especial de ARM con contraste son las **técnicas dinámicas 4D (time-resolved imaging) con resolución temporal** que garantizan la adquisición adecuada en situaciones de circulación arterial muy rápida como sucede por ejemplo en las fistulas durales:

- Se adquieren volúmenes en intervalos de tiempo variables (entre 1 y 5 segundos) durante el tiempo seleccionado después de la inyección de contraste.
- No requiere técnicas de detección de bolo.
- Selección del plano de adquisición, grosor de corte y del resto de parámetros priorizando la resolución espacial o temporal según los casos.
- Primero adquiere una máscara y realiza una sustracción automática en cada una de las fases, por lo que suprime muy bien el tejido estacionario y se puede realizar después de haber administrado contraste para otros estudios dinámicos (con una segunda inyección de contraste).
- Con contraste: generalmente se administra dosis simple a 2cc/s.

- Se puede visualizar la secuencia vascular temporal del volumen completo adquirido y también realizar el post-proceso de las fases de interés [8, 9].
- Principal aplicación:
 - Estudio de MAVs y fistulas durales. Facilita la detección de venas de drenaje precoz y el aporte arterial.
 - Es de utilidad en aquellas patologías en las que es importante definir en el tiempo cómo discurre la circulación vascular, como sucede en el robo de la arteria subclavia u otros flujos



invertidos [8, 9].

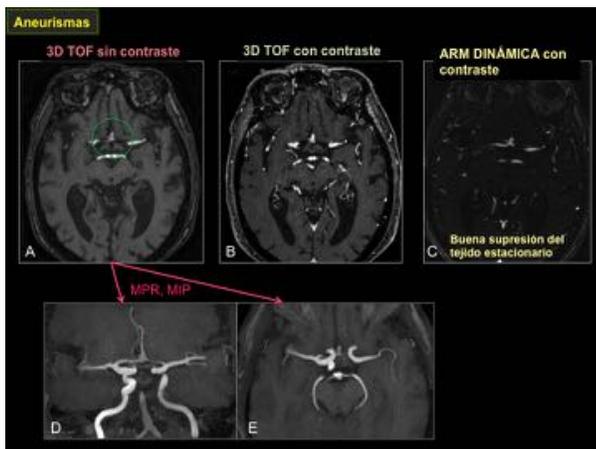
SELECCIÓN DE TÉCNICAS EN DIFERENTES ESCENARIOS CLÍNICOS:

1.- ANEURISMAS

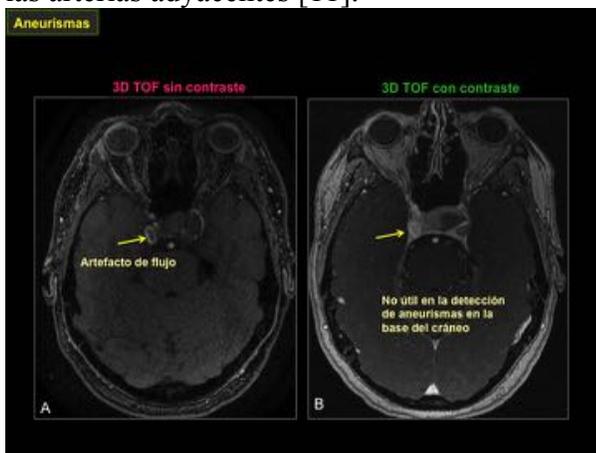


A) Diagnóstico:

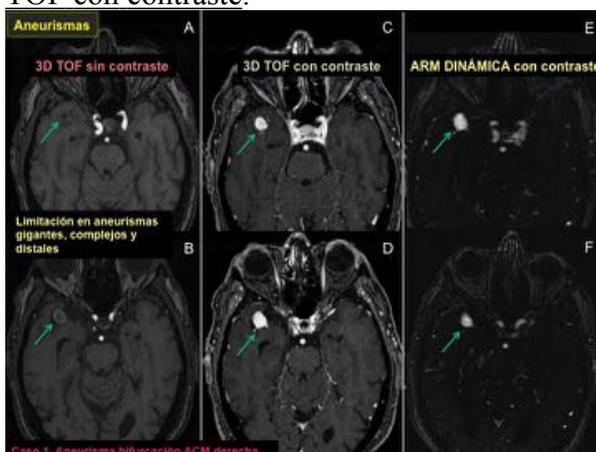
- La técnica de elección ante la sospecha de patología aneurismática intracraneal es la secuencia 3D TOF sin contraste intravenoso. Puede detectar aneurismas de hasta 2mm de tamaño. Se ha demostrado que las técnicas de ARM con contraste no muestran diferencias en la detección de aneurismas [10].



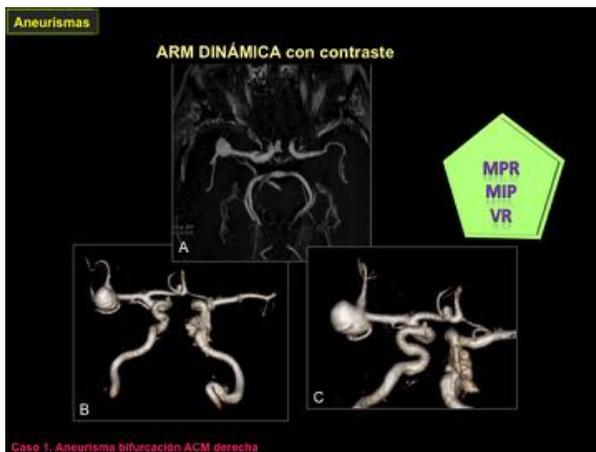
La secuencia 3D TOF con contraste se encuentra especialmente limitada en los aneurismas localizados cerca de la base del cráneo, ya que el realce de las venas regionales puede interferir en la valoración de las arterias adyacentes [11].



- En el caso de los aneurismas gigantes la secuencia 3D TOF sin contraste no es la adecuada por la posible contaminación T1 debido a la presencia de trombo o hemorragia perianeurismática (que pueden ser malinterpretados como señal de flujo). También por su limitación en flujos complejos o lentos que ocurren en el interior de estos aneurismas [1]. En estos casos se realiza secuencia ARM dinámica y/o 3D TOF con contraste.



Las secuencias dinámicas con contraste delimitan mejor el aneurisma por su mayor contraste intravascular.



Son también más exactas en la valoración de la luz residual en aneurismas con trombo asociado (ya que eliminan la contaminación T1), por lo que muchos autores la consideran de elección en estos aneurismas sobre la secuencia 3D TOF con contraste [6].

- La secuencia 3D TOF con contraste tiene mejor resolución espacial que la ARM dinámica lo que es de utilidad en la valoración de ramas arteriales distales, lugar de asiento de los aneurismas micóticos [6].

B) Seguimiento de aneurismas tratados:

Los aneurismas intracraneales pueden reabrirse y crecer tras ser tratados (especialmente cuando son tratados de forma endovascular). Estos cambios se pueden diagnosticar de forma precoz (en los primeros 6 meses postratamiento) o de forma tardía.

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 [12, 13].

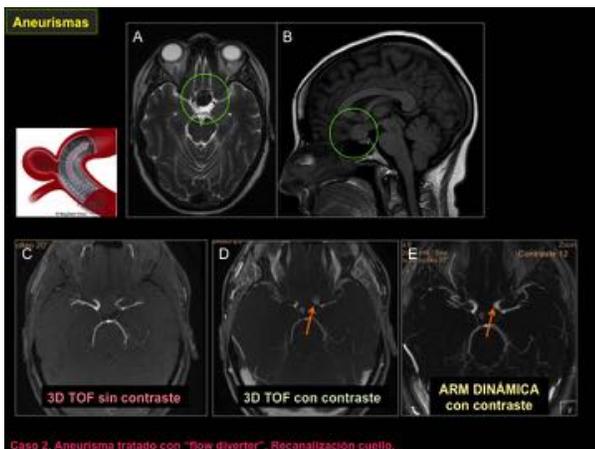
Debido a su alta resolución espacial la angiografía con sustracción digital (ASD) se considera la técnica de imagen de referencia, aunque tiene un índice de complicaciones del 0,43% [12]. Las técnicas no invasivas son cada vez más empleadas para reducir y, en algunos casos eliminar, la necesidad de seguimiento con angiografía en los aneurismas tratados [10,13].

- Tratamiento endovascular:

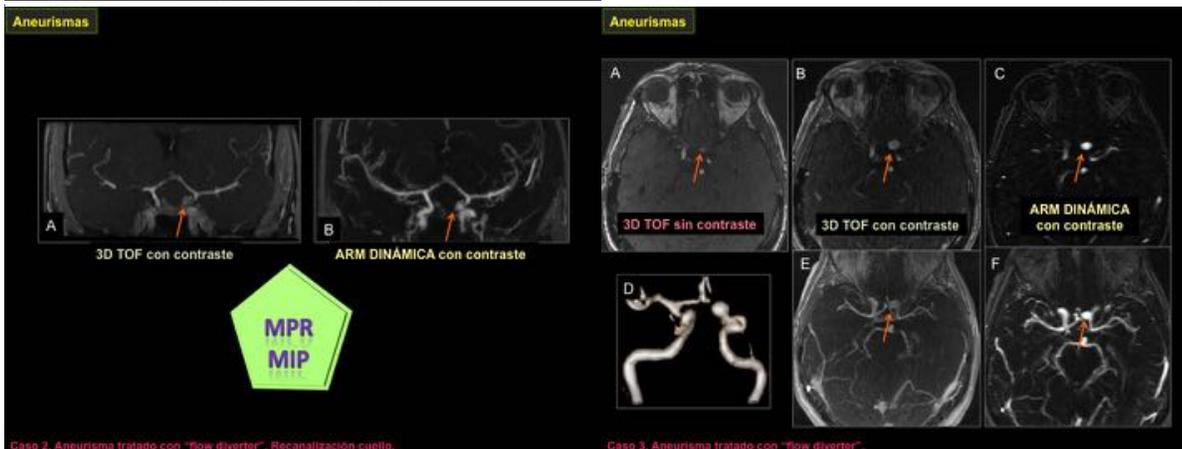
Para el seguimiento de aneurismas embolizados es imprescindible aportar información sobre el material de embolización (coils o stents) y su localización, ya que estos materiales metálicos pueden impedir la evaluación adecuada de los vasos adyacentes, ni siquiera con administración de contraste [13]. También puede ser de interés conocer la técnica de embolización empleada (coils, modificadores de flujo, tratamientos combinados...) [14].

- 3D TOF sin contraste es la secuencia de elección y puede detectar: persistencia del cuello aneurismático, cierre incompleto (lo que sería indicación de nuevo tratamiento endovascular) o recanalización del aneurisma [10].

- El empleo de técnicas de ARM con contraste aporta la teórica ventaja de solventar las zonas de flujo lento y por tanto mejor detección de aneurisma residual o su recanalización [15], aunque hay autores que no demuestran este posible valor adicional de las técnicas con contraste [10, 13].



Caso 2. Aneurisma tratado con "flow diverter". Recanalización cuello.



Caso 2. Aneurisma tratado con "flow diverter". Recanalización cuello.

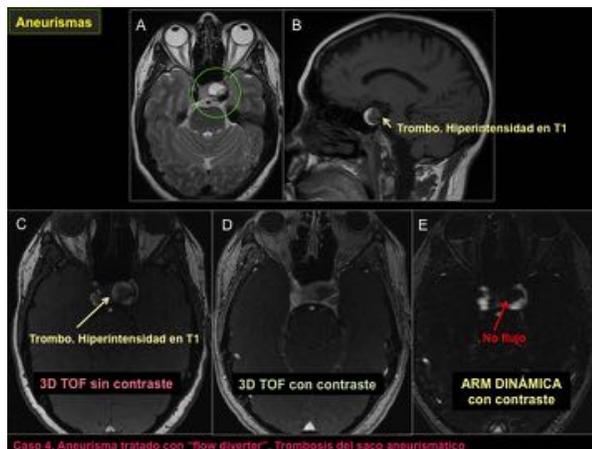
Caso 3. Aneurisma tratado con "flow diverter".



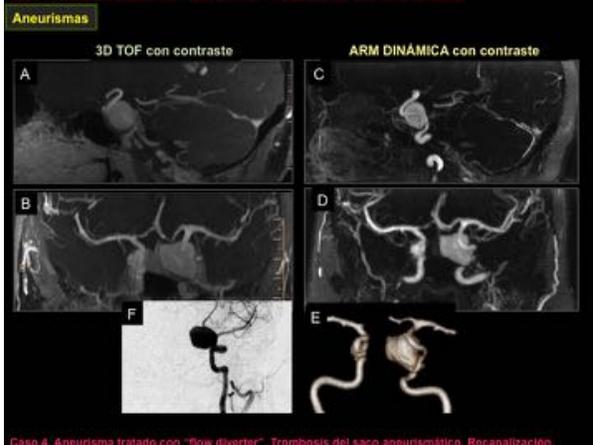
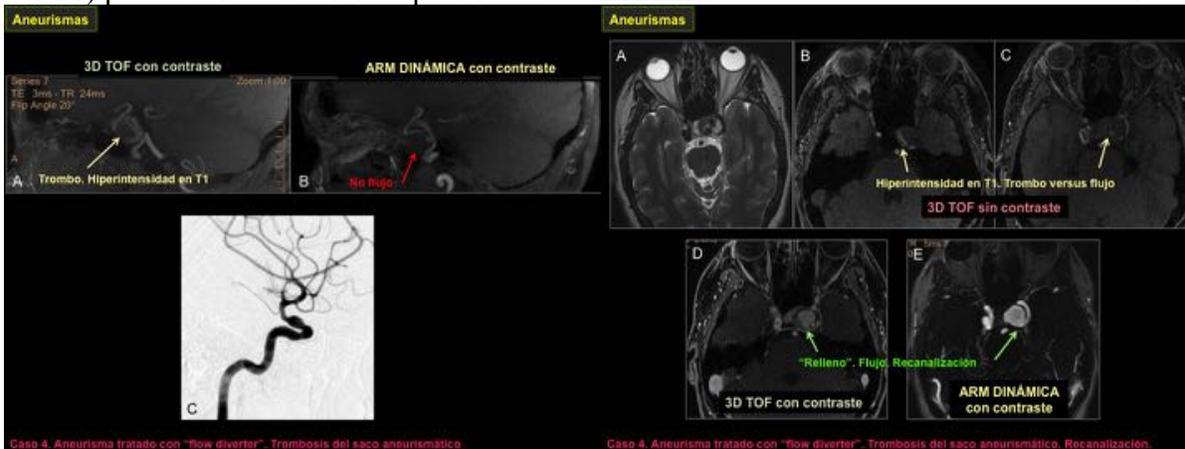
Caso 3. Aneurisma tratado con "flow diverter". Evolución. Resto cuello.

- La secuencia 3D TOF sin contraste resulta insuficiente en los siguientes supuestos, en los que deberá completarse con ARM con contraste (en los que la ARM dinámica con contraste parece superior al 3D TOF con contraste) [13]:

- En zonas de flujo enlentecido o complejo.
- Aneurismas gigantes (pueden presentar trombosis entre las espiras, artefactos por las espirales y flujo lento en el cuello).
- Cuando existen artefactos producidos por el material de embolización.
- En aneurismas trombosados ya que la hiperintensidad del trombo subagudo (por el acortamiento



del T1) puede conducir a falsos positivos.



• Consideraciones especiales:

- En las ARM con contraste en ocasiones se puede observar realce en la periferia del aneurisma por los vasa vasorum adventiciales o por el trombo organizado [13].
- Es aconsejable utilizar TE cortos (en torno a 3) en las secuencias 3D TOF para minimizar el artefacto de los coils [10]. Los coils suelen estar compuestos de aleaciones de platino y causan poca distorsión del campo magnético local [13].
- En los casos en los que se ha utilizado endoprótesis, las técnicas de ARM pueden provocar artefactos que simulen estenosis e impidan valorar correctamente el cuello del aneurisma y por ello, para su control muchas veces se prefiere la angiografía convencional [12, 13]. Algunos autores recomiendan la realización de una ARM precoz tras el tratamiento endovascular, no sólo para detectar posibles recanalizaciones tempranas, si no también para valorar si el artefacto que condiciona el material empleado permitirá o no su control

posterior con técnicas de ARM [13].

- Dependiendo de la composición y localización de la endoprótesis ésta puede interferir de forma más o menos significativa en la visualización de la señal del flujo y dar lugar a pseudo-oclusiones. [12, 13]. Los materiales compuestos de nitinol son los que menos artefactos producen en los estudios de ARM; en cambio, los que contienen acero inoxidable impiden la valoración del aneurisma tratado mediante ARM por el importante artefacto que ocasiona. Así mismo hay que conocer que el stent tipo “Leo” ocasiona un artefacto lineal en el interior del vaso debido al marcador de platino que no hay que confundir con una estenosis secundaria [15].

2.- TROMBOSIS VENOSA

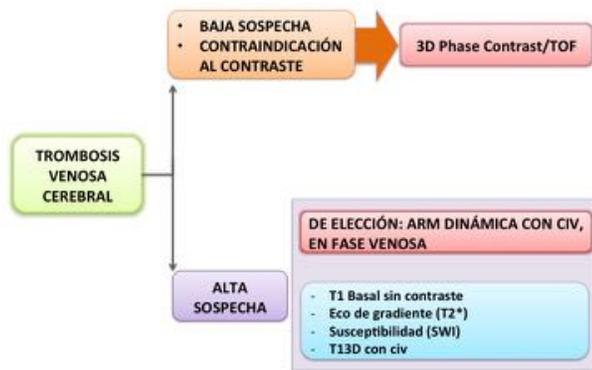
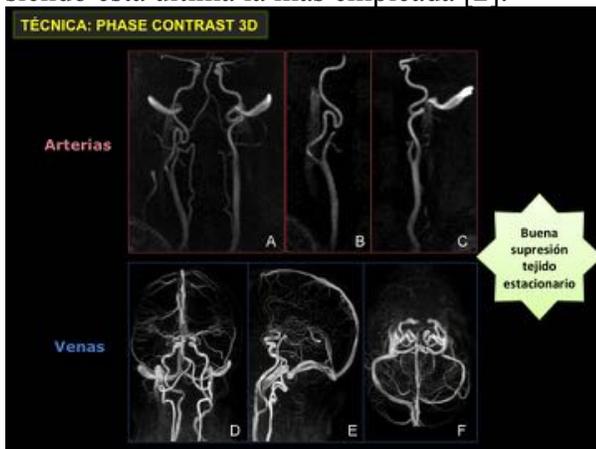
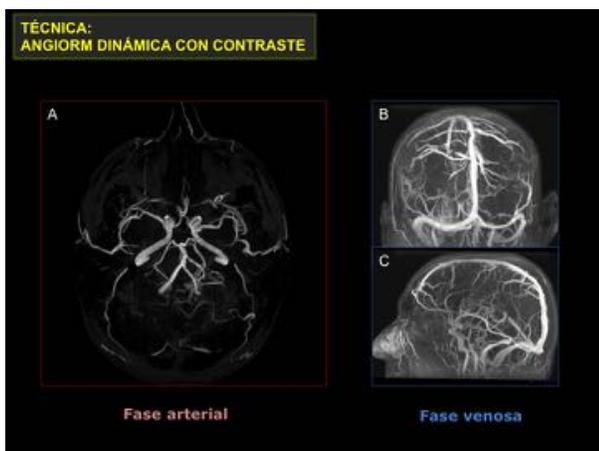


Tabla 3. Protocolos de estudio. Trombosis venosa

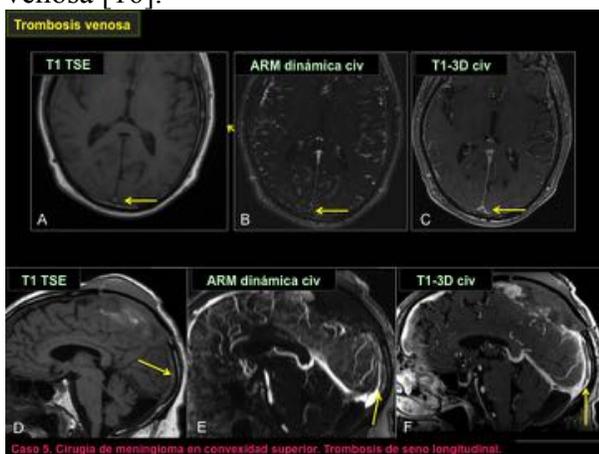
- Para el despistaje de trombosis venosa cerebral donde la sospecha clínica es baja o en los casos en que existe contraindicación al contraste pueden realizarse secuencias 3D TOF o 3DPC sin contraste [5], siendo esta última la más empleada [2].



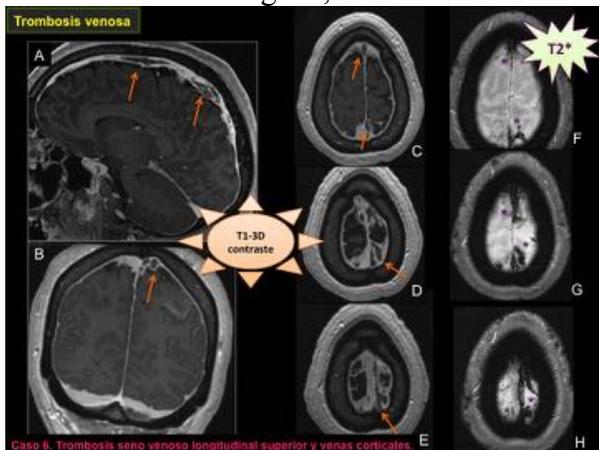
- Si existe alta sospecha debe realizarse ARM dinámica con contraste, en fase venosa (venografía por RM -VMR-).



- Es aconsejable realizar una secuencia T1 basal sin contraste para valorar la hiperintensidad del trombo.
- Suele ser de utilidad adquirir una secuencia 3D T1 post-contraste que valora con precisión la presencia y extensión de los defectos de repleción incluso en la venas corticales. Además es complementaria a la ARM dinámica en las ocasiones en las que en la adquisición de ésta no se ha logrado una adecuada fase venosa [16].



- El diagnóstico de la trombosis aislada de venas corticales es un reto debido a su variabilidad anatómica y a que la trombosis de venas pequeñas es difícil de detectar en los estudios de VMR. En estos casos pueden ser de ayuda las secuencias eco de gradiente (T2*) que permiten visualizar el trombo muy hipointenso en el interior de la vena. Hay que tener en cuenta que estos cambios en T2* pueden persistir más allá de la fase aguda, meses e incluso años tras el diagnóstico y tratamiento [17].



- La secuencia de susceptibilidad (SWI) puede ser útil al demostrar la ectasia venosa y el flujo colateral así como la hipointensidad prominente con el efecto de florecimiento (“*blooming*”) por la presencia del

trombo en las estructuras venosas implicadas [18]. Algunos estudios han demostrado su superioridad frente a las técnicas convencionales en la detección del trombo venoso en los estadios precoces, especialmente en los tres primeros días (en los cuales aún no se muestra hiperintenso en las secuencias T1). También en el diagnóstico diferencial de trombosis versus hipoplasia (senos laterales) y en la trombosis aislada de venas corticales. Es recomendable el empleo de esta secuencia de forma complementaria a la RM convencional y 3D T1 con contraste y a la VMR [16].

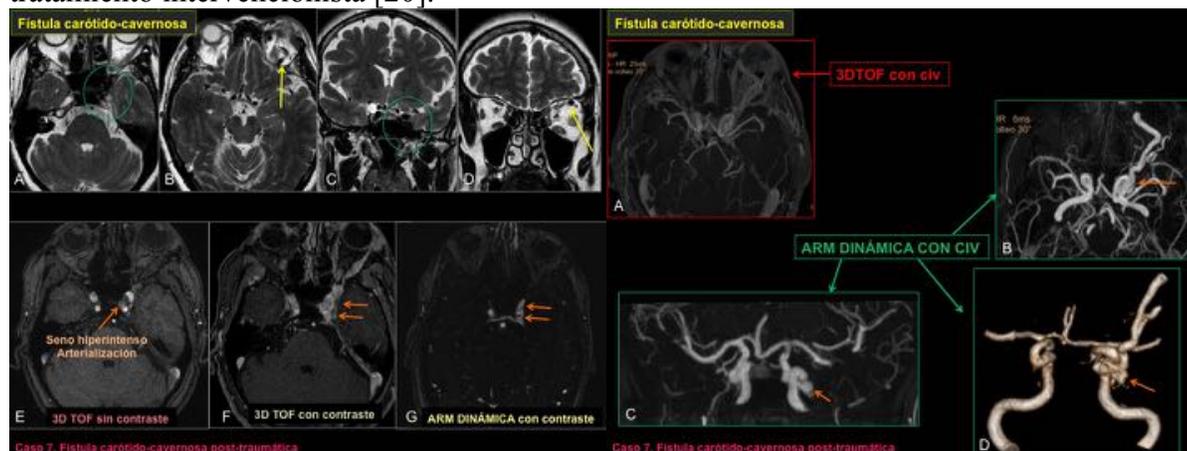
3.- MALFORMACIONES VASCULARES INTRACRANEALES



a) FÍSTULAS CARÓTIDO-CAVERNOSAS Tabla 3. Protocolos de estudio. Trombosis venosa

Aunque la ASD continua siendo el *gold-standard* para su diagnóstico y valoración, las técnicas de RM convencional con ARM son de utilidad como primera aproximación diagnóstica ante la sospecha clínica de fístula carótido-cavernosa.

- Las secuencias morfológicas, especialmente las secuencias T2 de alta resolución, pueden demostrar el ensanchamiento del seno, la dilatación de la vena oftálmica superior y la proptosis ocular [19].
- Los estudios de ARM deben incluir secuencias 3D TOF sin contraste para valorar la arterialización del seno cavernoso (hiperintensidad patológica). La secuencia 3D TOF con contraste puede ser eficaz en la delimitación de las estructuras venosas pero no en la valoración hemodinámica del flujo en los senos cavernosos que realzarán de forma homogénea [11].
- Las secuencias de ARM dinámica con contraste, especialmente las 4D, son especialmente útiles al demostrar la fístula por el relleno del seno en fase arterial y valora también la implicación de las diferentes vías de drenaje. Así puede aportar información hemodinámica relevante para planificación del tratamiento intervencionista [20].





b) FÍSTULAS DURALES ARTERIOVENOSAS

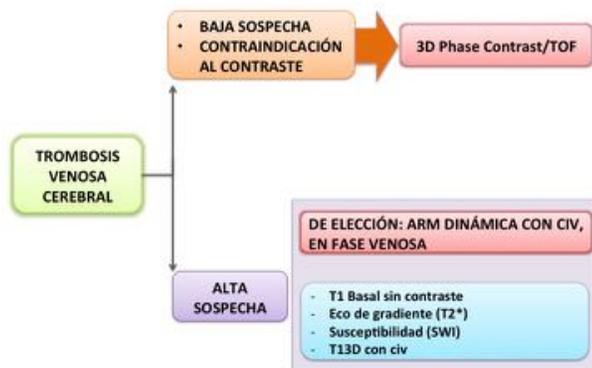
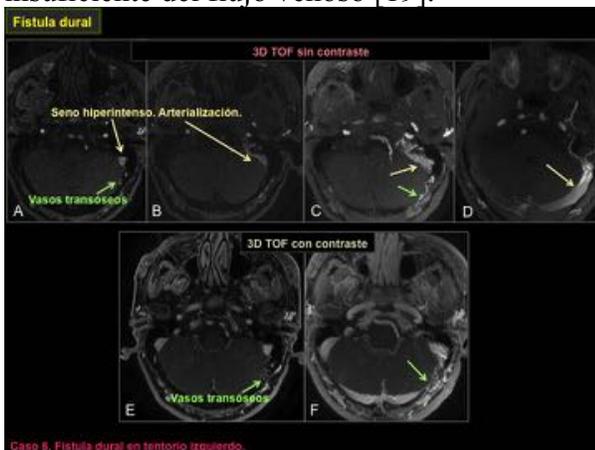


Tabla 3. Protocolos de estudio. Trombosis venosa

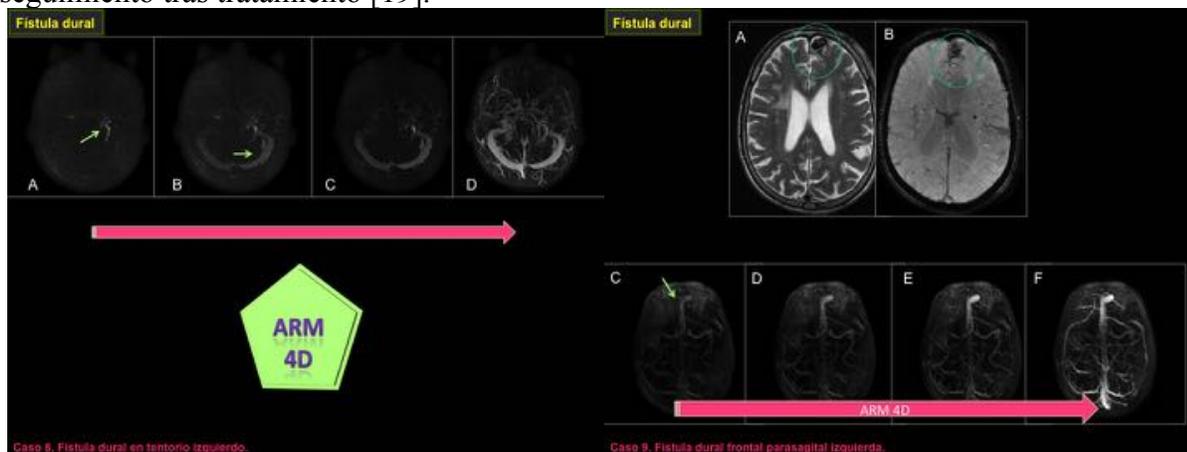
El diagnóstico y clasificación de las fístulas durales arteriovenosas se realiza mediante ASD que valora la opacificación precoz del seno dural y la existencia o no de reflujo a las venas corticales.

- Las técnicas 3D TOF sin contraste han demostrado su sensibilidad en el diagnóstico de las fístulas durales al detectar los signos de arterialización del seno implicado que aparece hiperintenso e incluso puede detectar vasos transóseos implicados en la fístula. Tiene limitaciones si existe trombosis asociada, no es precisa en la localización exacta de la fístula y puede tener falsos positivos la saturación insuficiente del flujo venoso [19].



- El empleo de estudios de ARM con resolución temporal (4D) para la detección de las fístulas durales

puede ser útil, especialmente en equipos en los que se puede conseguir una adecuada relación señal-ruido y resolución espacial, proporcionando incluso una aproximación de su clasificación. El sacrificio de la resolución espacial a favor de la temporal limita la detección de las arterias aferentes a la fístula o el reflujo a pequeñas venas corticales. Estas técnicas sí son capaces de demostrar el relleno venoso precoz y la implicación o no de las venas corticales/subaracnoideas [21]. También pueden ser útiles en el seguimiento tras tratamiento [19].



- La secuencias morfológicas T2 de alta resolución pueden mostrar las posibles complicaciones asociadas y otros signos como el aumento de vacíos de flujo de vasos dures o leptomenígeos y ectasias venosas [19].

- Algunos estudios recientes proponen el empleo de las secuencias de susceptibilidad (SWI) en las fistulas dures para evaluar la presencia de drenaje venoso retrógrado cortical [22].

c) MALFORMACIONES ARTERIO-VENOSAS (MAVs)

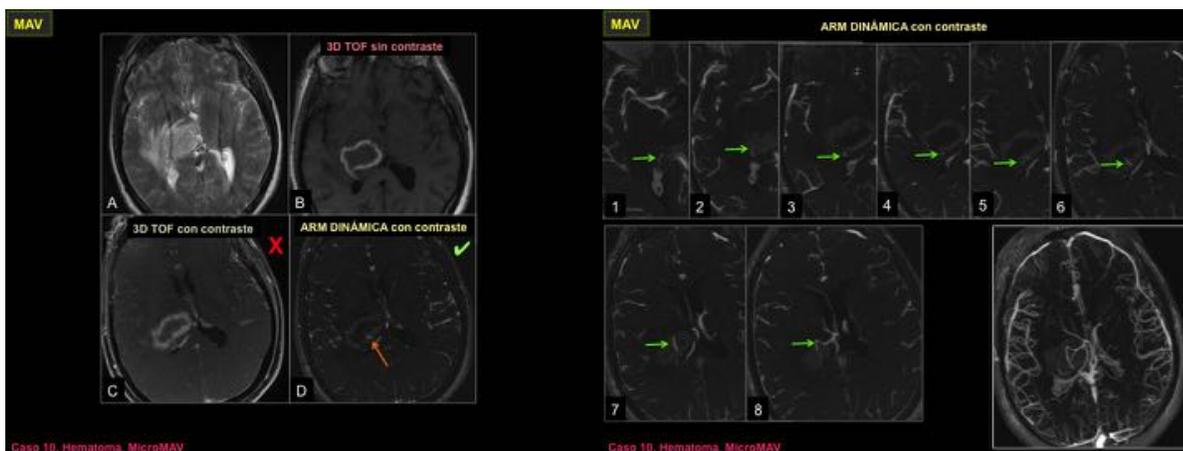


Tabla 5. Protocolos de estudio. MAVs

Diagnóstico:

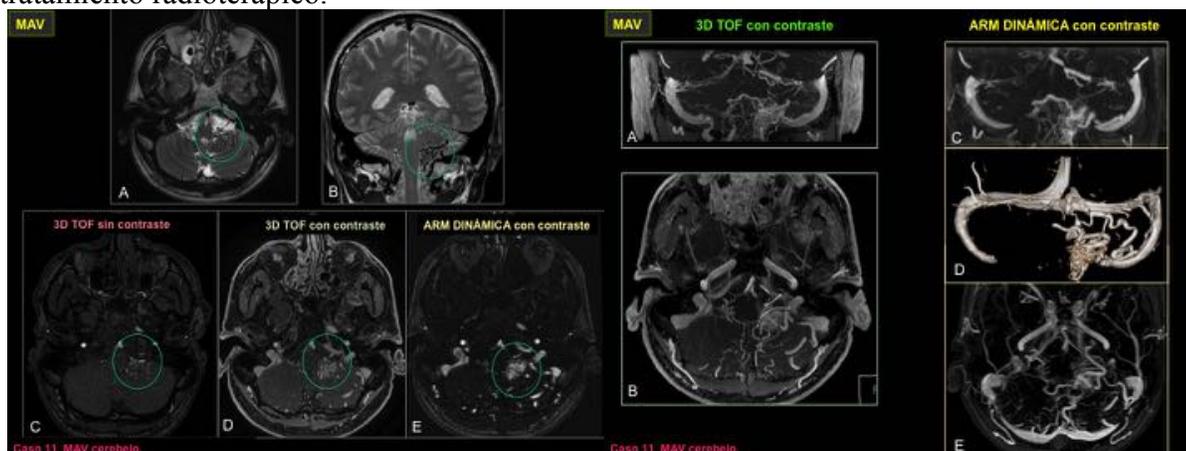
- Se realizan secuencias de ARM con contraste (dinámica +/- 3D TOF). A diferencia de las fistulas en las que es necesario demostrar la arterialización del seno dural, en el caso de las MAVs el estudio se adquiere en una fase arterial tardía para delimitar bien el nidus y el drenaje venoso (superficial, profundo o mixto) [23].

Cuando existe una lesión hemorrágica no se realiza la secuencia 3D TOF ya que la hiperintensidad del hematoma por el efecto T1 enmascara la visualización de los componentes de la MAV.



- La ARM dinámica con resolución temporal (4D) también puede ser de utilidad al aportar información hemodinámica [19, 24].

- Las secuencias T2 de alta resolución permiten valorar la relación del nidus con el parénquima cerebral, diagnosticar sus posibles complicaciones (isquemia, hemorragia) y sirve además de guía para el tratamiento radioterápico.



B) Seguimiento tratadas:

El seguimiento se realiza con ARM y cuando en ésta se sospecha que la MAV está cerrada se realiza ASD para su confirmación [25].

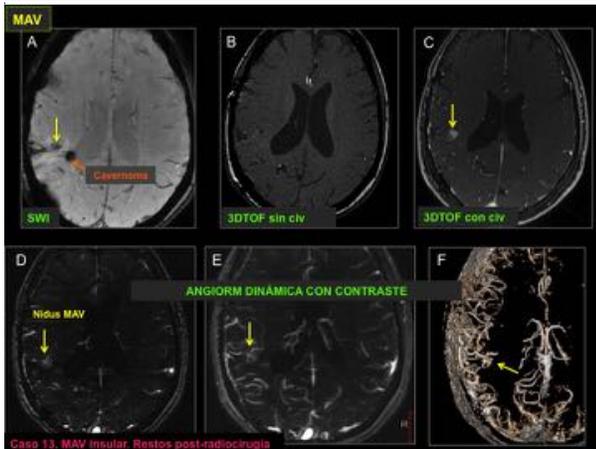
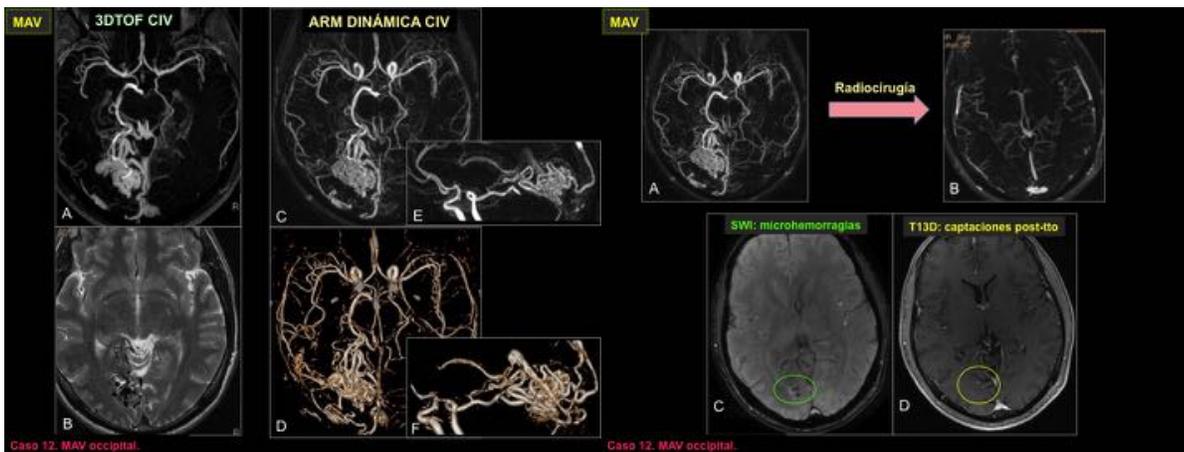
- MAVs tratadas quirúrgicamente o por vía endovascular:
Protocolo de imagen similar al diagnóstico.

- MAVs tratadas con radiocirugía:

Se adquieren secuencias morfológicas convencionales (T1, T2 y Difusión) para descartar complicaciones.

Se realiza ARM dinámica con contraste donde se evidenciará disminución progresiva de tamaño del nidus y de la arteria aferente, siendo lo último en desaparecer la vena de drenaje.

No se emplea la secuencia 3D TOF con contraste ya que al no saturar el tejido estacionario las captaciones por la rotura de barrera hematoencefálica secundarias a la radioterapia pueden sobreestimar el nidus residual. En este caso se emplean secuencias T13D con contraste para valorar dichas áreas de realce post-RT [25, 26].



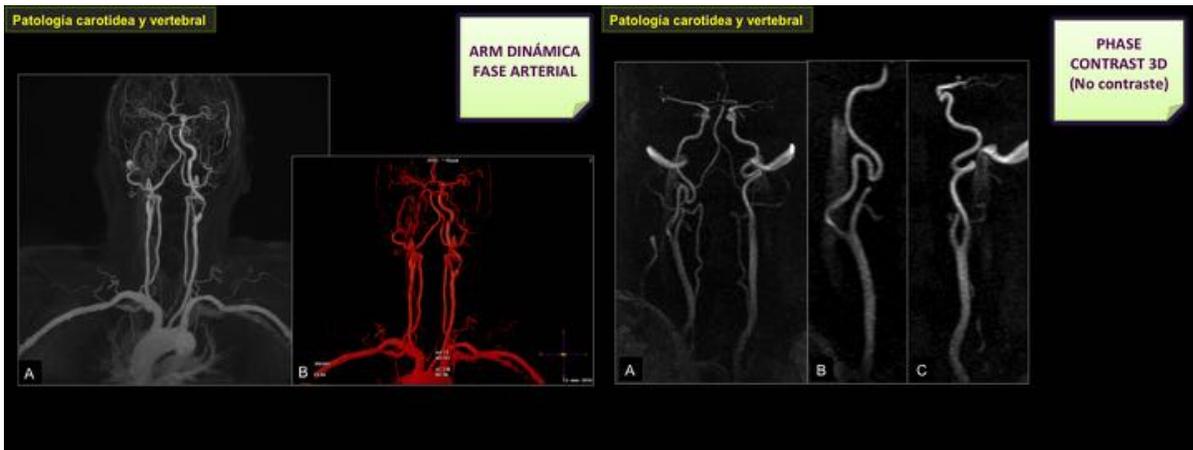
* En el seguimiento de las MAVs tratadas la ARM con resolución temporal 4D también puede ser empleada como herramienta de imagen no invasiva [26].

4.- PATOLOGÍA DEL SISTEMA CAROTÍDEO Y VERTEBRAL

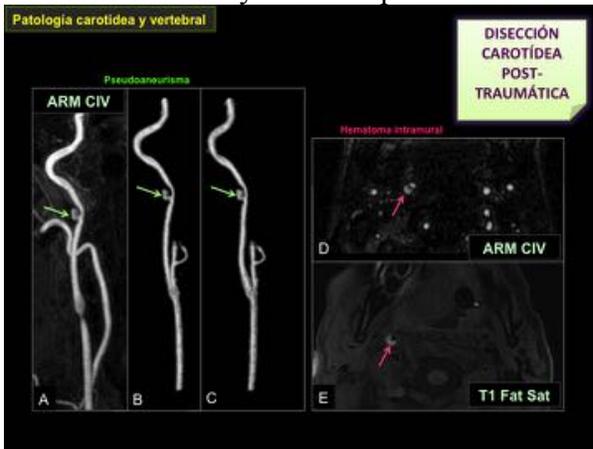


Tabla 6. Protocolos de estudio. Patología carotídea y vertebral

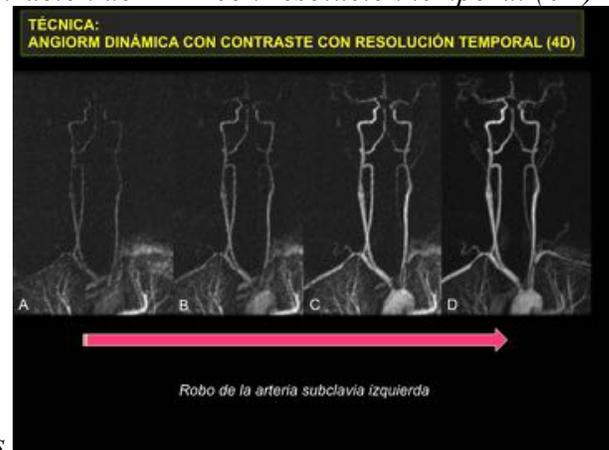
- La técnica de elección en el estudio de la patología del sistema carotídeo y vertebral es la ARM dinámica con contraste, en fase arterial. Las secuencias 3D TOF y PC pueden emplearse como alternativa en aquellos pacientes en los que existe contraindicación al contraste [2].



- En la patología aterosclerótica esta técnica puede sobreestimar las estenosis, especialmente cuando existe una pseudooclusión [7].
- En caso de sospecha de disección arterial debe realizarse una secuencia T1 con supresión grasa para la detección del hematoma intimal, teniendo en cuenta que éste se mostrará hiperintenso en T1 desde el 7º día y durante aproximadamente 2 meses [1, 28].



- Algunos estudios han demostrado la utilidad de la ARM con resolución temporal (4D) para la valoración de los vasos del cuello, ya que aporta información anatómica y hemodinámica [26]. Esto puede ser de interés en patología como el robo de la arteria subclavia:
 - *El flujo inverso en la arteria vertebral ipsilateral producirá una ausencia de señal en dicho vaso en las secuencias 3DTOF (anulada por las banda de saturación superior) [1, 2]. En este escenario también puede ser útil la realización de ARM con resolución temporal (4D)*



para demostrar los cambios hemodinámicos.

“Y PARA CONCLUIR ESTA APROXIMACIÓN A LAS TÉCNICAS DE RM Y SUS PRINCIPALES APLICACIONES PRÁCTICAS.... RECORDAR LA IMPORTANCIA DE UN EMPLEO CORRECTO DE LAS TÉCNICAS DE POST PROCESADO QUE PERMITEN LAS ADQUISICIONES 3D (MPR, MIP, VR)... SIN OLVIDAR EL IMPRESCINDIBLE ANÁLISIS MINUCIOSO DE LAS IMÁGENES FUENTE Y LA CORRELACIÓN CON LA IMAGEN MORFOLÓGICA”

Imágenes en esta sección:

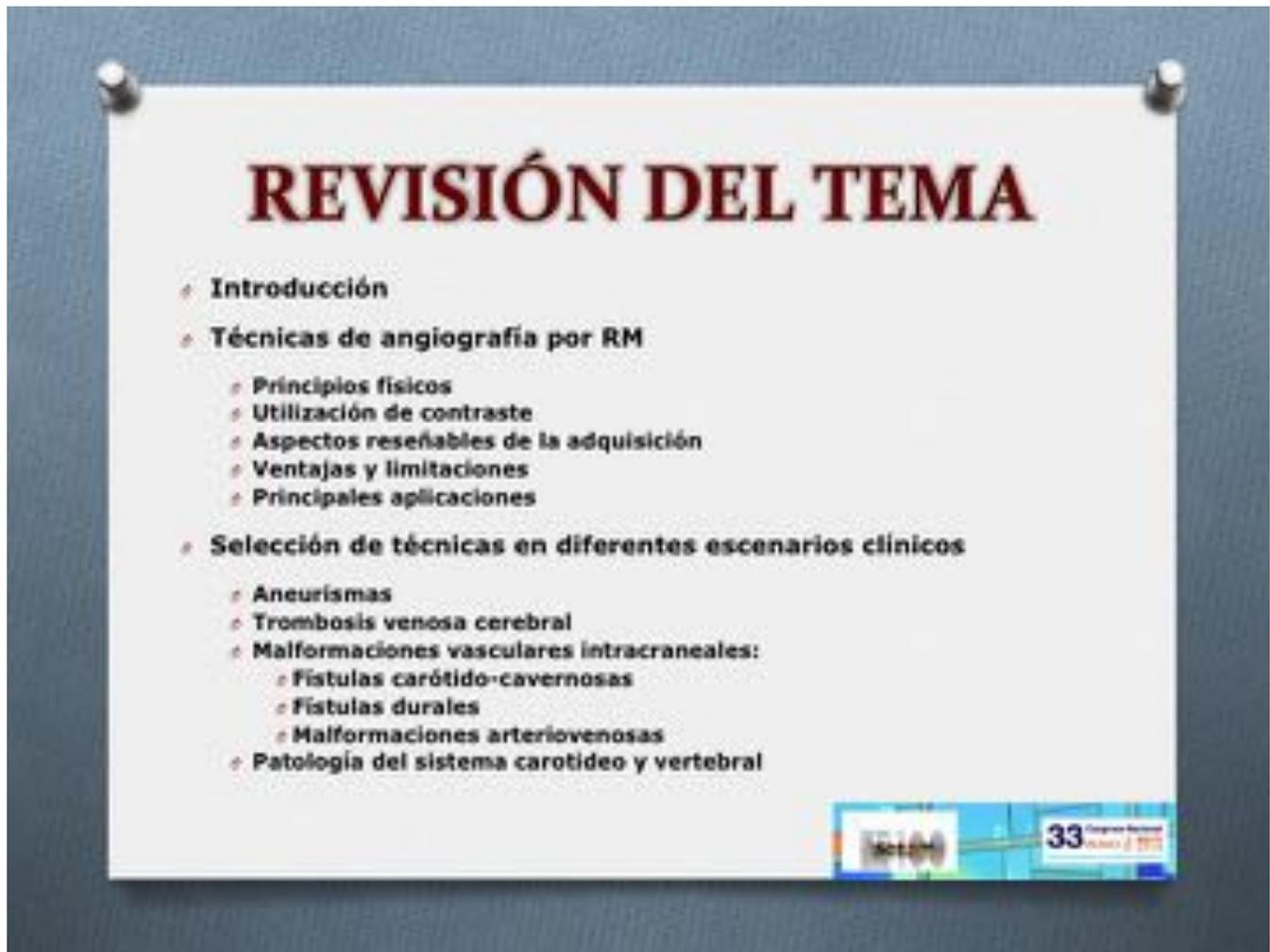


Fig. 2: Índice

| | PC | TOF | ANGIORM <i>dinámica</i> | ANGIORM <i>con resolución temporal</i> |
|-------------------------------|--|---|--|--|
| 2D/3D | 2D/3D | 2D/3D | 3D | 4D |
| CONTRASTE | NO | SI/NO | SI | SI |
| Supresión tejido estacionario | *** | * | ** | *** |
| VENTAJAS | - No requiere administración de contraste | - Buena resolución espacial | - Estudios multifase - Rápida - Amplia cobertura - Valora flujos lentos - Pocos artefactos | - Útil en situaciones de circulación arterial rápida (fístulas) y en las que interesa definir en el tiempo cómo discurre la circulación vascular |
| LIMITACIONES | - Duración prolongada - Artefactos de movimiento y en zonas de turbulencia | - Duración prolongada - Poco sensible a flujos lentos o complejos - Efecto T1 (trombo, hematomas...) | - Moderada resolución espacial y dificultad en la obtención de la imagen pura arterial en la región cerebral. | - Baja resolución espacial |
| APLICACIONES | 2D: - Programación estudios vasculares 3D: - Despistaje trombosis venosa - Pacientes con contraindicación al contraste (venas y TSA) | 2D: - Programación estudios vasculares 3D: • SIN CIV: Valoración del polígono de Willis • CON CIV: situaciones especiales *Contraindicación al contraste (venas y TSA) | - De elección en patología carotídea y vertebral - Aneurismas complejos y aneurismas tratados - Trombosis venosa - Fístulas duresales - MAVs | - Fístulas duresales - Malformaciones AV - Robo subclavia |

Tabla 1. Técnicas de angiografía por RM

Fig. 3: Tabla comparativa de las técnicas de ARM

TÉCNICA: PHASE CONTRAST 3D

Arterias



A

B

C

Venas



D

E

F

Buena
supresión
tejido
estacionario

Fig. 4: Phase Contrast 3D

**TÉCNICA:
3D TOF**

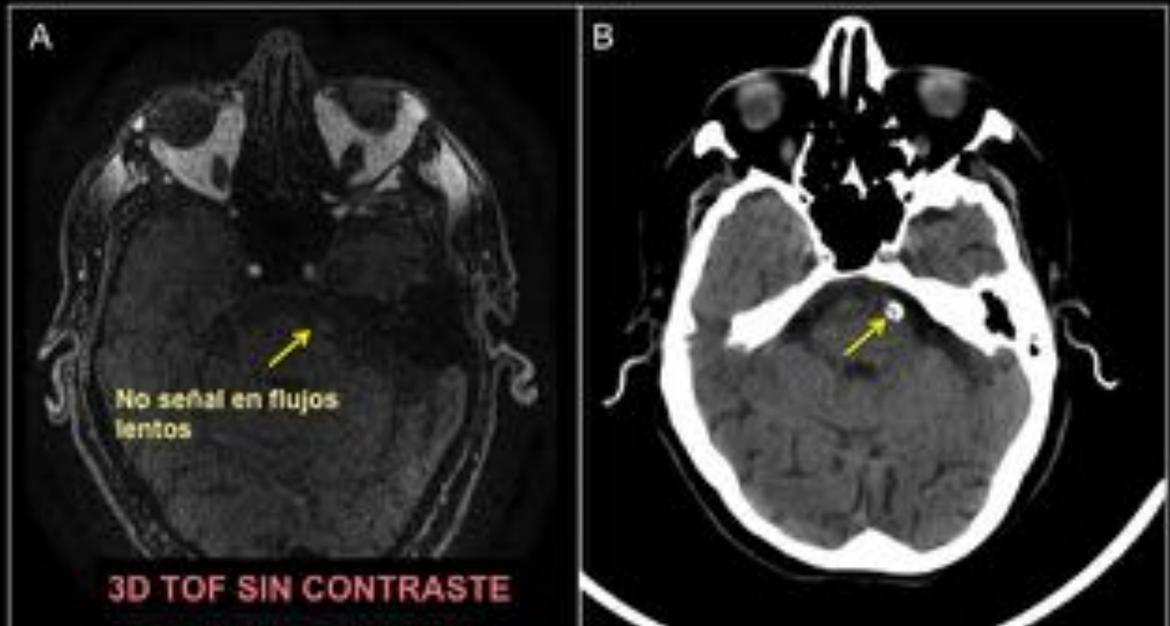


Fig. 5: TÉCNICA 3D TOF

TÉCNICA:
3D TOF

3D TOF 3 SECCIONES: ARTEFACTO SOLAPAMIENTO.

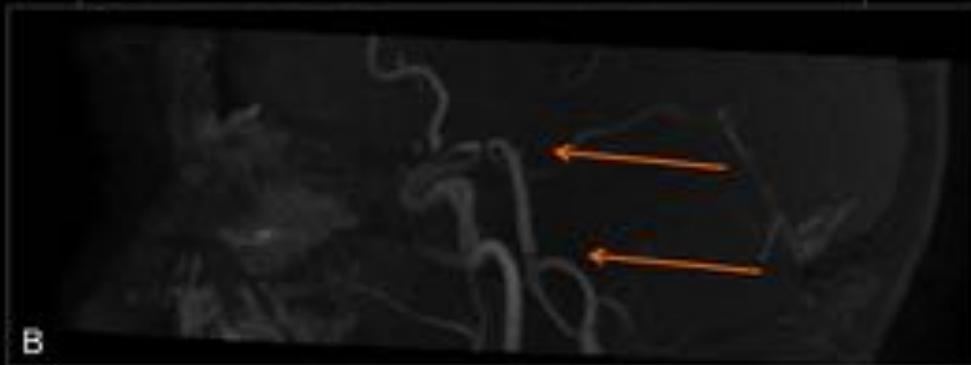
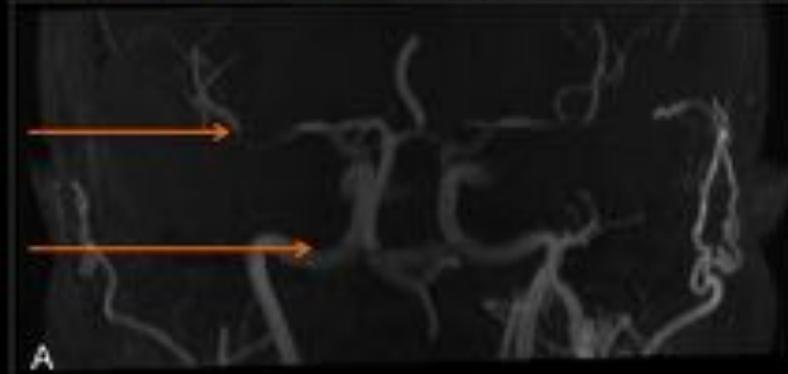


Fig. 6: TÉCNICA 3D TOF

**TÉCNICA:
3D TOF**

3D TOF sin contraste:
Artefacto de flujo en el interior de las arterias carótidas internas.

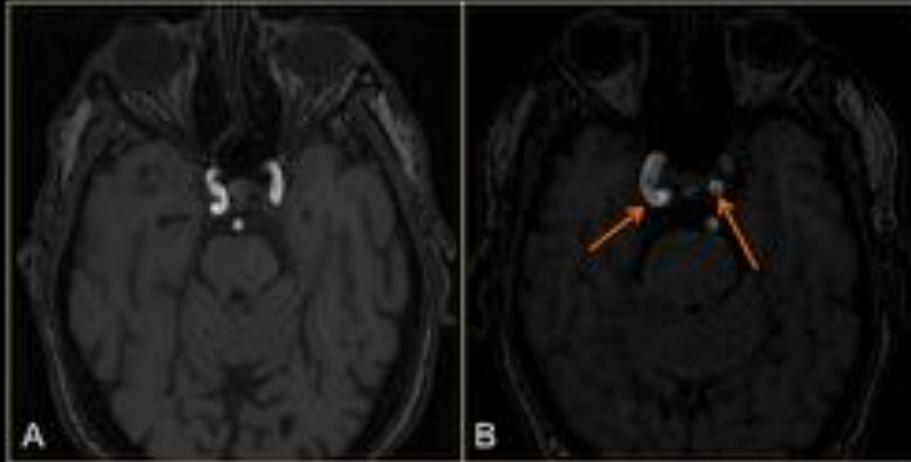


Fig. 7: TÉCNICA 3D TOF

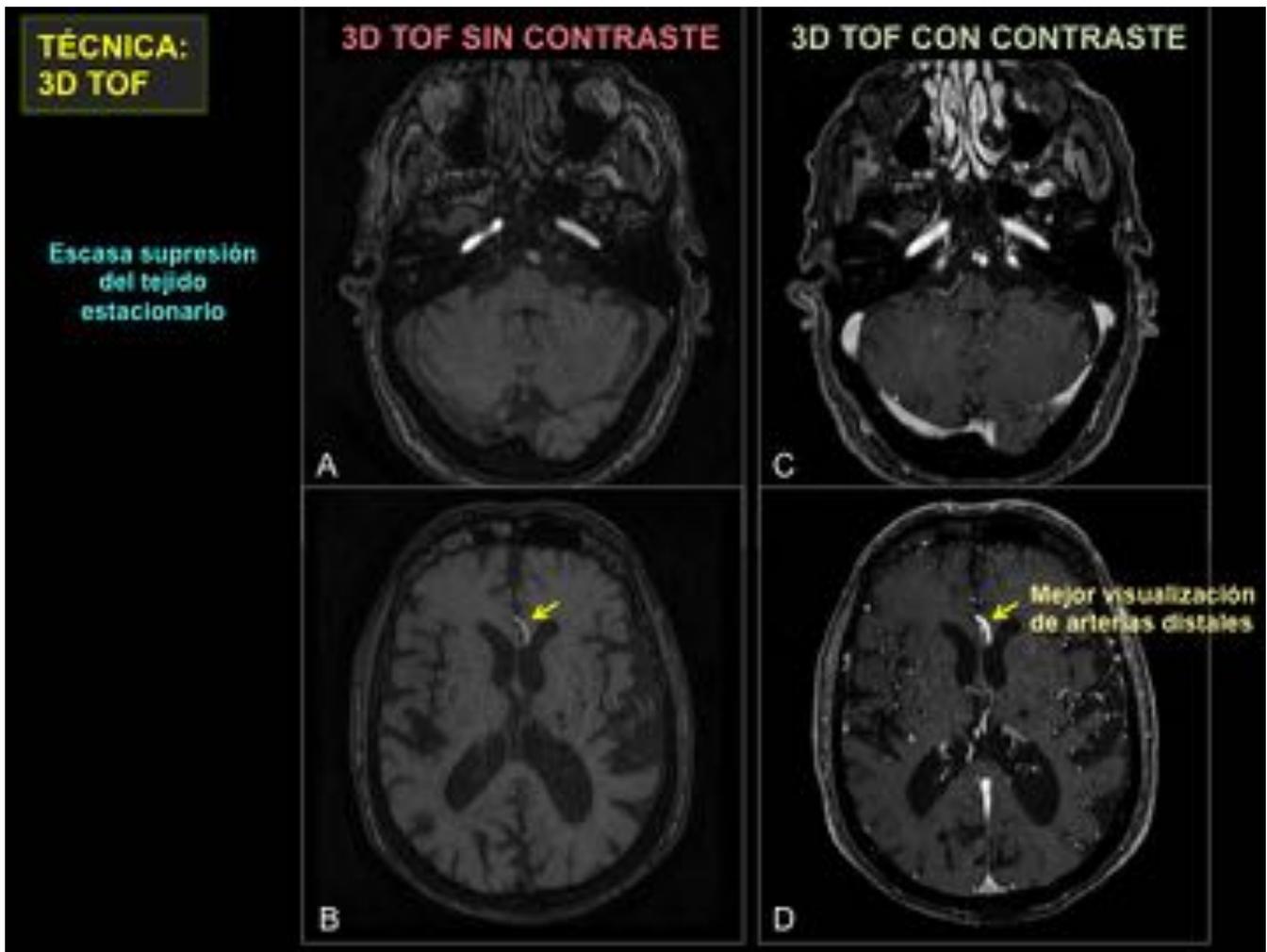
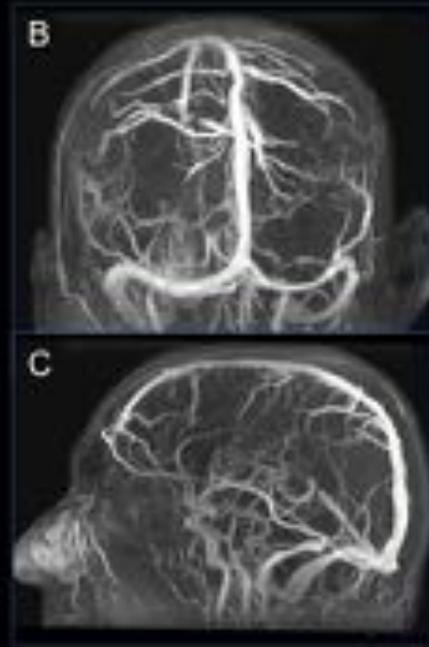


Fig. 8: TÉCNICA 3D TOF

**TÉCNICA:
ANGIORM DINÁMICA CON CONTRASTE**



Fase arterial



Fase venosa

Fig. 9: TÉCNICA ANGIORM DINÁMICA CON CIV

**TÉCNICA:
ANGIORM DINÁMICA CON CONTRASTE CON RESOLUCIÓN TEMPORAL (4D)**

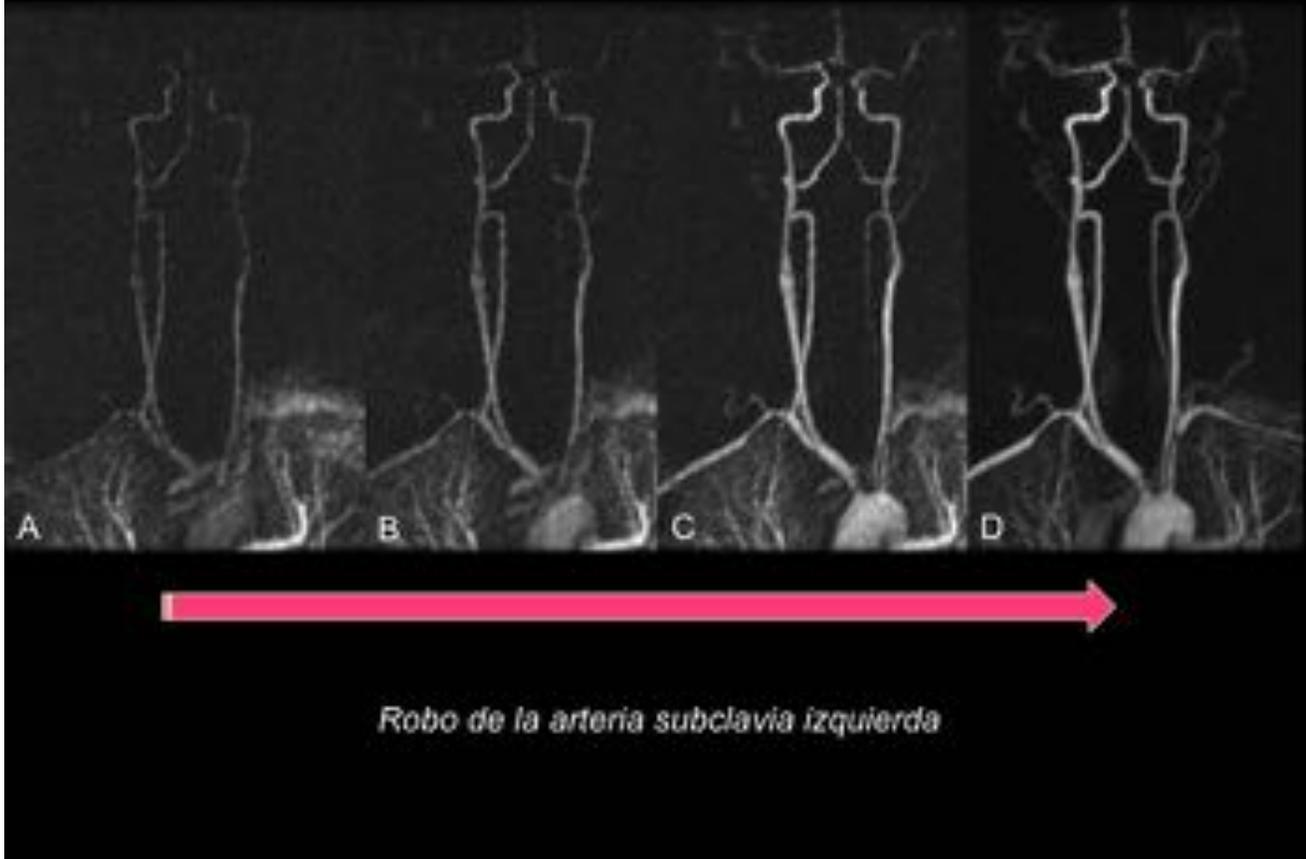


Fig. 10: TÉCNICA ARM con contraste con resolución temporal (4D). Se demuestra la asimetría en el "relleno" de la arteria vertebral izquierda con opacificación tardía de la izquierda a expensas del flujo retrógrado a través del polígono de Willis. Se visualiza la estenosis significativa en la arteria subclavia izquierda (D) previo al origen de la arteria vertebral.



Tabla 2. Protocolos de estudio. Aneurismas

Fig. 11: PROTOCOLOS DE ESTUDIO. ANEURISMAS

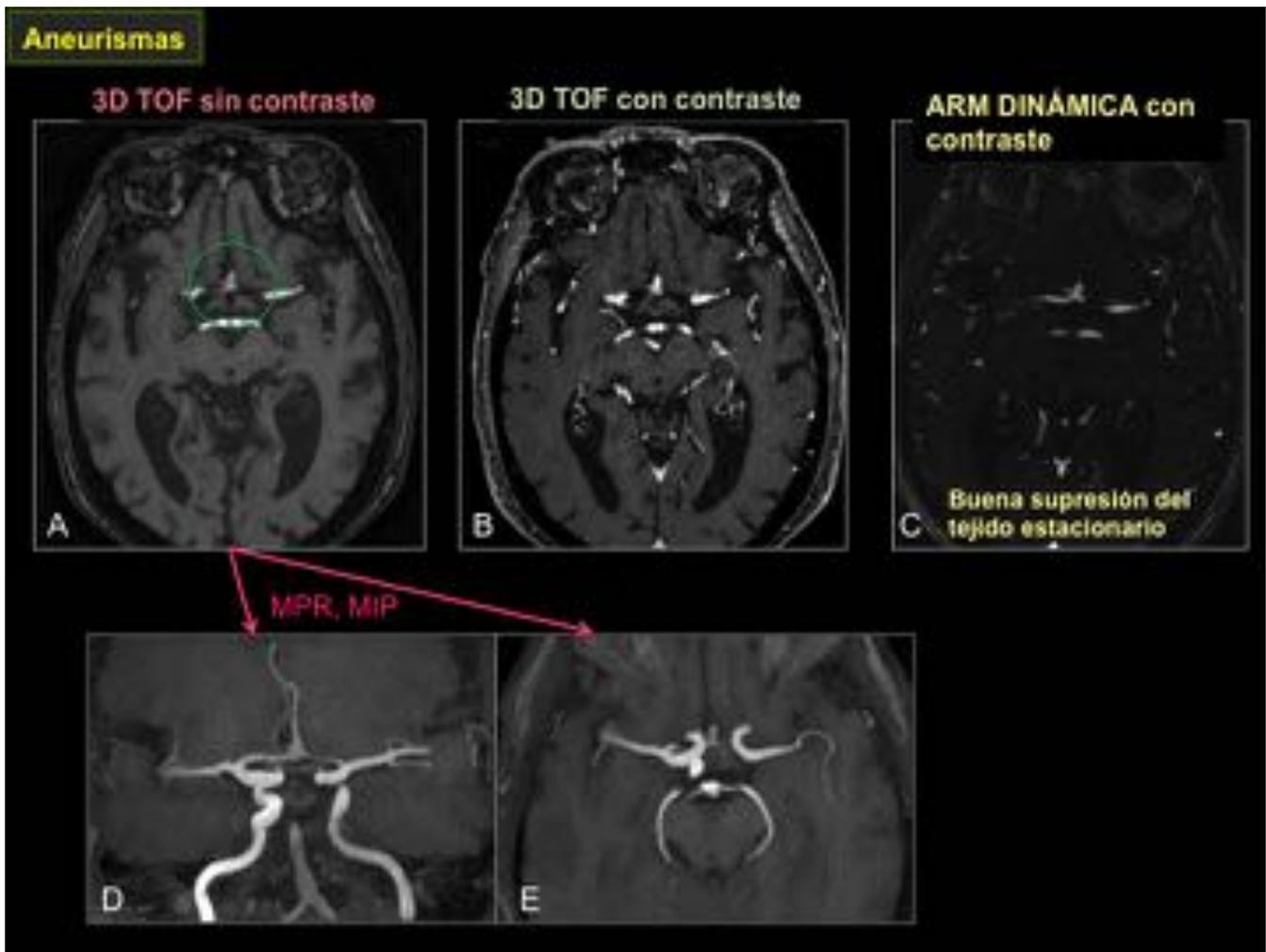
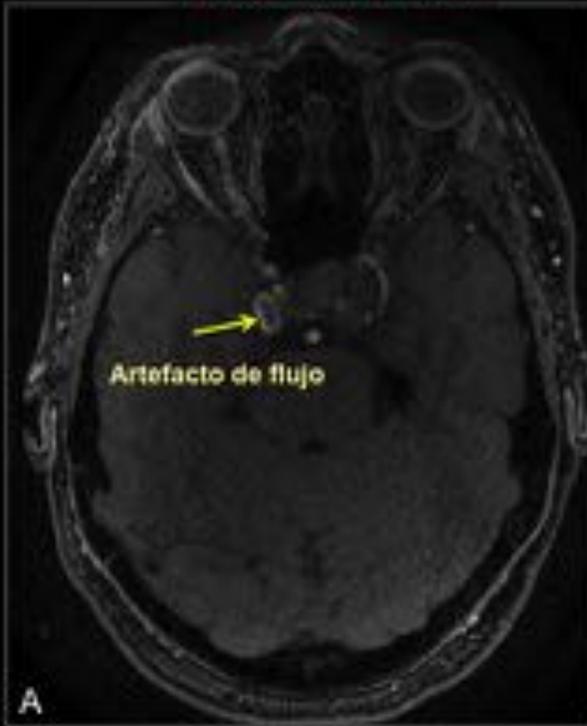


Fig. 12: La secuencia 3D TOF sin contraste permite la detección de aneurismas de pequeño tamaño así como el post-procesado para su correcta valoración. La administración de contraste, no obstante, mejora su visualización, especialmente la ARM dinámica que es la que mejor supresión del tejido estacionario muestra.

Aneurismas

3D TOF sin contraste



3D TOF con contraste



Fig. 13: En regiones como los senos cavernosos, el realce de los mismos en la secuencia 3D TOF con contraste puede enmascarar la presencia del aneurisma. Nótese la pérdida de señal en el interior del aneurisma en la secuencia 3D TOF sin contraste.

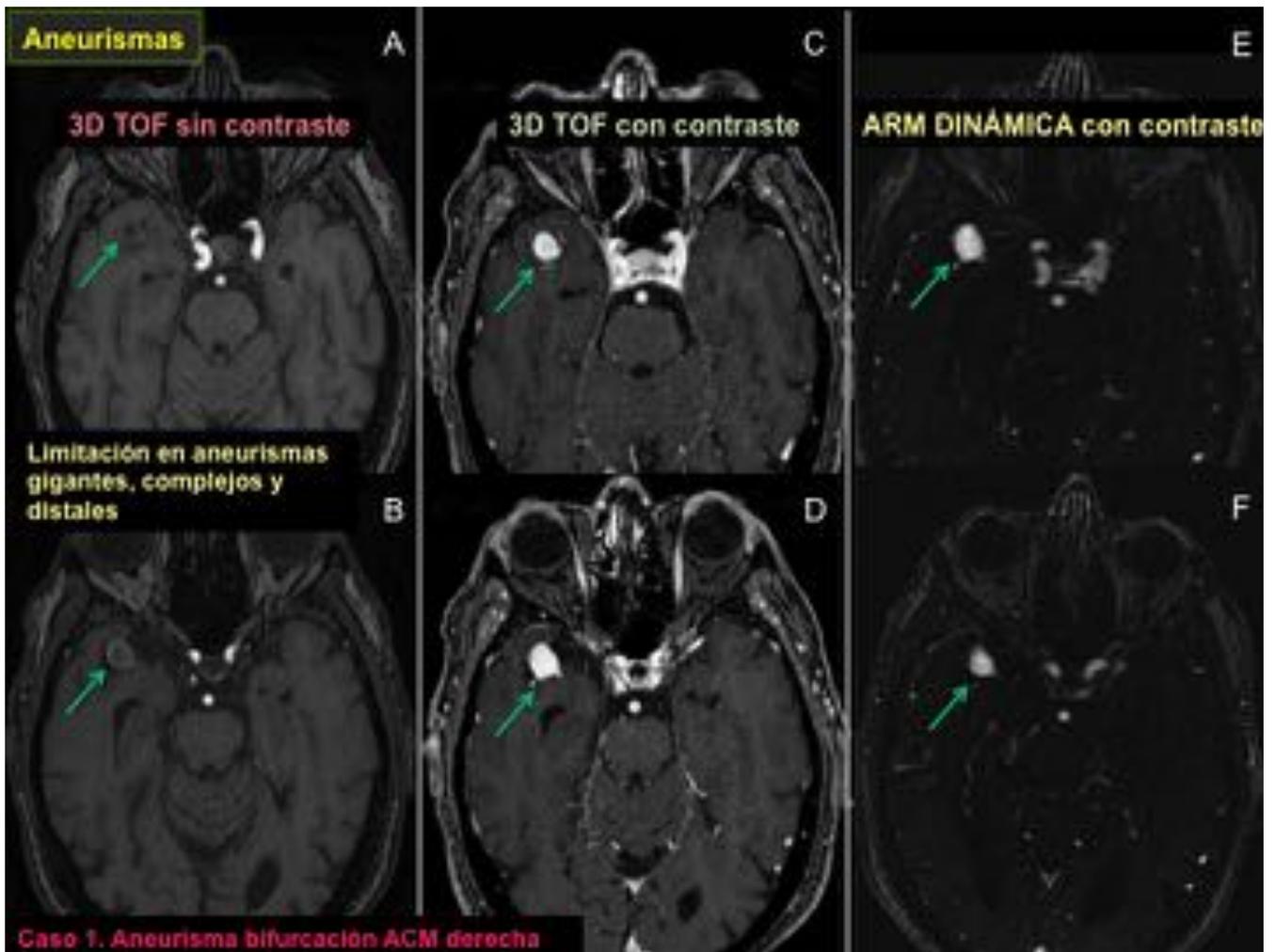
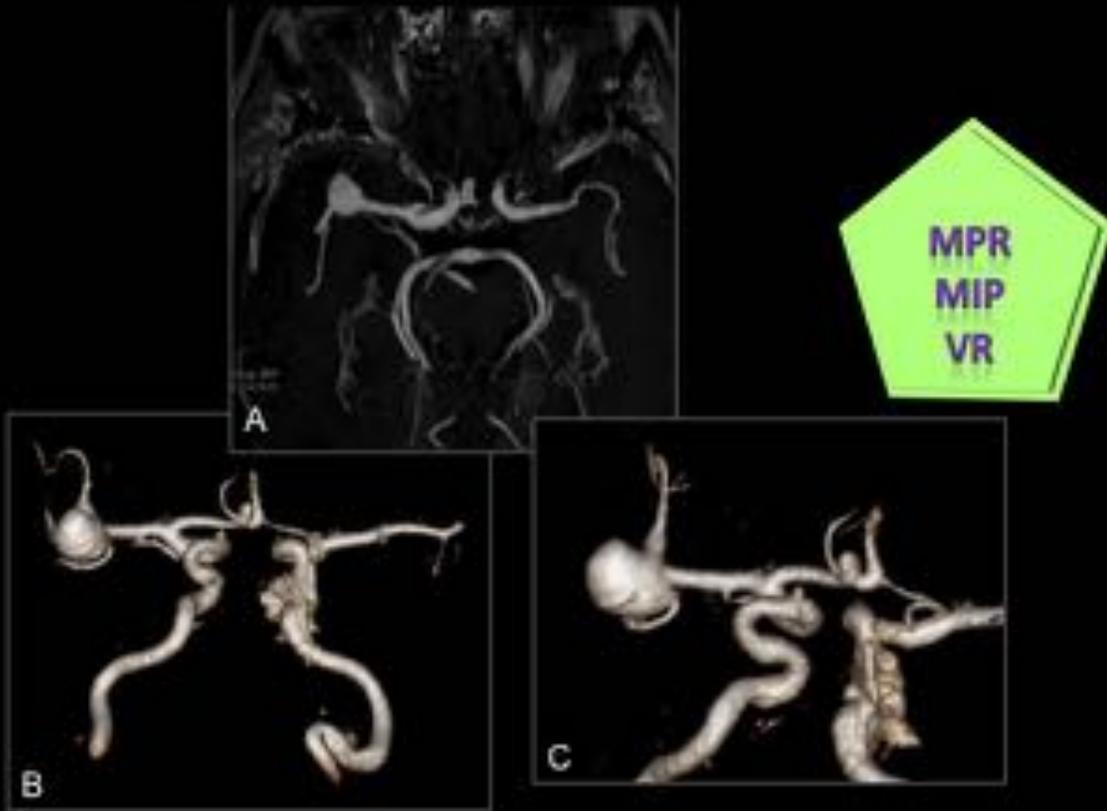


Fig. 14: Aneurisma grande y distal en bifurcación de la ACM derecha. Debido al flujo lento en el interior del aneurisma, éste no se visualiza hipertenso en la secuencia 3D TOF sin contraste, demostrándose el "relleno" del aneurisma en las secuencias de ARM con contraste, en las que se delimita mejor, especialmente en la ARM dinámica.

ARM DINÁMICA con contraste



Caso 1. Aneurisma bifurcación ACM derecha

Fig. 15: Las técnicas de ARM dinámicas con contraste debido a la supresión del tejido estacionario y al gran contraste intravascular permiten un post-procesado con técnicas MIP y de VR con reconstrucciones de gran calidad, logrando una excelente aproximación a la morfología y relaciones del aneurisma.

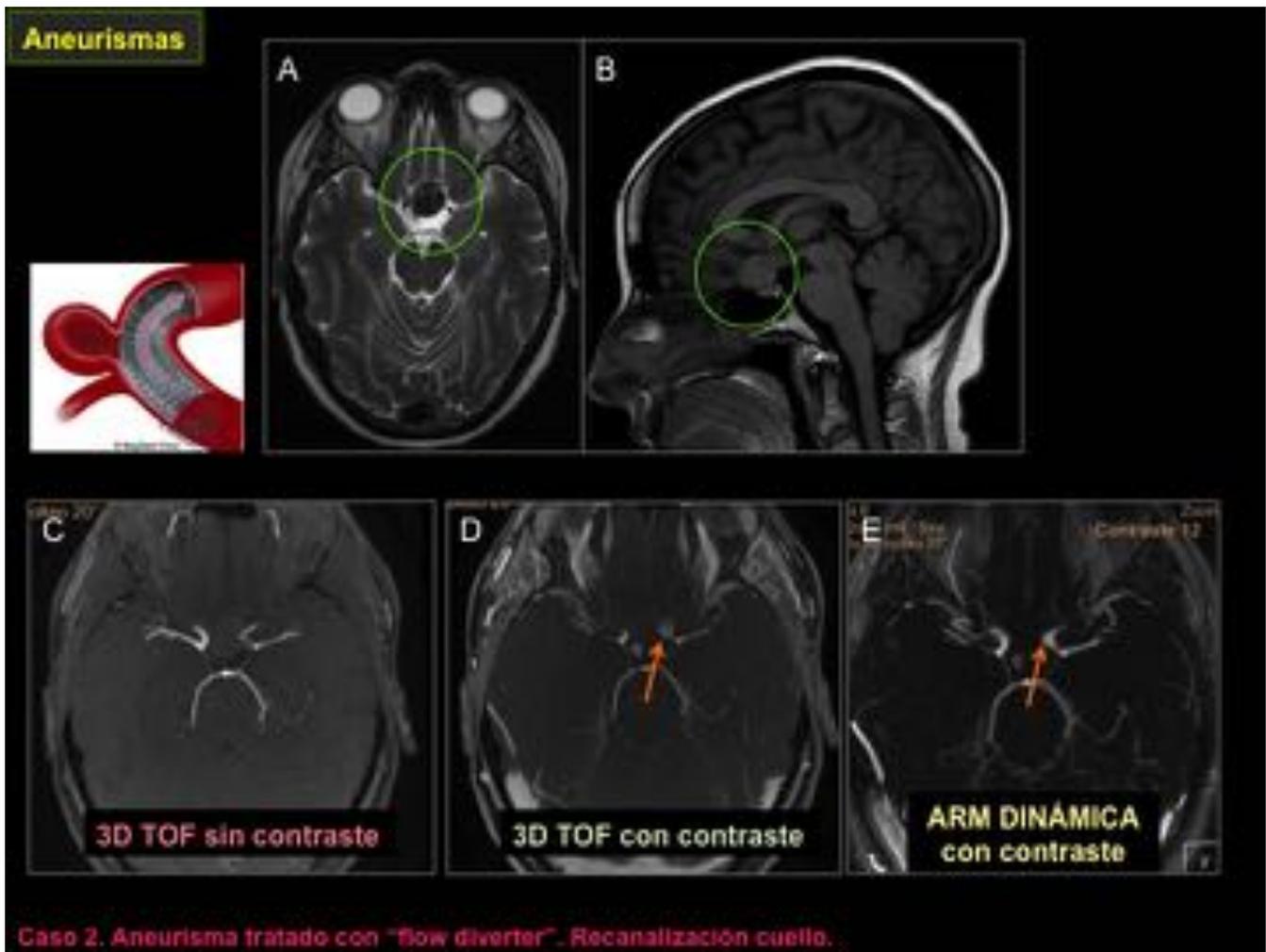
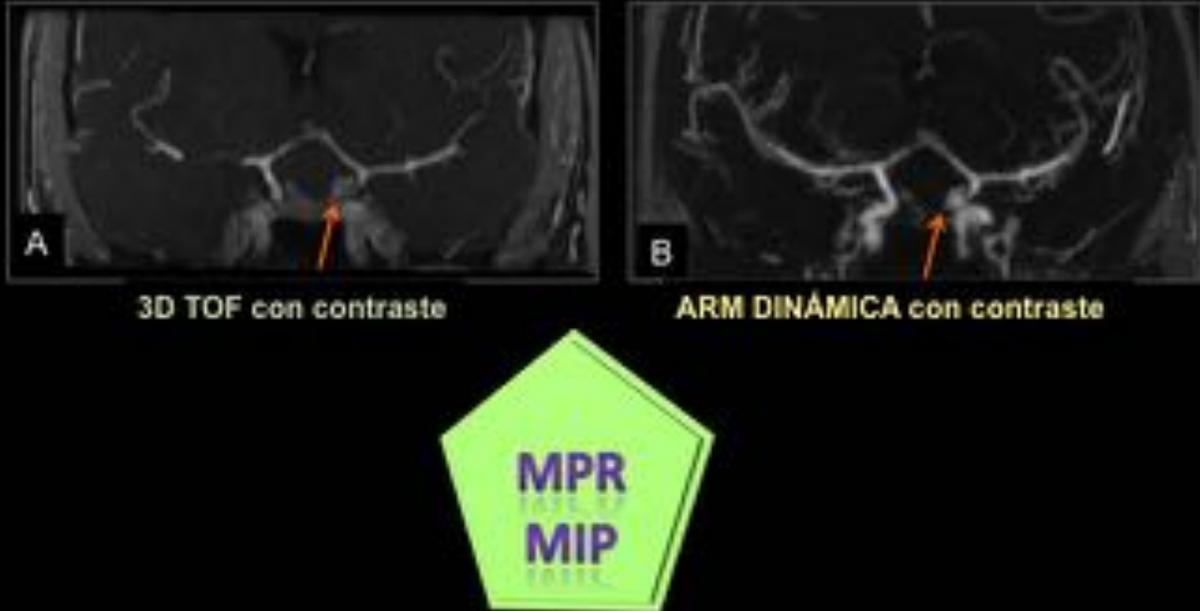


Fig. 16: Aneurisma tratado con "Flow Diverter". A) Axial T2-TSE. Saco aneurismático hipointenso. B) Sagital T1 TSE. Saco aneurismático de intensidad intermedia. C) 3D TOF sin contraste (MIP axial), en la que no se evidencian áreas hiperintensas en el interior del saco. D y E) 3D TOF con civ y ARM dinámica con civ que demuestran pequeña recanalización del cuello (flechas naranjas), no visualizada sin contraste.

Aneurismas



Caso 2. Aneurisma tratado con "flow diverter". Recanalización cuello.

Fig. 17: Reconstrucciones coronales (MIP) del 3D TOF con contraste (A) y de la ARM dinámica con contraste (B). Mejor delimitación de la recanalización del cuello aneurismático con la ARM dinámica.

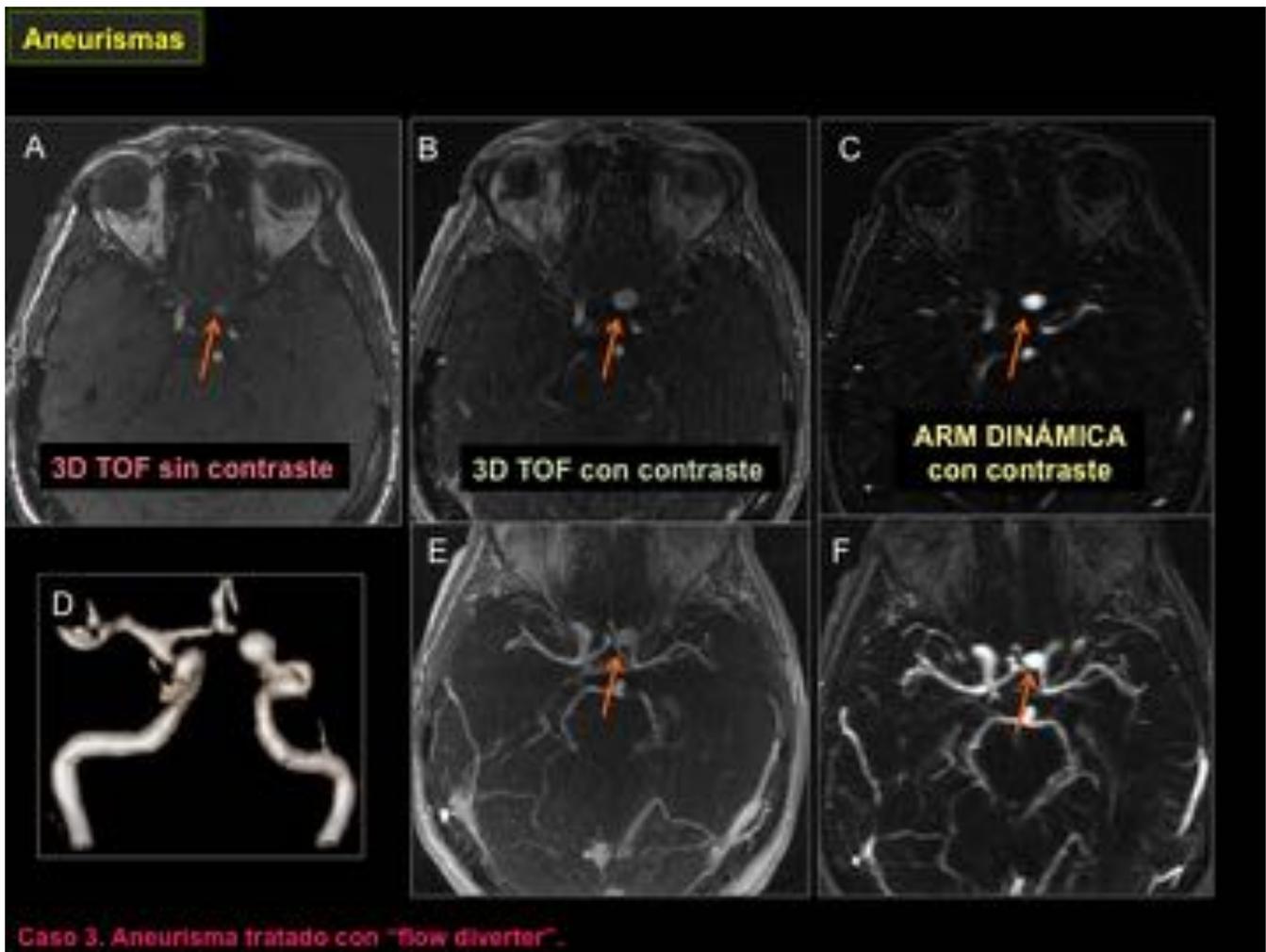


Fig. 18: Aneurisma en ACI cavernosa izquierda tratado con Flow Diverter. En la secuencia 3D TOF sin contraste (A) se visualiza un área hipertensa en el interior del saco aneurismático, que podría corresponder a trombo o a flujo. En las secuencias con contraste, 3D TOF (B y E) y ARM dinámica (C y F) se constata el relleno homogéneo del saco aneurismático. En la reconstrucción volumétrica de la ARM dinámica (D) se demuestra la disposición y relaciones del aneurisma.

Aneurismas

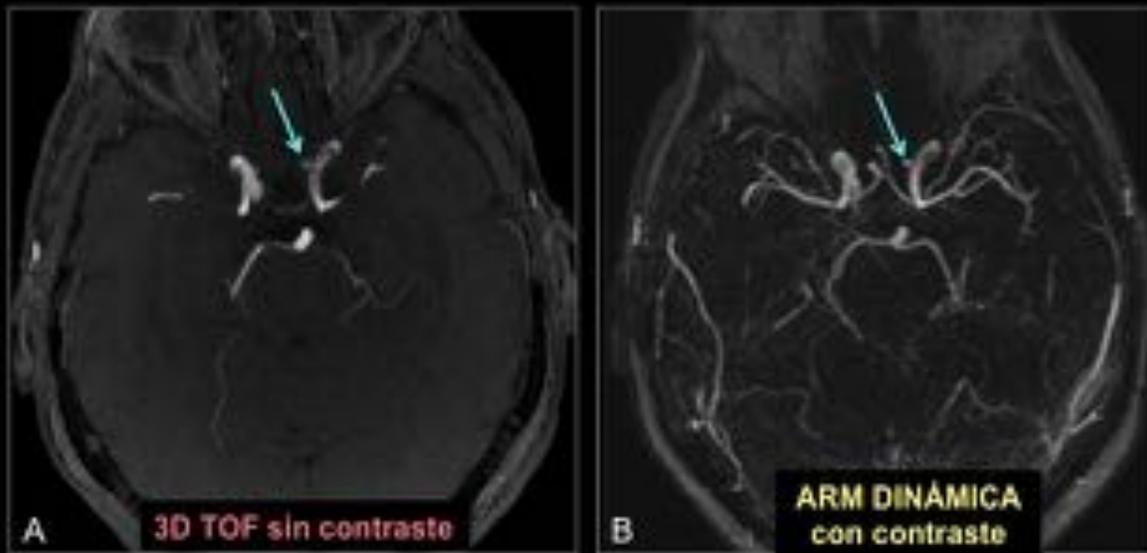


Fig. 19: En el estudio de ARM evolutivo se demuestra ausencia de flujo/relleno del saco aneurismático con pequeño resto del cuello del aneurisma (flechas), que se sospecha en la secuencia 3D TOF sin contraste (A) y se confirma en la ARM dinámica con contraste en fase arterial (B).

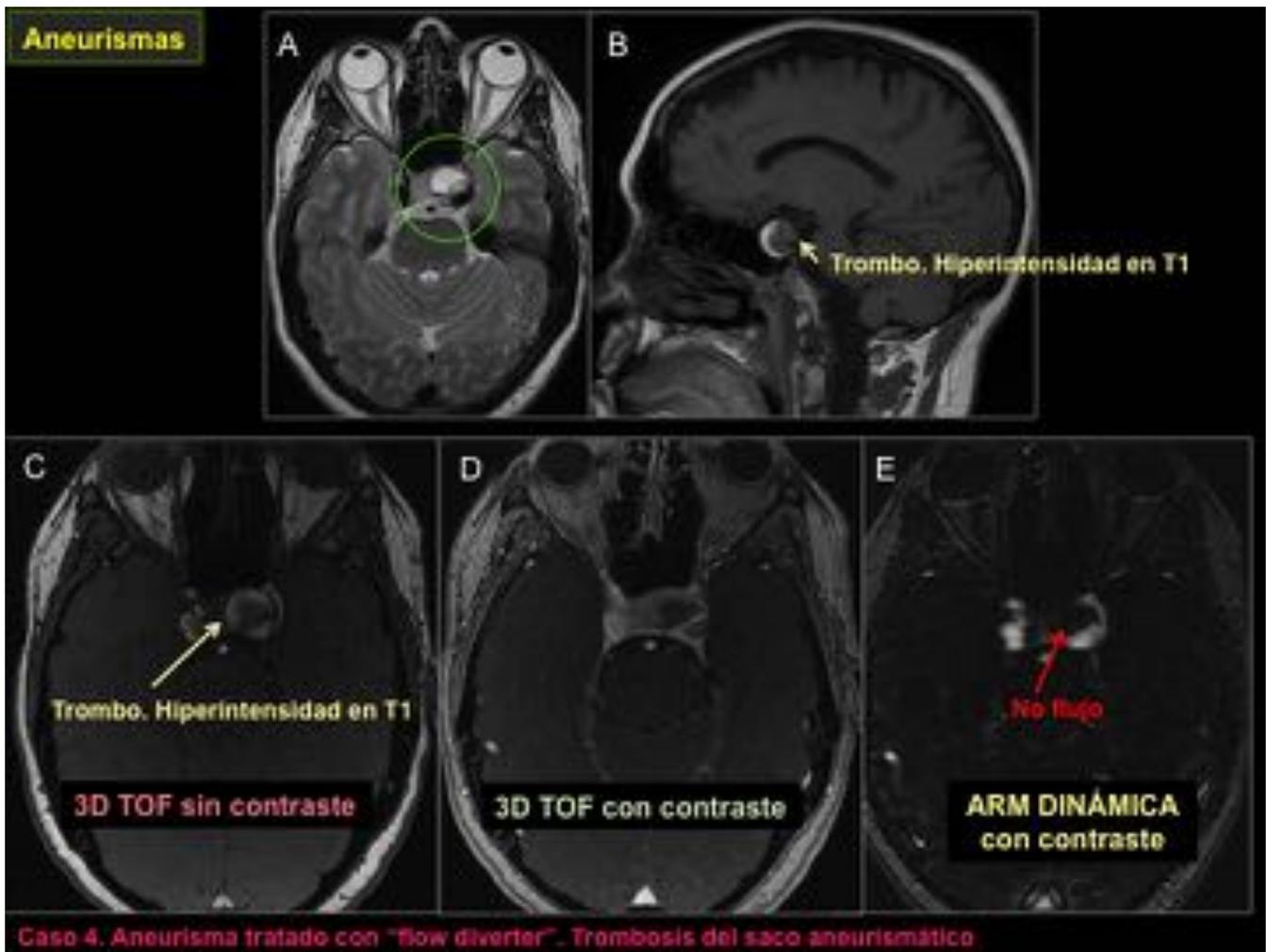


Fig. 20: A) Axial T2 TSE. Saco aneurismático heterogéneo. B) Sagital T1 TSE. Áreas hiperintensas en el interior del saco, en relación con trombo. C y D) 3D TOF sin y con contraste respectivamente. Se visualiza hiperintensidad en el saco aneurismático por el trombo (debido al efecto T1 de estas técnicas). E) ARM dinámica con contraste que demuestra la ausencia de permeabilidad del aneurisma, con trayecto irregular de la ACI cavernosa.

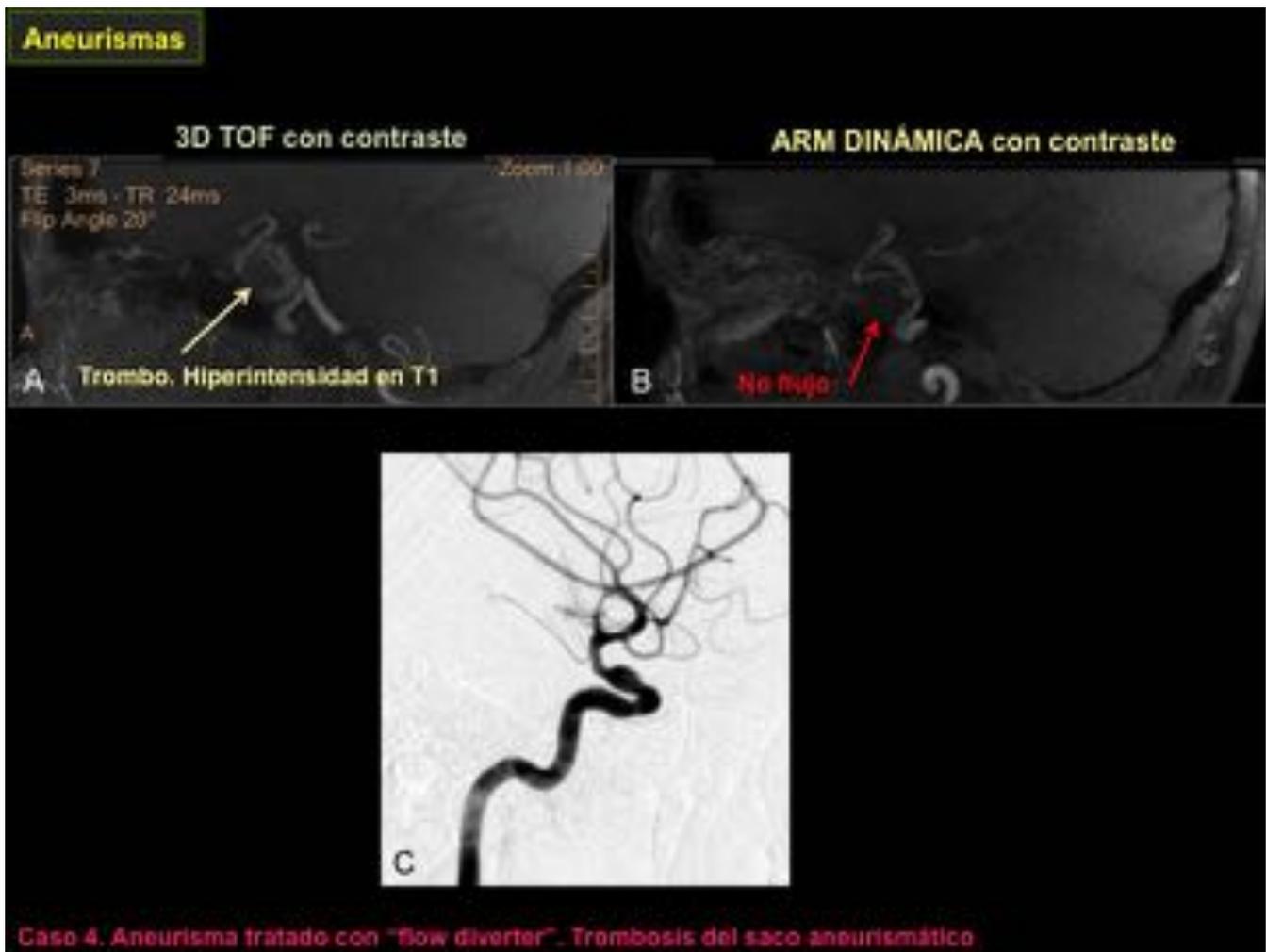


Fig. 21: Reconstrucciones con técnica MIP en proyección sagital del 3D TOF con contraste (A) y de la ARM dinámica con contraste (B). En la secuencia 3D TOF se visualizan áreas hipertensas difíciles de distinguir si corresponde a "relleno" del aneurisma o a la presencia de trombo (hipertenso). La ARM dinámica confirma la ausencia de flujo en el interior del aneurisma, concordante con los hallazgos de la ASD (D)

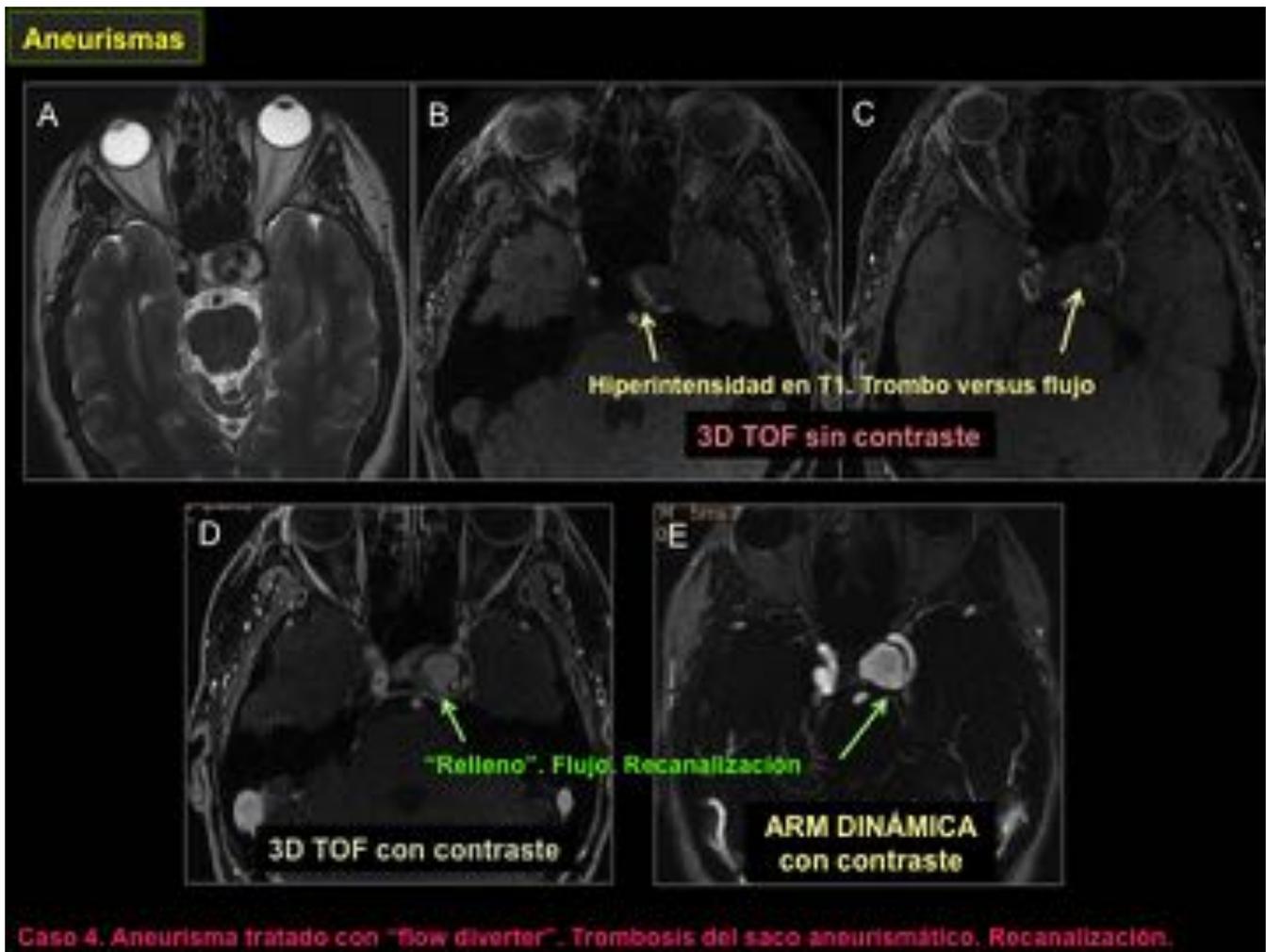


Fig. 22: A) Axial T2 TSE. Saco aneurismático heterogéneo. B y C) 3D TOF sin contraste, con pequeñas zonas hiperintensas en su interior (trombo versus flujo). D) 3D TOF con contraste y E) ARM dinámica con contraste que demuestran el "relleno" del saco, indicativo de recanalización del mismo. Existe una mejor delimitación del aneurisma en la ARM dinámica.

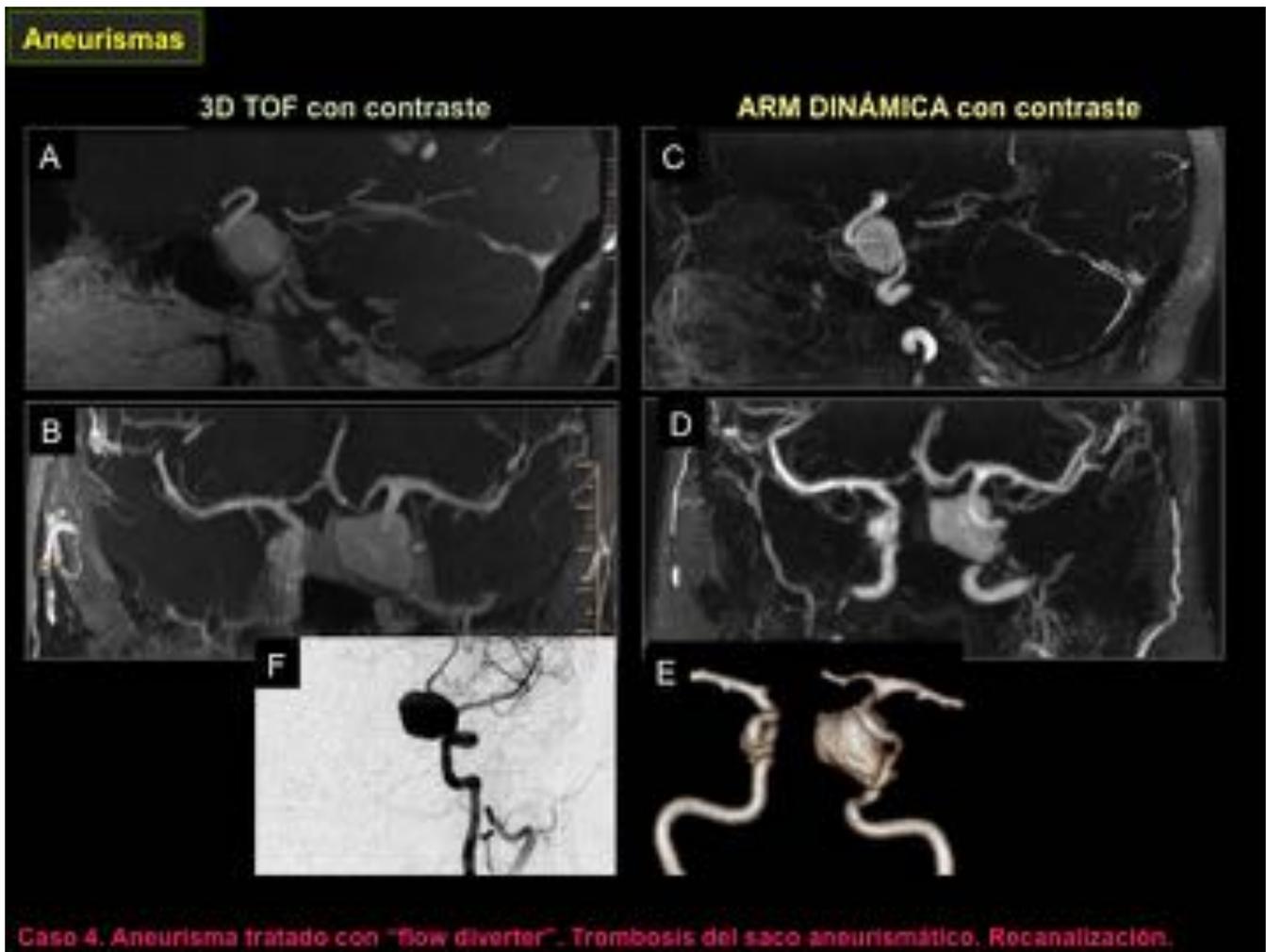


Fig. 23: 3D TOF y ARM dinámica con contraste. Reconstrucciones multiplanares y VR para mejor valoración del aneurisma. Se confirmó con ASD su recanalización.



Tabla 3. Protocolos de estudio. Trombosis venosa

Fig. 24: Protocolos de estudio. Trombosis venosa

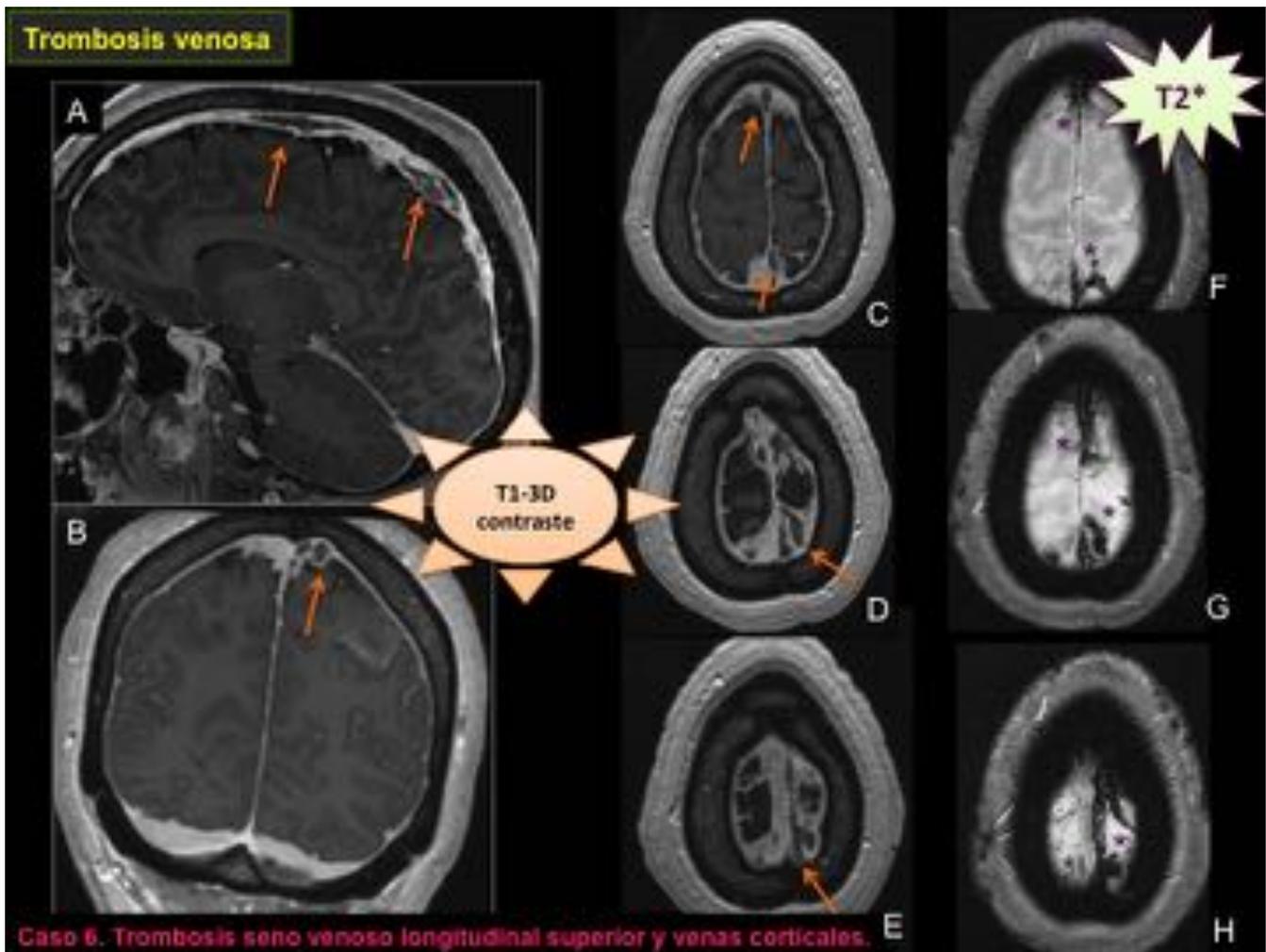


Fig. 25: Se identifica el defecto de repleción (flechas) en el seno longitudinal superior y venas corticales de la convexidad izquierda en la secuencia T1-3D post-contraste. En la secuencia eco de gradiente se pone de manifiesto la distribución del trombo por el importante efecto de susceptibilidad magnética (asteriscos).

Trombosis venosa

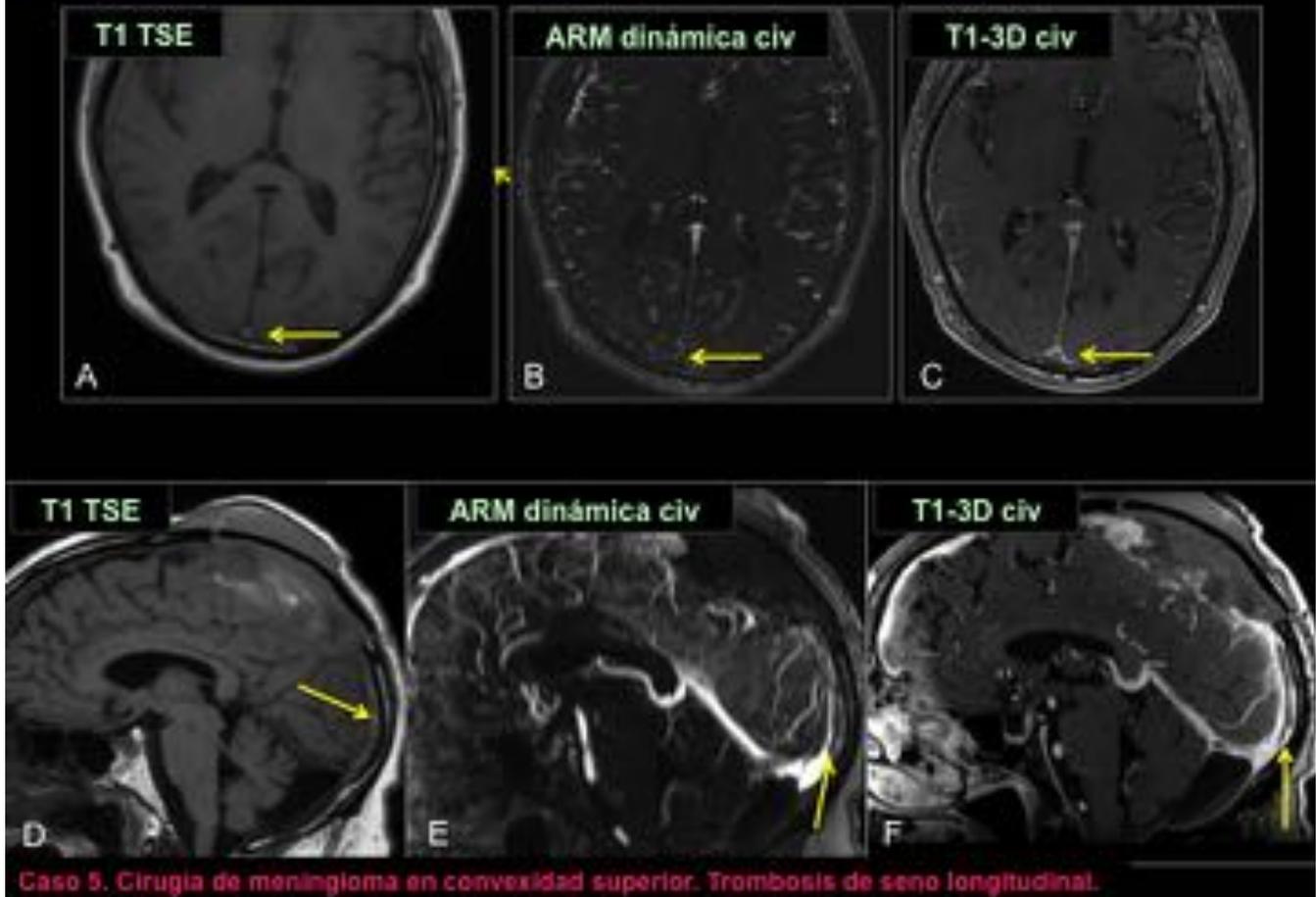


Fig. 26: Se visualiza el trombo en el seno longitudinal, hiperintenso en secuencias T1 TSE (A y D). El estudio de ARM dinámica (B y E) se ha obtenido en una fase arterial tardía evidenciándose el defecto de repleción en el seno, que es más evidente en la secuencia T1-3D post-contraste (C y F).



Tabla 3. Protocolos de estudio. Trombosis venosa

Fig. 27: Protocolos de estudio. Fístulas carótida-cavernosas y fístulas durales

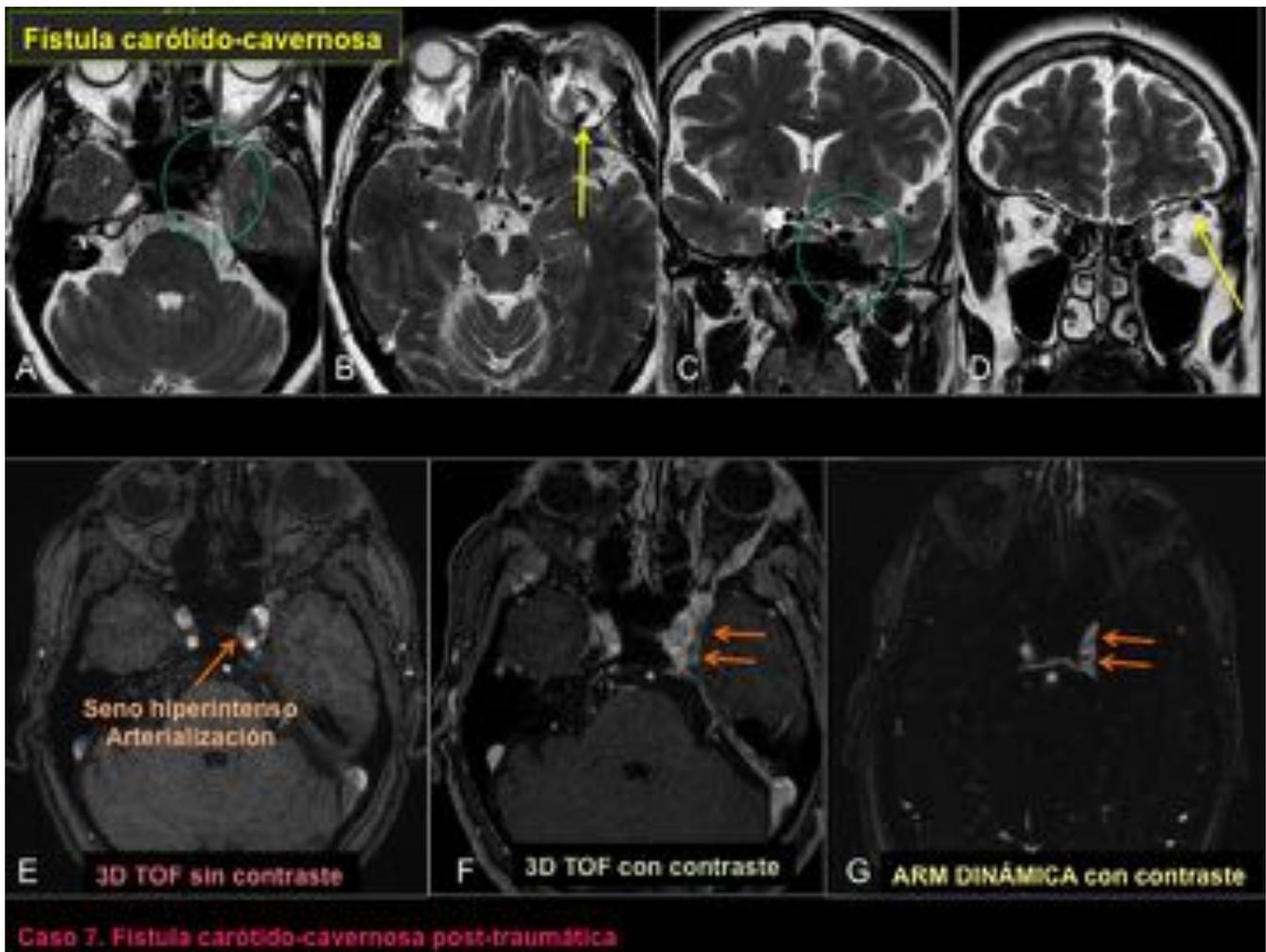


Fig. 28: A-D) Axial T2 TSE de alta resolución. Se evidencia la asimetría de los senos cavernosos con el aumento de los vacíos de flujo en el izquierdo y la dilatación de la vena oftálmica superior. E) 3D TOF sin contraste. Seno ligeramente hiperintenso como signo indirecto de arterialización del mismo. La secuencia 3D TOF con contraste (F) únicamente demuestra el ensanchamiento del seno, demostrándose en la ARM dinámica el relleno del seno cavernoso izquierdo en fase arterial.

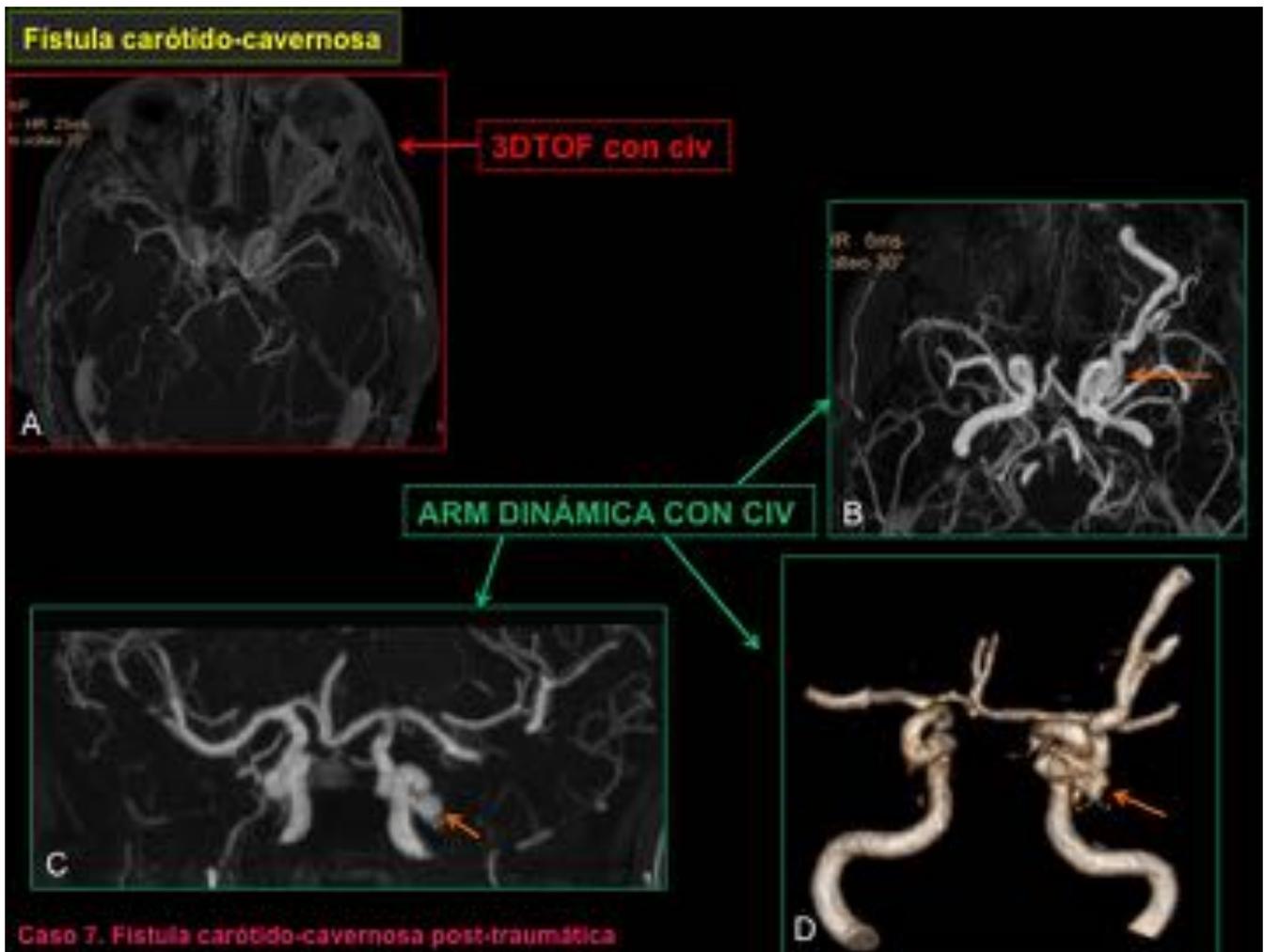


Fig. 29: Utilidad de las reconstrucciones MPR/MIP y VR de la ARM dinámica con contraste en la fístula carótida-cavernosa.

Fístula carótido-cavernosa



Caso 7. Fístula carótido-cavernosa post-traumática. Post-embolización.

Fig. 30: Fístula carótida-cavernosa embolizada de forma completa. Coils de embolización con escasa implicación en la valoración de los vasos adyacentes.

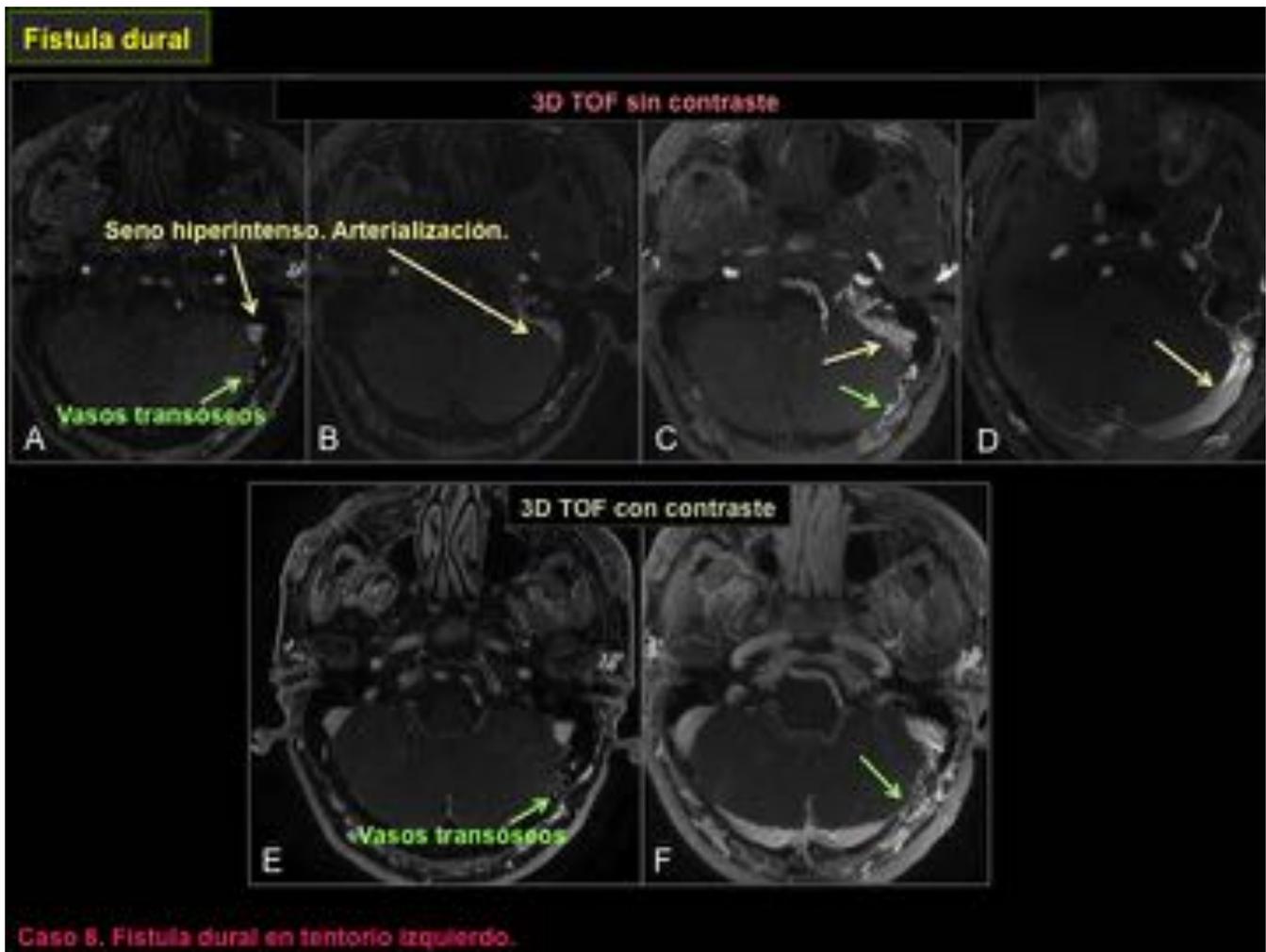


Fig. 31: La secuencia 3D TOF sin contraste (A-D) muestra la hiperintensidad de señal del seno sigmoide y transverso izquierdos (como signo de arterialización). La secuencia 3D TOF con contraste (E y F) no aporta información hemodinámica. La técnica 3D TOF ofrece una buena resolución espacial demostrando los vasos trans-óseos.

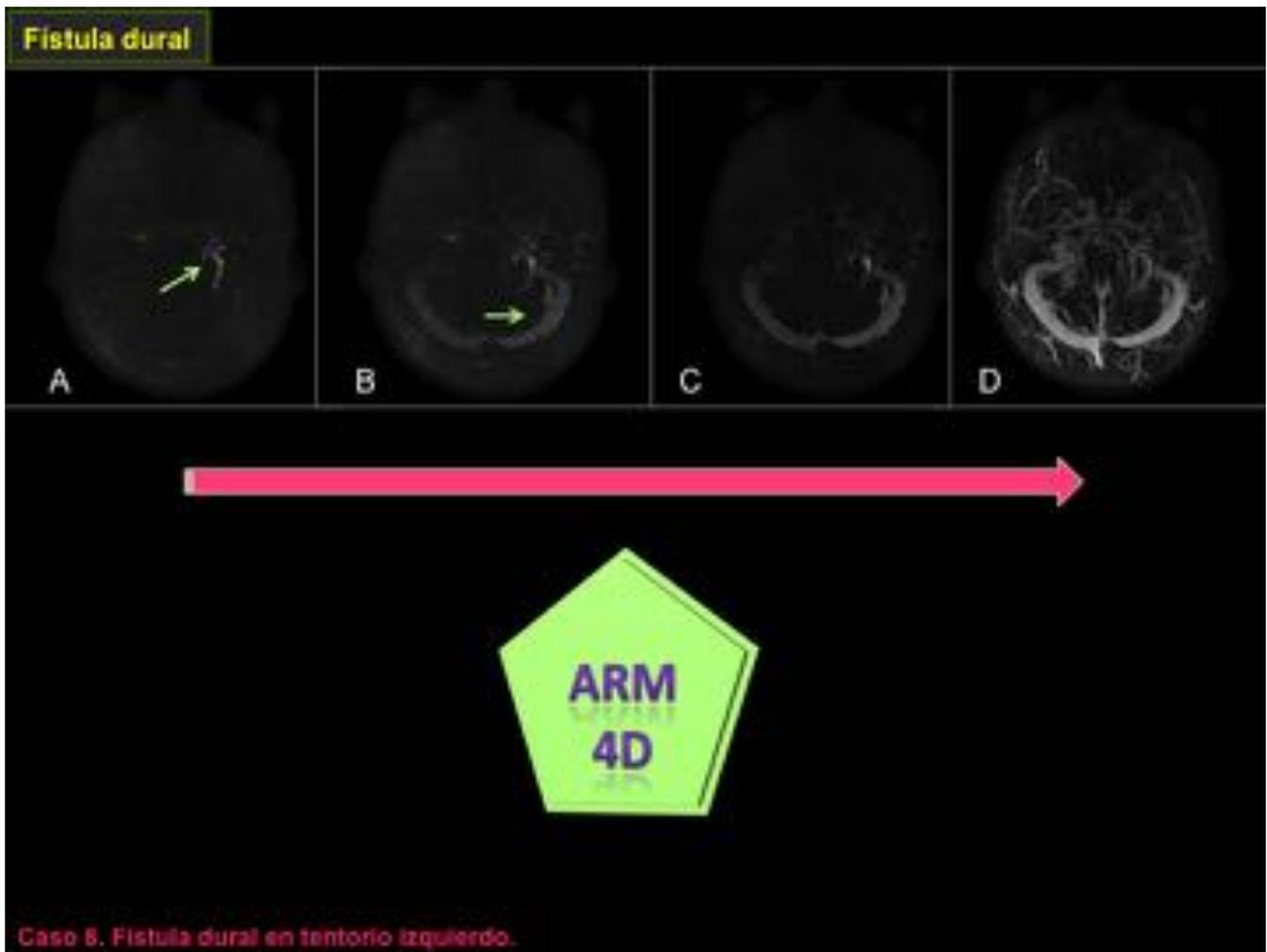


Fig. 32: Secuencia de ARM con resolución temporal. Se visualiza relleno precoz y progresivo del seno transversal izquierdo.

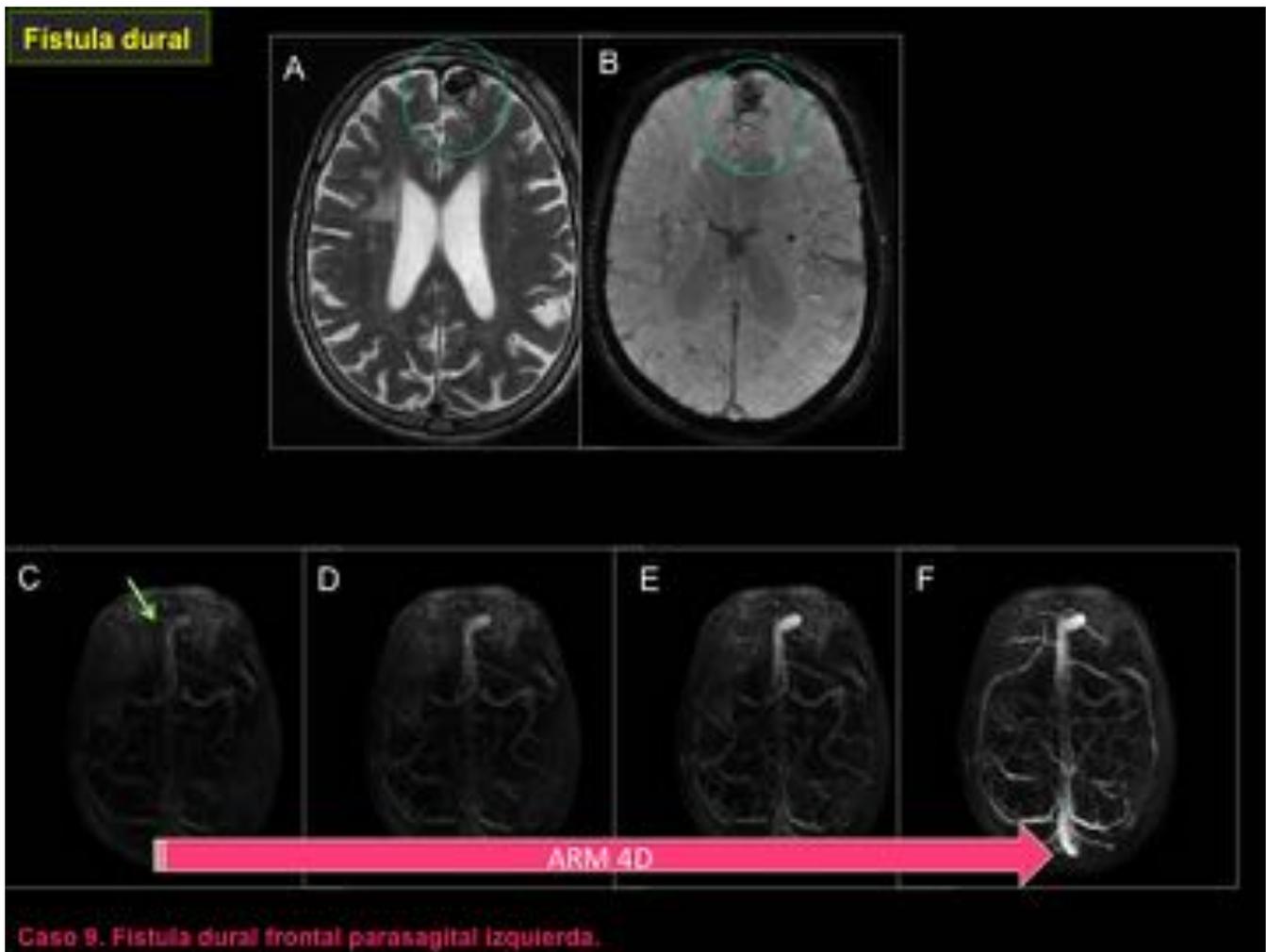


Fig. 33: Fistula dural frontal parasagital izquierda con ectasia venosa que se visualiza en la secuencia T2 TSE axial (A). En la secuencia de susceptibilidad (B) se visualizan signos de hemosiderosis superficial/sangrados previos. La secuencia de ARM con resolución temporal (4D) evidencia el relleno precoz de la vena dilatada y del seno venoso longitudinal.

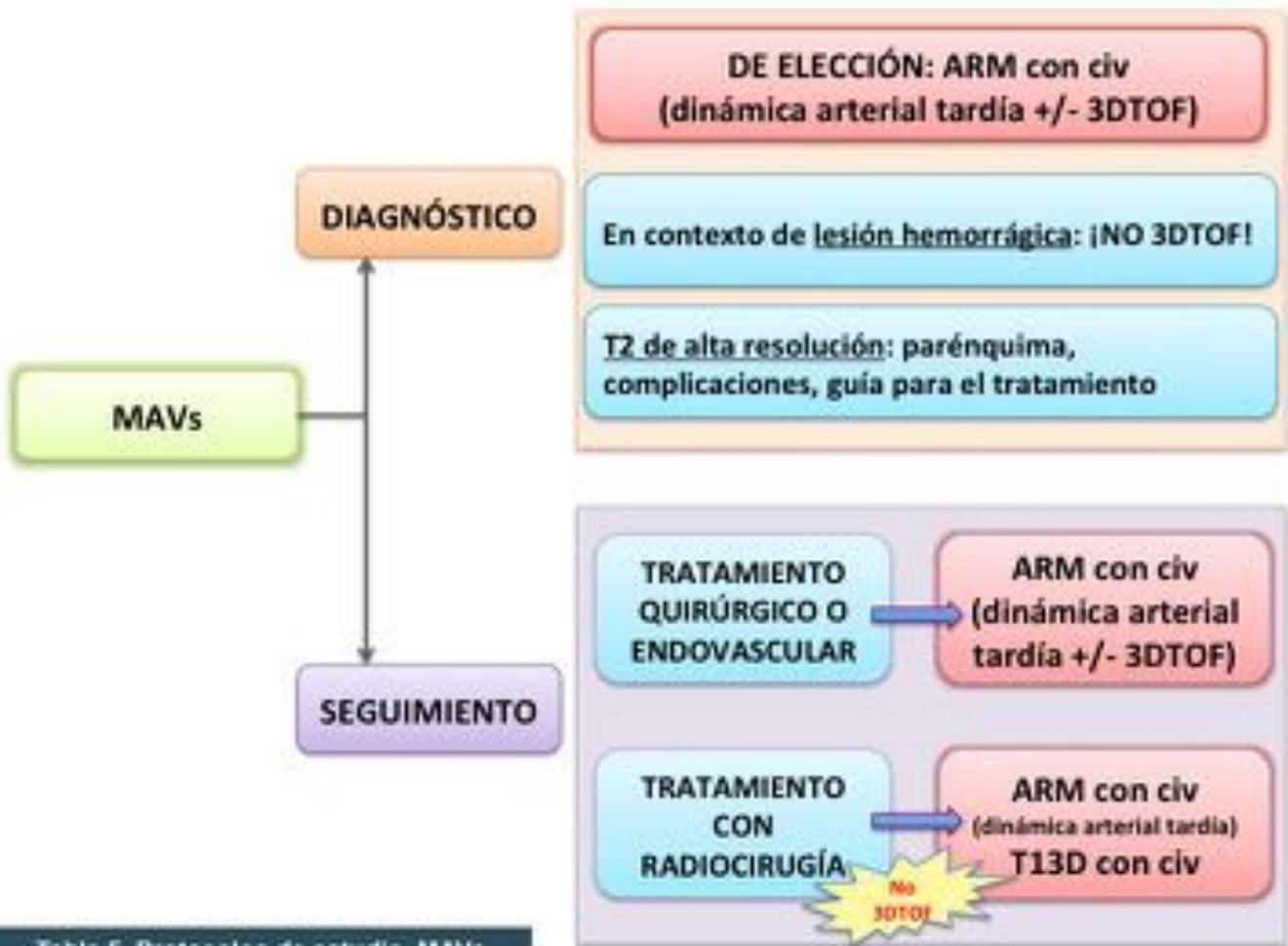


Tabla 5. Protocolos de estudio. MAVs

Fig. 34: Protocolos de estudio. MAVs

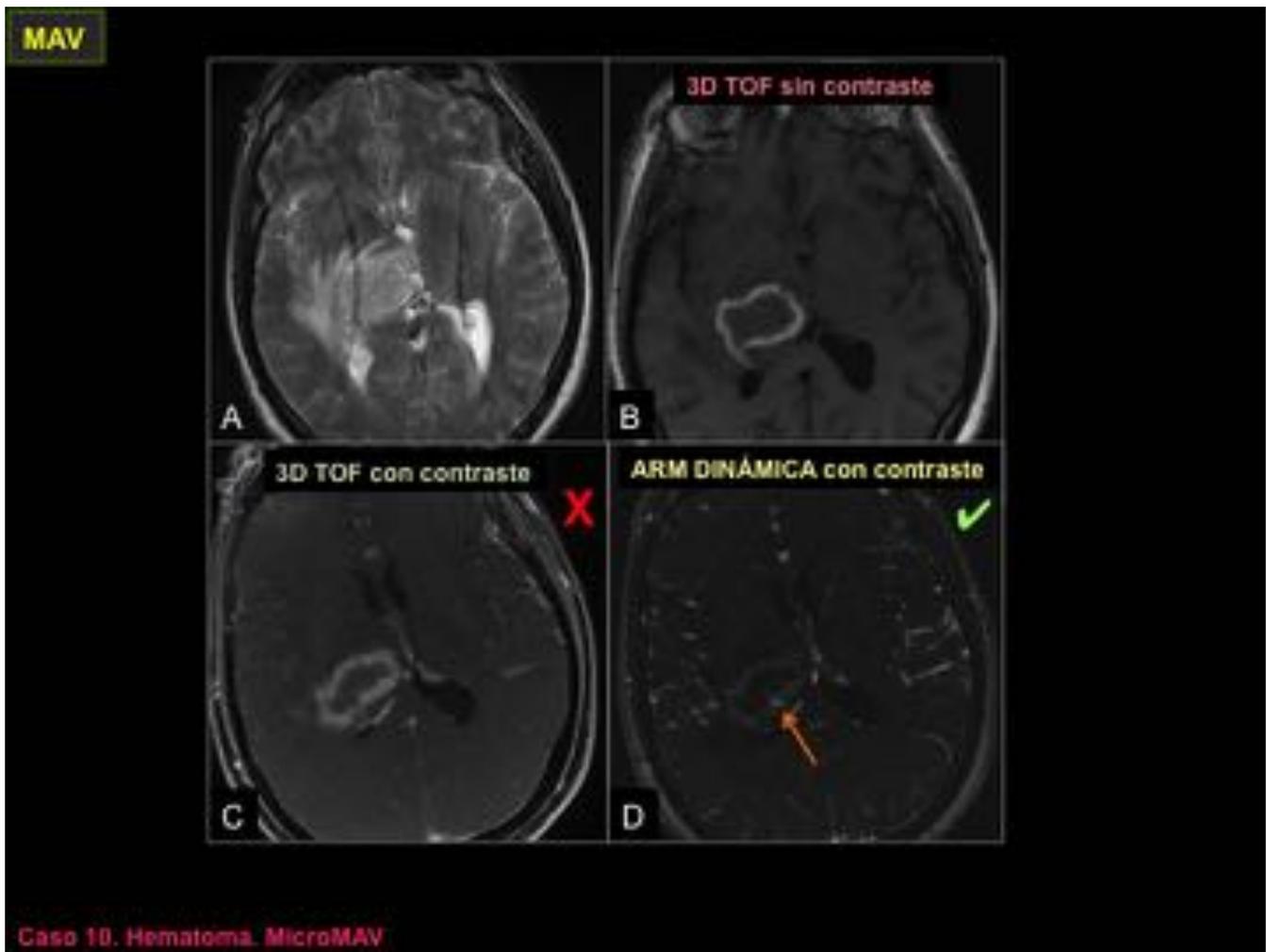


Fig. 35: Lesión hemorrágica en ganglios nasales derechos secundaria a una micro-MAV en la región posterior del hematoma. Debido al efecto T1 de las secuencias 3D TOF, éstas no son útiles en el contexto hemorrágico. El vaso anómalo que se pone en evidencia en la ARM dinámica con civ (D) queda enmascarado por la hiperintensidad del hematoma en el 3D TOF con contraste (C).

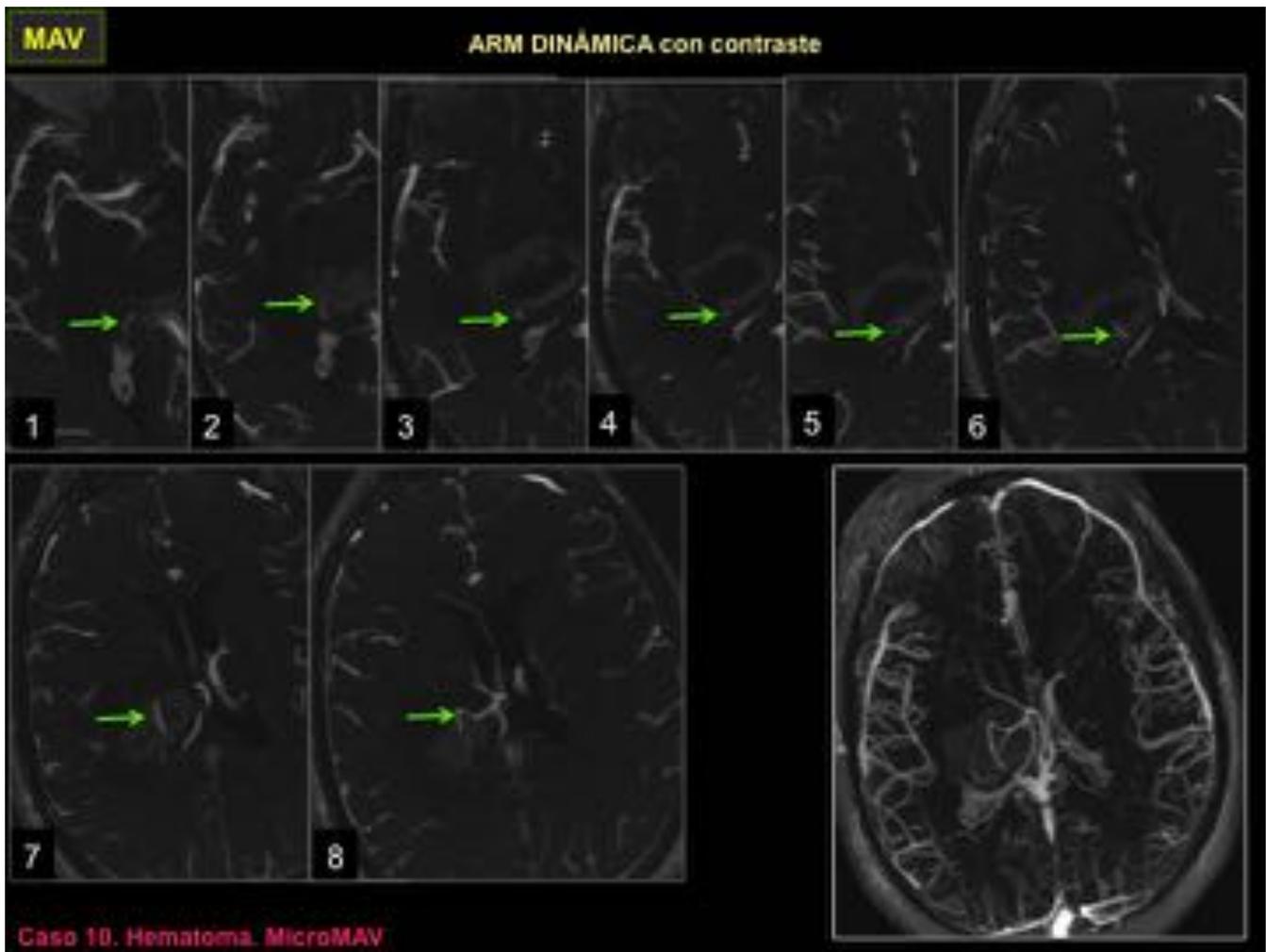


Fig. 36: Reconstrucción MIP de la ARM con contraste en la que en las "rodajas" axiales contiguas se puede identificar la dirección de los vasos desde las arterias coroideas posteriores hacia la imagen de aparente "nidus milimétrico" en la región posterior del hematoma y del que sale una estructura venosa que se dirige hacia las venas cerebrales internas.

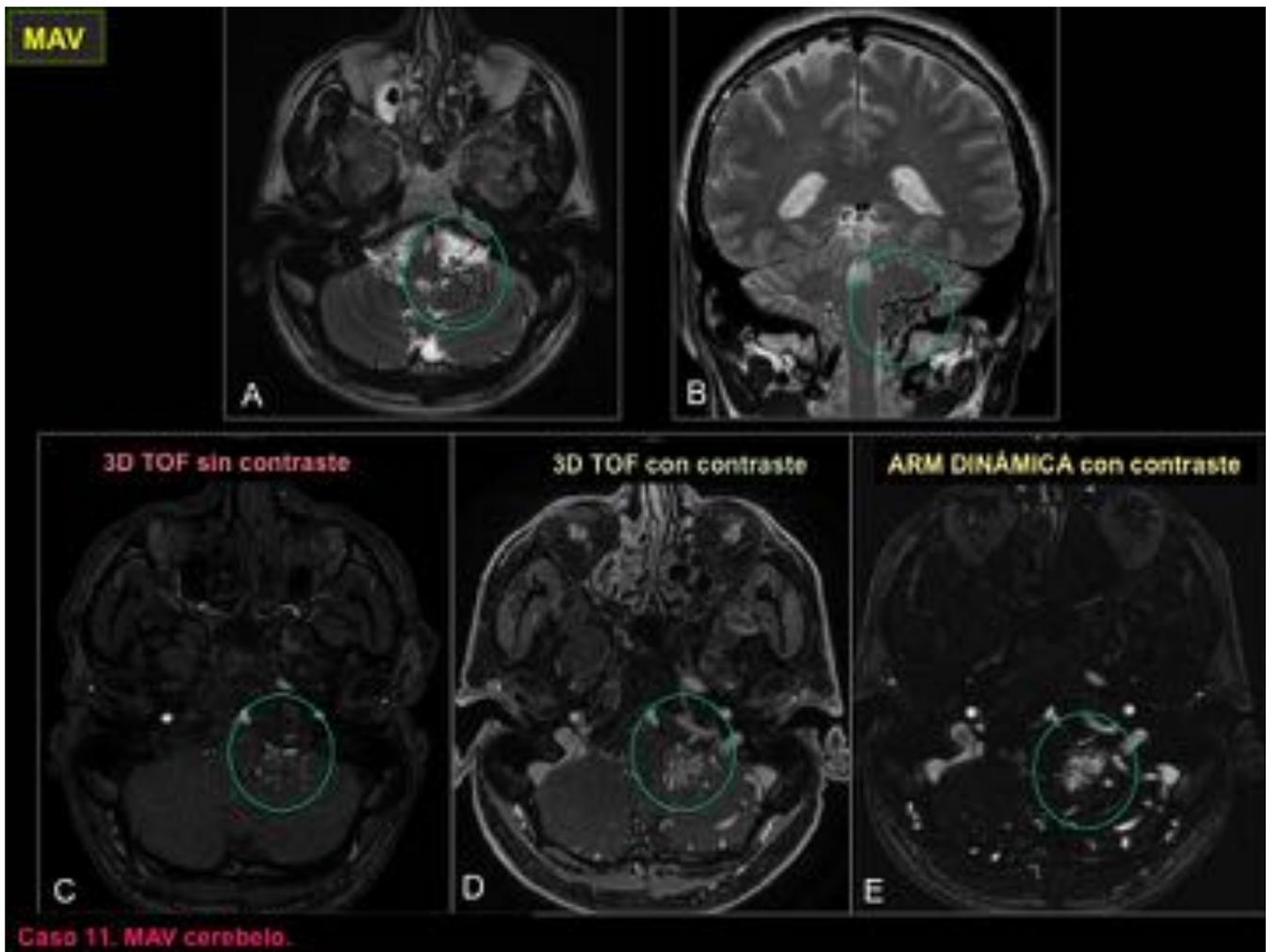


Fig. 37: MAV cerebelosa izquierda. Las secuencias T2 TSE de alta resolución (A y B) demuestran los vasos anómalos y su relación con el parénquima. Tanto la secuencia 3D TOF con contraste (D) como la ARM dinámica con civ (E) evidencian el nidus y los vasos en relación con la MAV. La secuencia 3D TOF (C) sin contraste no tiene utilidad en este contexto.

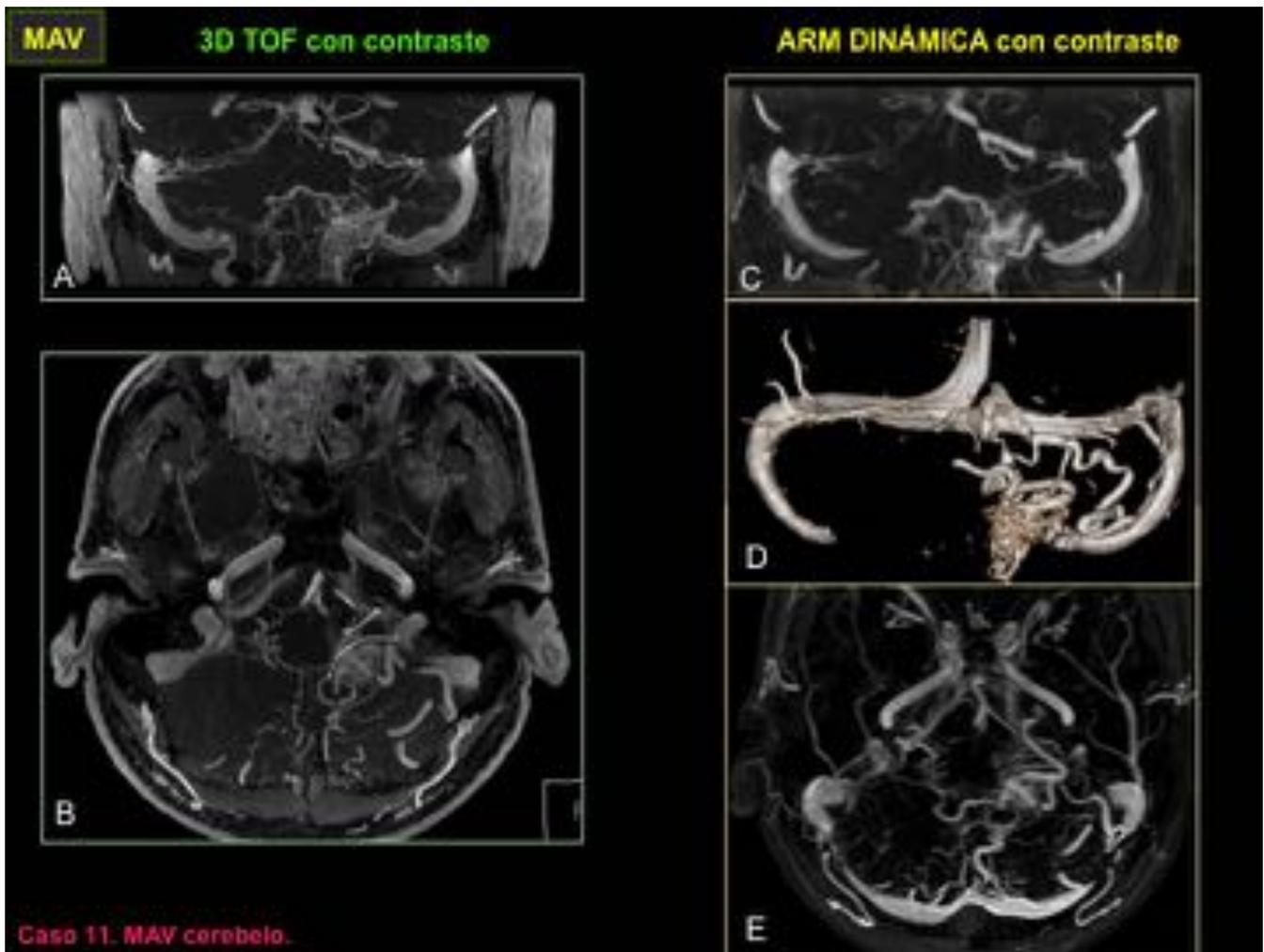


Fig. 38: MAV cerebelos izquierda. Reconstrucciones MPR/MIP y VR de las ARM con contraste.

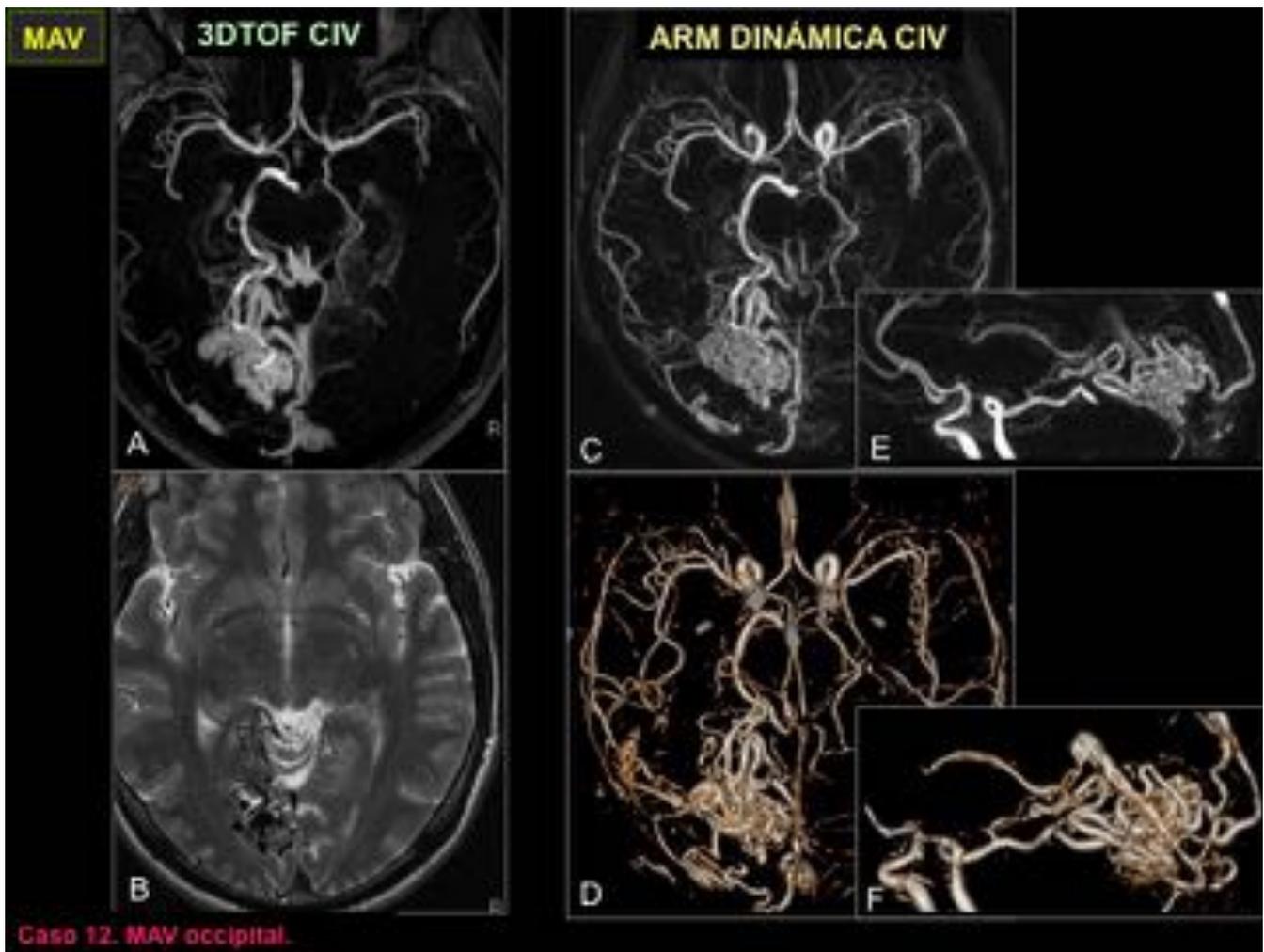


Fig. 39: MAV occipital derecha. Axial T2 TSE (B) y reconstrucciones MPR/MIP y VR de las secuencias de ARM con contraste (A, C, D, E y F).

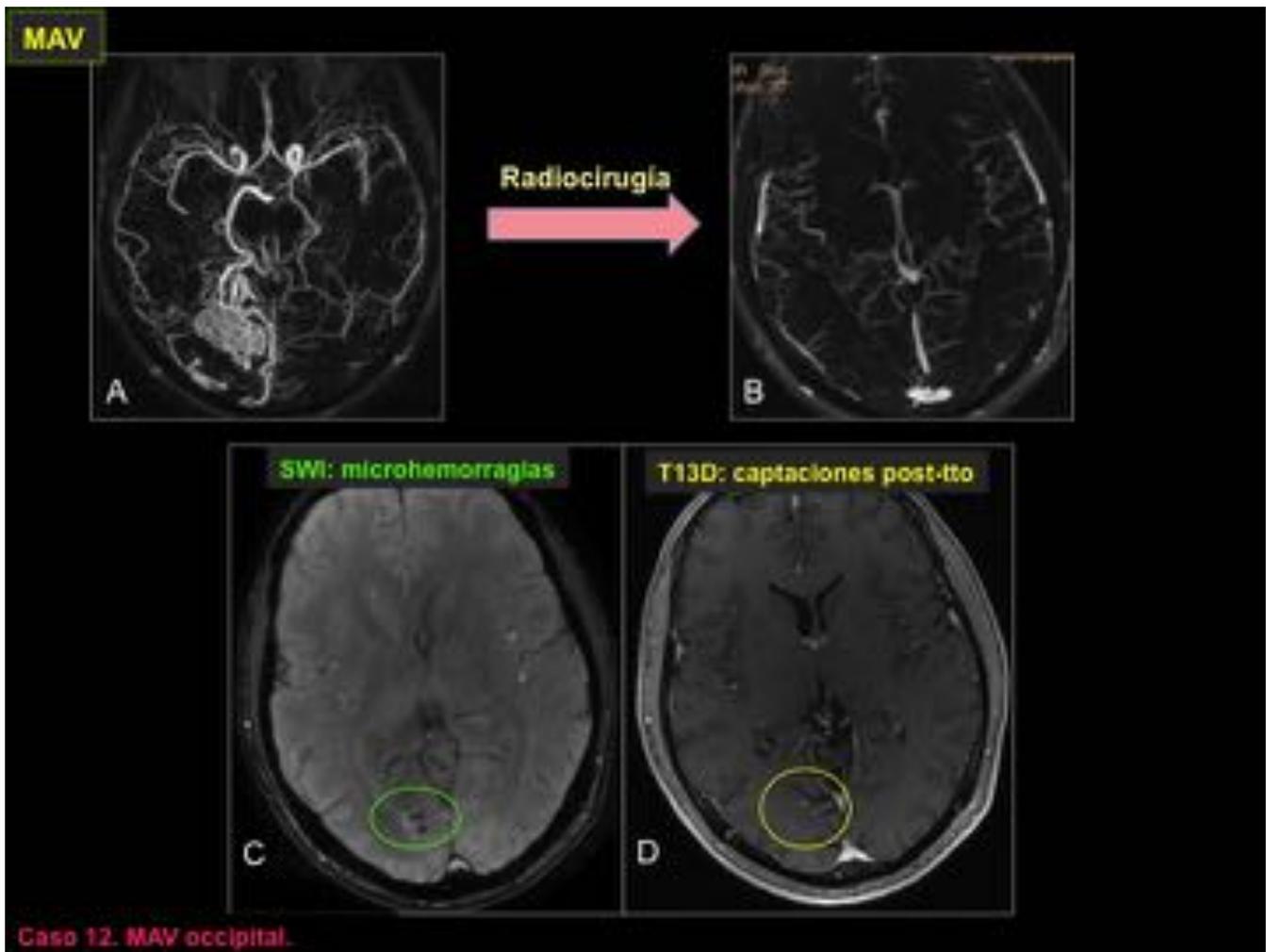


Fig. 40: MAV occipital derecha tras tratamiento con radiocirugía, sin restos de MAV en la ARM dinámica con contraste (B). Se evidencian microhemorragias en la secuencia de susceptibilidad (C) y pequeños focos de captación regionales en la secuencia T1-3D post-contraste, en relación con cambios post-tratamiento.

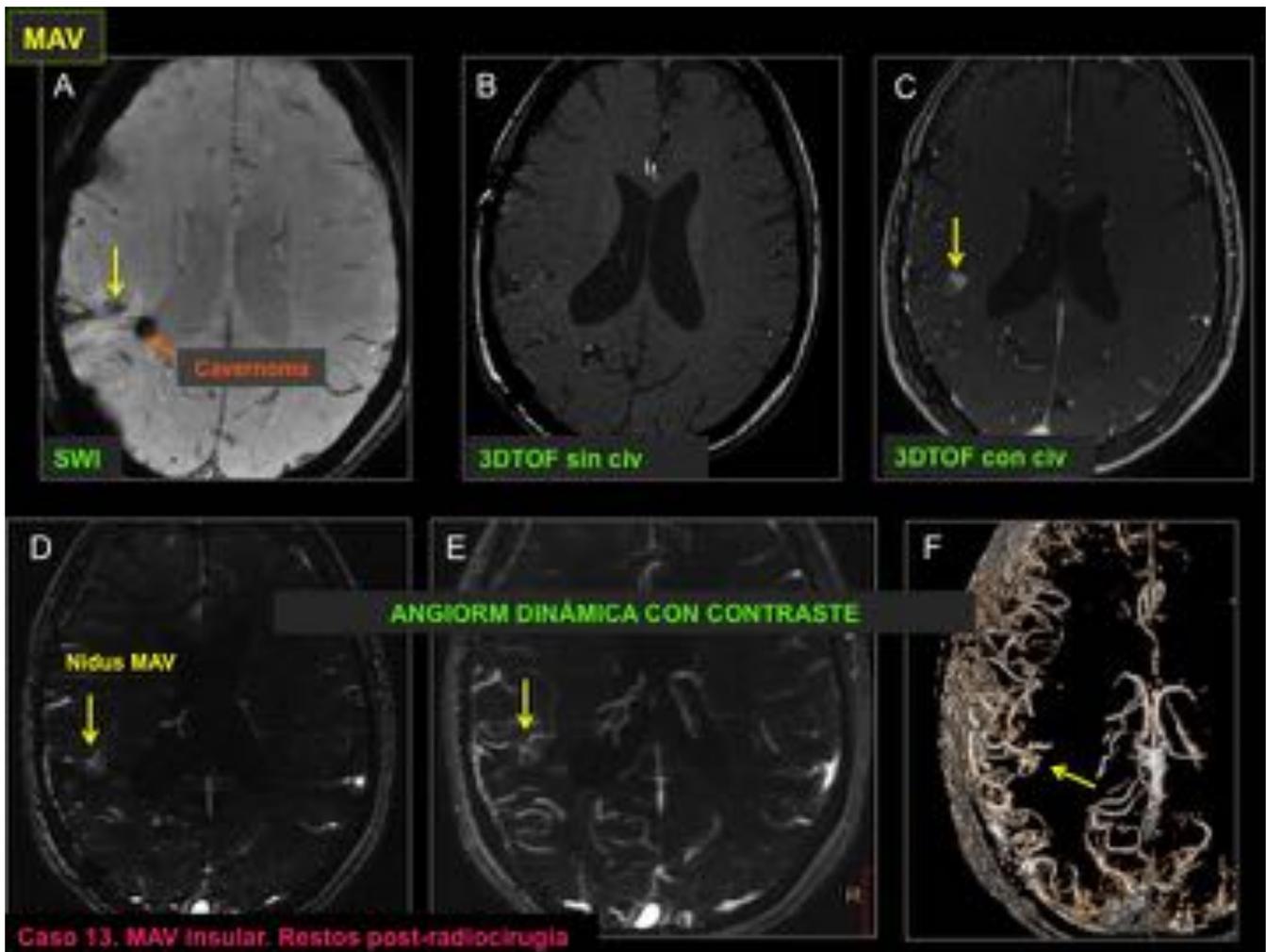


Fig. 41: MAV insular derecha tratada con radiocirugía con resto de 8mm. En la secuencia 3D TOF sin civ (B) no se identifica nidus. En la secuencia 3D TOF con civ (C) se visualiza un realce nodular que, en la ARM con civ (D, E y F) se demuestra que corresponde al nidus de la MAV.



Tabla 6. Protocolos de estudio. Patología carotidea y vertebral

Fig. 42: Protocolos de estudio. Patología carotidea y vertebral.

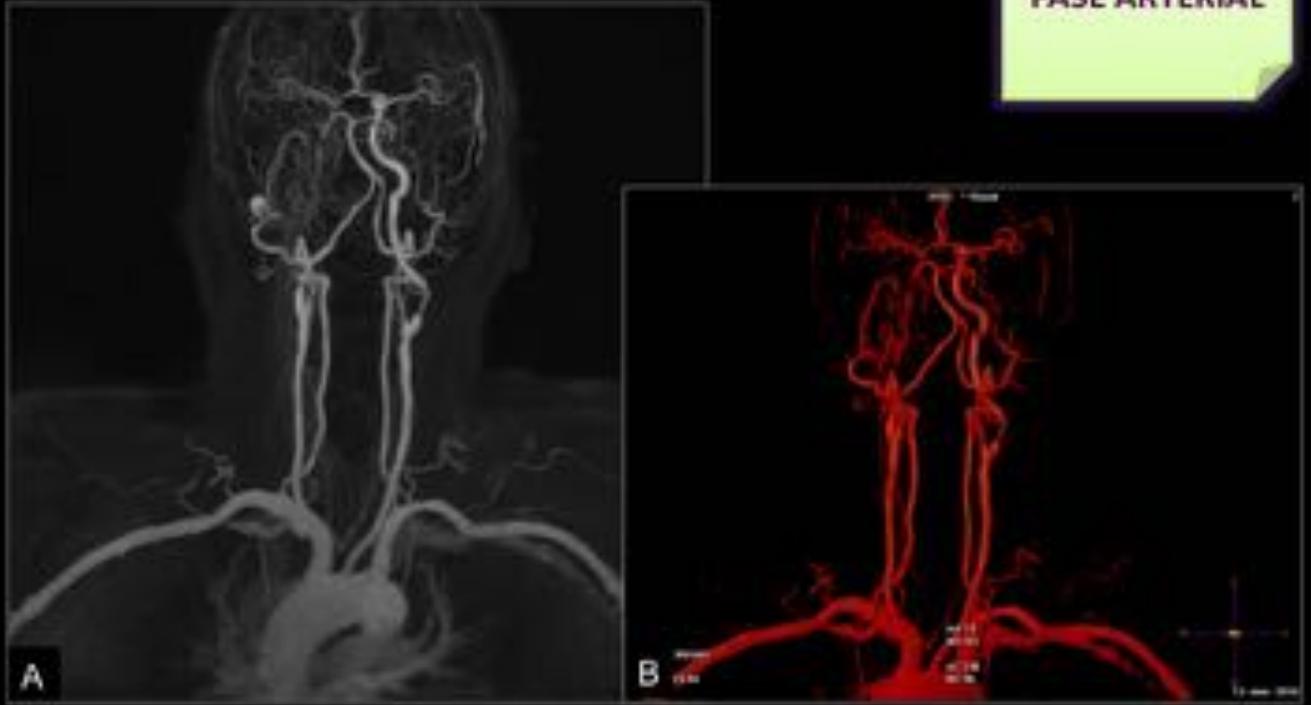


Fig. 43: La técnica de elección para el estudio de la patología carotídea y vertebral es la ARM dinámica con contraste y su post-proceso posterior con MPR/MIP/VR.

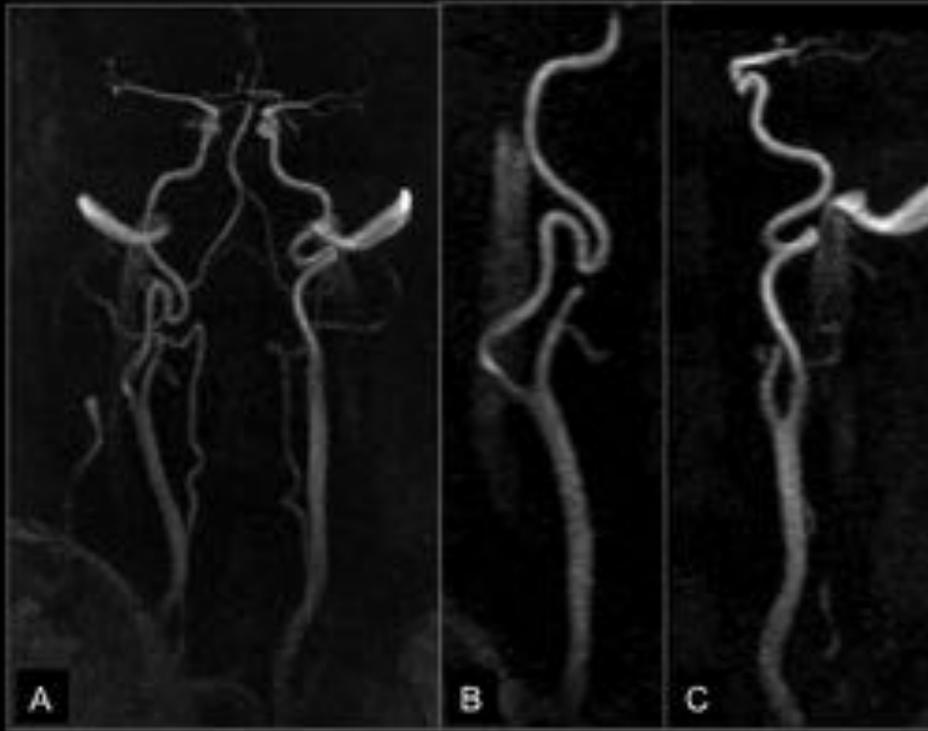


Fig. 44: Las técnicas de PC 3D y su post-proceso se pueden realizar en pacientes con contraindicación al contraste permitiendo, en los casos en los que se minimizan los artefactos intrínsecos a esta técnica, una aproximación bastante fiable en la valoración del eje carotídeo.

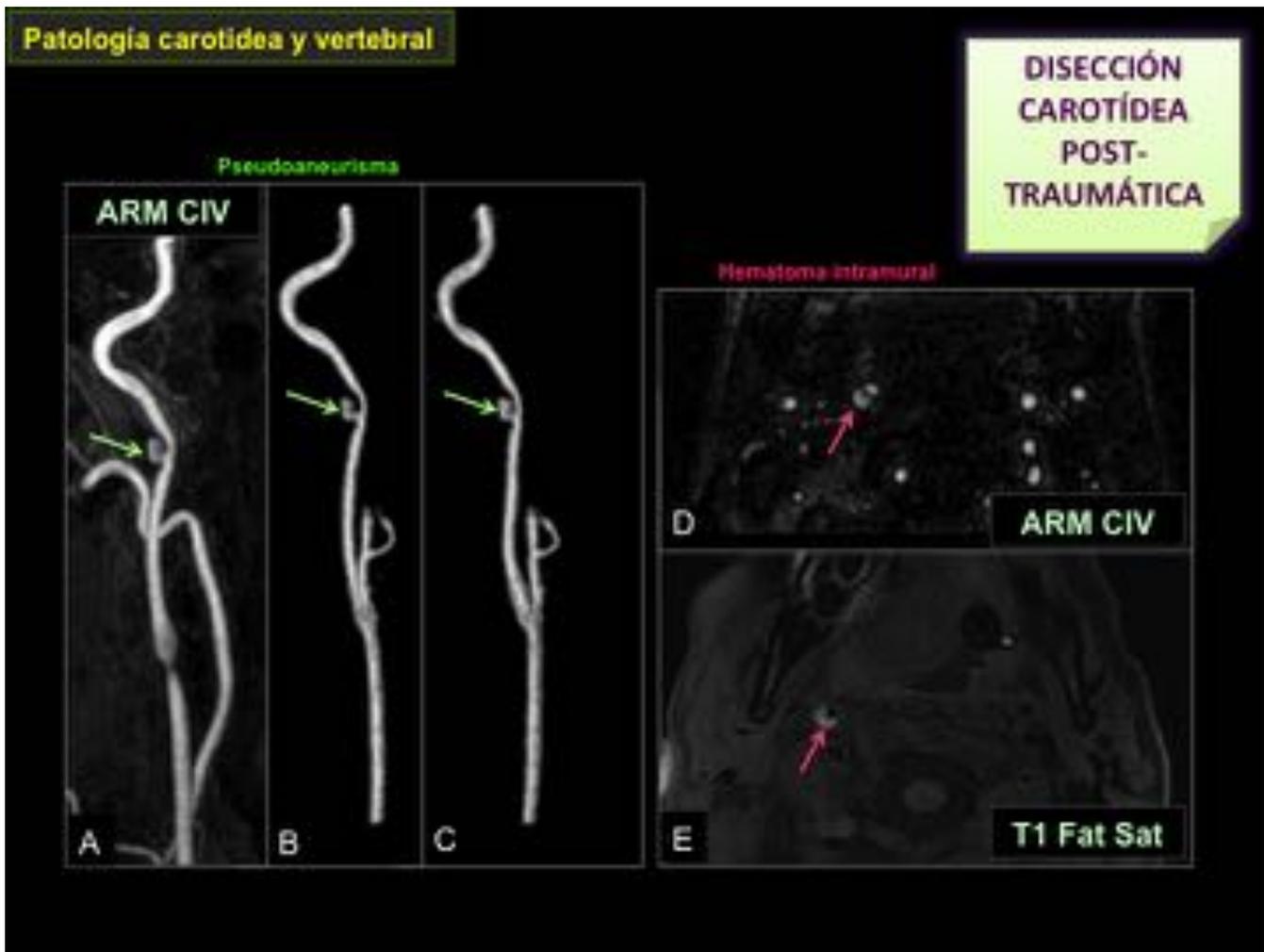


Fig. 45: Disección carotídea post-traumática con pseudoaneurisma que se visualiza en el estudio de ARM con civ. En estos casos puede ser útil la realización de la secuencia T1 Fat Sat sin contraste para demostrar el hematoma intramural (imagen hipertensa en semiluna) (flecha en E).

Conclusiones

Es necesario conocer las diferentes técnicas de ARM y sus principios físicos, así como las ventajas, limitaciones y posibles artefactos, para seleccionar mejor las secuencias dependiendo de la sospecha clínica.

Bibliografía / Referencias

1. Pandey S, Hakky M. Application of basics principles of physics to head and neck MR angiography: trouble shooting for artifacts, Radiographics 2013; 33:E113-E123. Published online 10.1148/rg.333125148

2. Morita S, Masukawa A. Unenhanced MR angiography: techniques and clinical applications in patients with chronic kidney disease. *Radiographics* 2011;31(2):E13-E33.
3. Ishimaru H et al. Accuracy of pre- and postcontrast 3D time of flight MR angiography in patients with acute ischemic stroke: correlation with catheter angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007;28:923-26.
4. Richard A, Levy J, Jeffrey H, Maki. Three-dimensional contrast-enhanced MR angiography of the extracranial carotid arteries: two techniques. *AJNR Am J Neuroradiol* 1998;19:688-690.
5. Leach J, Fortuna R. Imaging of cerebral venous thrombosis: current techniques, spectrum of findings and diagnostic pitfalls. *Radiographics* 2006;26:S19-S43.
6. Rolf Jäger H, Moore EA, Grieve JP. Contrast-enhanced MR angiography of intracranial giant aneurysm. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000;21:1900-1907.
7. Remonda L, Senn P. Contrast-enhanced MR angiography of the carotid artery: comparison with conventional digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2002;23:213-219.
8. Cashen TA, Carr JC. Intracranial time-resolved contrast-enhanced MR angiography at 3T. *AJNR Am J Neuroradiol* 2006; 27:822-29.
9. Gauvrit JY, Law M. Time resolved angiography: optimal parallel imagen method. *AJNR Am J Neuroradiol* 20017;28:835-38.
10. Sabry A, Elmogy, Jehan A, Mazroa. Non-invasive TOF MR angiographic follow up of coiled cerebral aneurysm. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine* 2012;43:33-40.
11. Chi-Chang Chen C, Chuen-Tsuei Chang P et al. CT angiography and MR angiography in the evaluation of carotid cavernous sinus fistula prior to embolization: a comparison of techniques. *AJNR AM J Neuroradiol* 2005;26:2349-2356.
12. Delgado F, Saiz A, Hilario A et al. Seguimiento mediante técnicas de neuroimagen de los aneurismas cerebrales tratados por vía endovascular. *Radiología* 2014;56(2):118-128.
13. Wallace RC, Karis JP. Noninvasive imaging of treated cerebral aneurysms, part I: MR angiographic follow up of coiled aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* 2007;28:1001-08.
14. Cekirge HS, Saatci I. A new aneurysm occlusion classification after the impact of flow modification. *AJNR Am J Neuroradiol*. Published August 27, 2015. DOI 10.3174/ajnr.A4489.
15. Lövblad et al. Intracranial aneurysm stenting: follow up with mr angiography. *J Magn Reson Imaging* 2006;24:418-422.
16. Idbaih A, Boukobza M. MRI of clot in cerebral venous thrombosis. High diagnostic value of susceptibility-weighted images. *Stroke* 2006;37:991-995.
17. Boukobza M, Crassard I. MR imaging features of isolated cortical vein thrombosis: diagnosis and follow-up. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:344-48.
18. Elnekeidy AE, Yehia A, Elfatary A. Importance of susceptibility weighted imaging (SWI) in management of cerebrovascular strokes (CVS). *Alexandria Journal of Medicine* 2014;50:83-91.
19. Meckel S, Maier M. MR angiography of dural arteriovenous fistulas: diagnosis and follow up after treatment using a time-resolved 3D contrast-enhanced technique. *AJNR Am J Neuroradiol* 28;877-84.
20. Seeger A, Kramer U. Feasibility of non-invasive diagnosis and treatment planning in a case series with carotid-cavernous fistula using high resolution time-resolved MR angiography. *Clin Neuroradiol* 2015;25(3):241-7.
21. Farb RI, Agid R. Cranial dural arteriovenous fistula: diagnosis and classification with time resolved angiography at 3T. *AJNR Am J Neuroradiol* 2009;30:1546-51.
22. Noguchi K, Kuwayama N. Intracranial dural arteriovenous fistula with retrograde cortical venous drainage: use of susceptibility-weighted imaging in combination with dynamic susceptibility contrast imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 2010;31:1903-10
23. Griffiths PD, Hoggard N. Brain arteriovenous malformations: assesment with dynamic MR digital subtraction angiography. *AJNR Am J Neuroradiol* 2000;21:1892-1899.
24. Geibprasert S, Pongpech S. Radiologic assesment of brain arteriovenous malformations: what clinicians need to know. *Radiographics* 2010;30:483-501.

25. Buis DR, Bot JCJ. The predictive value of 3D time-of-flight MR angiography in assesment of brain arteriovenous malformation obliteration after radiosurgery. *AJNR Am J Neuroradiol* 2012;33:232-38.
26. Hadizadeh DR, Kukuk GM. Noninvasive evaluation of cerebral arteriovenous malformations by 4D-MRA for preoperative planning and postoperative follou up in 56 patients: comparison with DSA and intraoperative findings. *AJNR Am J Neuroradiol* 2012;33:1095-101.
27. Golay X, Brown SJ. Time-resolved contrast-enhanced carotid MR angiography using sensitivity encoding (SENSE). *AJNR Am J Neuroradiol* 2001;22:1615-1619.
28. Rodallec M, Marteau V. Craniocervical arterial dissection: spectrum of imaging findings and differential diagnosis. *Radiographics* 2008;28:1711-1728.