

Malformación arteriovenosa cerebral tratada con radiocirugía. ¿Cómo informo esta RM?

Clara de Arriba Heras¹, Marta Acebrón González¹, Paula Heredia Cacha¹, Zhao Hui
Chen Zhou¹, Amaya Hilario Barrio¹, Eduardo Cabello Murillo¹, Juan Delgado
Fernández¹, Ana Ramos González¹

¹Hospital Universitario 12 de Octubre, Madrid

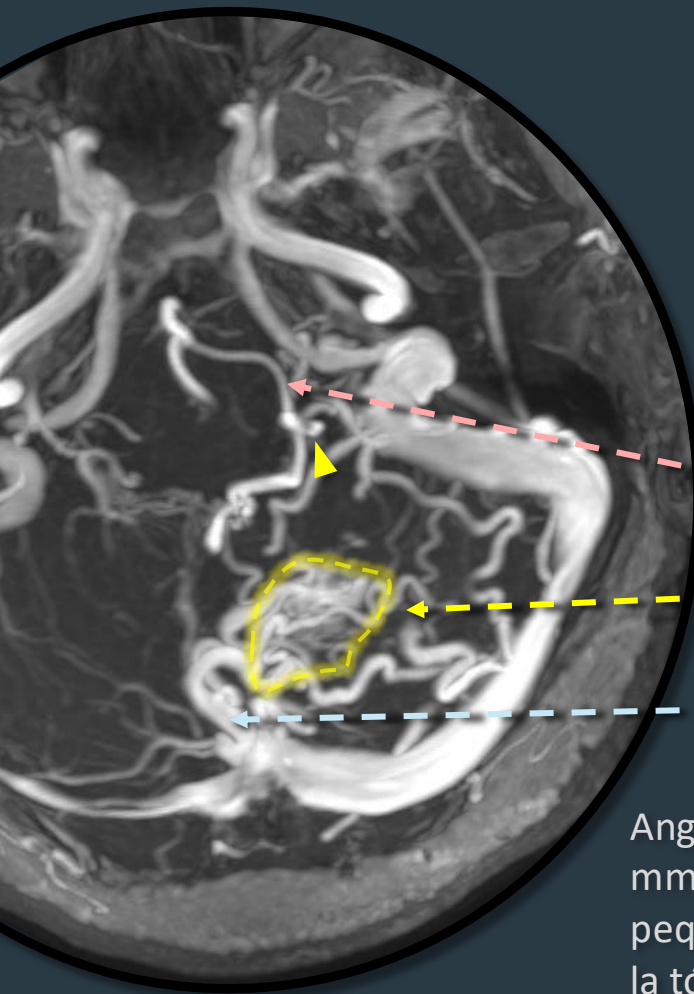
OBJETIVO DOCENTE

Revisión pictórica de casos pacientes con **malformaciones arteriovenosas (MAV) cerebrales** tratadas con **radiocirugía (RC)** en nuestro centro con la finalidad de:

1. **Reconocer** con la **evolución esperable** tras el tratamiento.
2. Identificar las **posibles complicaciones** intracraneales del tratamiento.

En última instancia, el objetivo es facilitar la realización del informe radiológico en la evolución de las MAV cerebrales tratadas con radiocirugía.

Una **malformación arteriovenosa cerebral (MAV)** es una comunicación anómala entre arterias y venas cerebrales a través de un entramado de vasos displásicos serpiginosos denominado **nidus**, sin un lecho capilar interpuesto, generalmente rodeado por tejido cerebral gliótico [1].

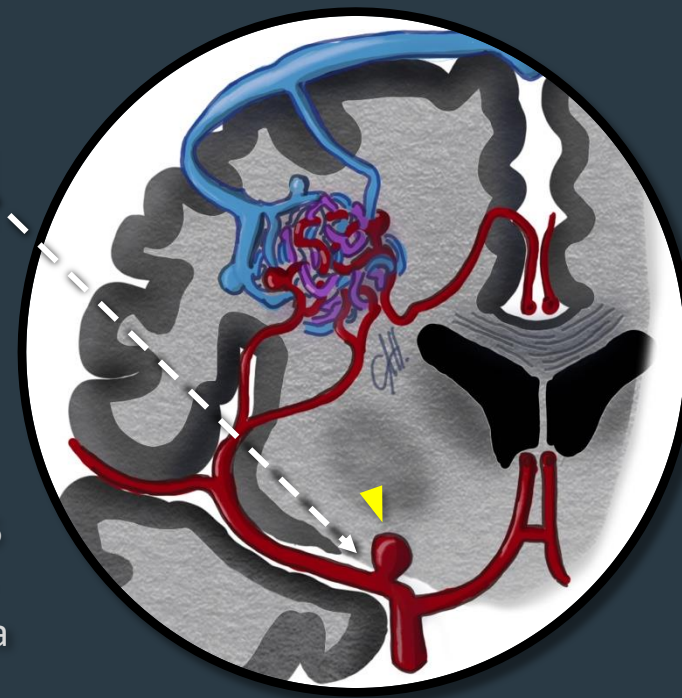


Arterias aferentes +/- aneurisma de flujo (▶)

NIDUS

Drenaje venoso

Angio-RM dinámico (MIP): MAV cerebelosa izquierda con nidus de 15 mm, que recibe aporte arterial de PICA izquierda, la cual presenta un pequeño aneurisma de flujo (punta de flecha), y drenaje venoso hacia la tórula y la vena de Galeno.





Las **MAVs** son las malformaciones vasculares cerebrales **más frecuentemente asociadas a hemorragia**, y su manejo se decide en **comités multidisciplinares** en función del riesgo de sangrado de cada paciente.



RIESGO DE SANGRADO

FACTORES DE RIESGO [1,2,4]

Hemorragia previa

Tamaño: microMAVs (nidus < 1cm)
Drenaje venoso profundo / único
Localización subcortical/fosa posterior
Edad pediátrica
Aneurismas de flujo

Ensayo ARUBA → riesgo de sangrado de una MAV no rota y no tratada es del **2-3 %** por año.

Sin embargo, dependiendo de varios factores, el **riesgo acumulado de sangrado** puede alcanzar **hasta el 30 %**, siendo el **principal factor de riesgo** el antecedente de **hemorragia previa** [2,3].

Tratamiento
conservador

Cirugía

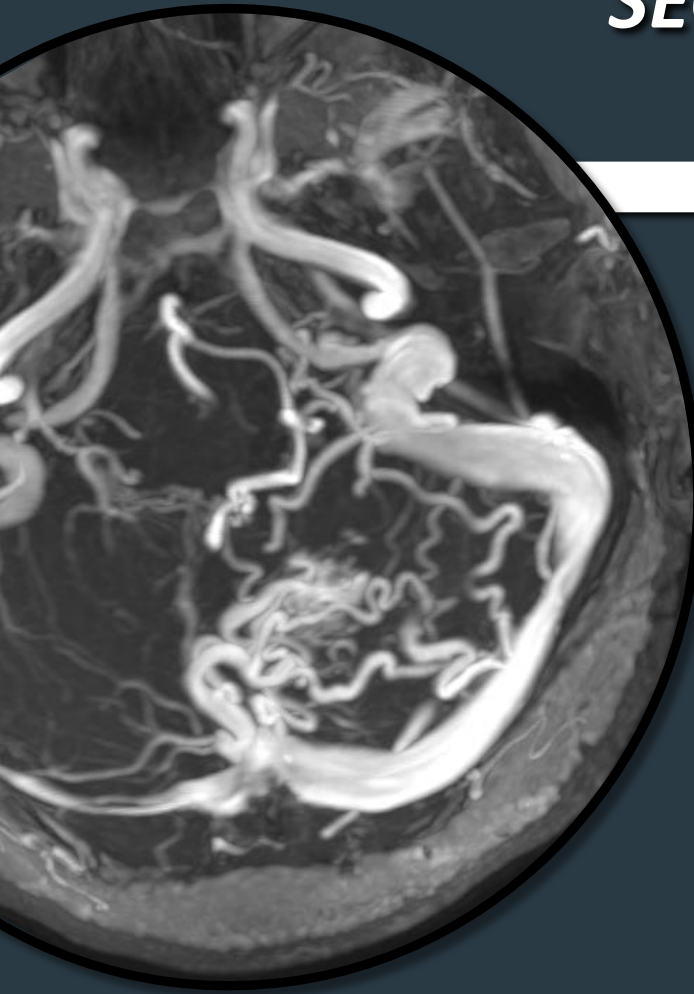
Embolización

Radiocirugía →

La **RADIOCIRUGÍA (RC)** es un tratamiento no invasivo que administra radiación focalizada de alta dosis obliterando gradualmente los vasos sanguíneos anómalos hasta cerrar el nidus por completo, con el objetivo de eliminar así el riesgo de sangrado [2].

- **Eficaz en MAVs de tamaño pequeño a mediano (nidus ≤ 3 cm)**, aunque hay estrategias de RC fraccionada por volumen para tratar MAVs mayores [2,5].
- Suele ser la estrategia de elección en **MAVs de localización en estructuras profundas o elocuentes** [2].

SEGUIMIENTO DE MAV CEREBRAL TRAS RC



Radiocirugía

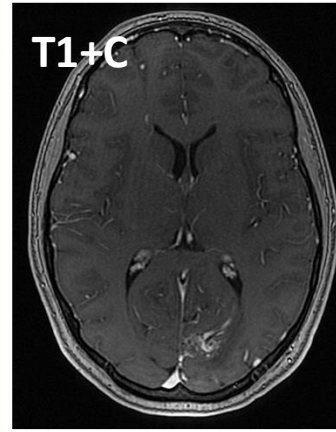
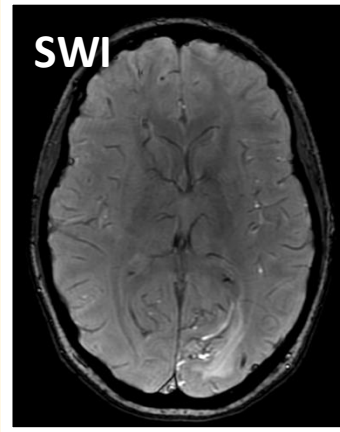
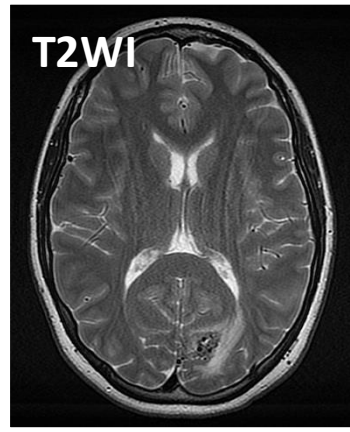
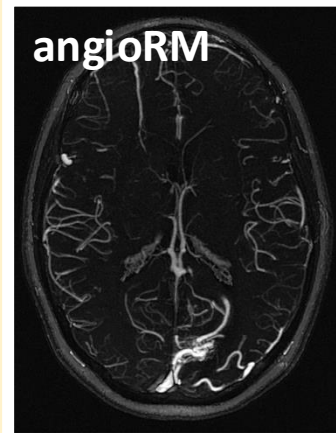
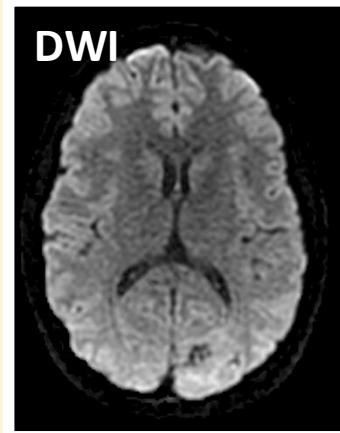
RMs de seguimiento
+/- ARTERIOGRAFÍA

OBJETIVOS DEL SEGUIMIENTO RADIOLÓGICO

1. Confirmar la **obliteración** o existencia de nidus residual
2. Reconocer los **cambios esperables** post-RC
3. Detectar **complicaciones** relacionadas con el tratamiento
4. Detectar **RESANGRADO** del nidus residual



PROTOCOLO DE IMAGEN PARA MAV TRATADA CON RC



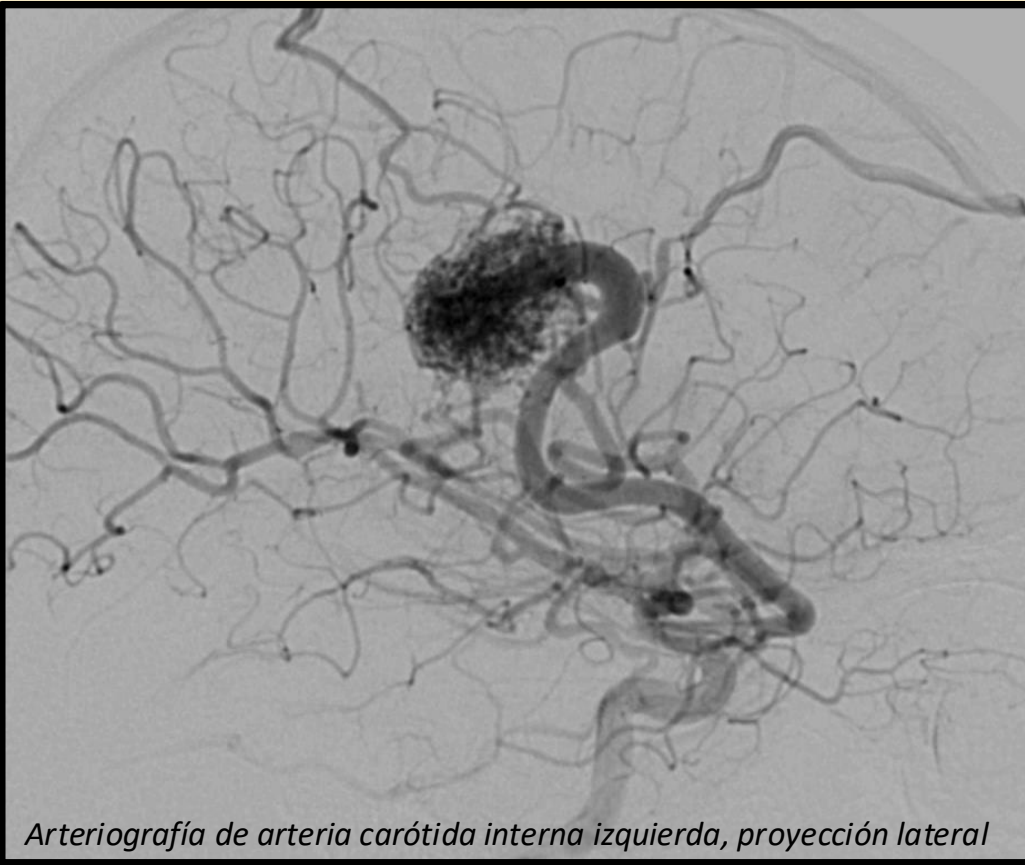
La **RM convencional** y la **angio-RM** han demostrado utilidad para predecir la obliteración de la MAV durante el seguimiento tras la RC

Tras el tratamiento con RC, el protocolo de **RM en nuestro centro** incluye:

- 3DT1WI volumétrica sin contraste
- T2WI axial de alta resolución en cortes finos (2 mm sin espacio) - ideal para la planificación RC
- Imagen ponderada en difusión (DWI)
- Imagen ponderada en susceptibilidad (SWI)
- Angio-RM dinámica con contraste (CE-MRA)
- 3DT1WI con contraste

*La secuencia FLAIR es opcional.

PROTOCOLO DE IMAGEN PARA MAV TRATADA CON RC



Arteriografía de arteria carótida interna izquierda, proyección lateral

Aunque la RM convencional y la angio-RM son útiles en el seguimiento, la **ARTERIOGRAFÍA CONVENCIONAL** sigue siendo el **ESTÁNDAR DE REFERENCIA** para el diagnóstico (evaluación del drenaje venoso precoz) y para confirmar la obliteración del nidus.



Indicaciones de arteriografía en el seguimiento tras RC:

- a) Nidus obliterado en RM = confirmar éxito de RC ^[6]
- b) Nidus persistente a los 5 años tras la RC = evaluar la necesidad de intervenciones adicionales
- c) Resangrado

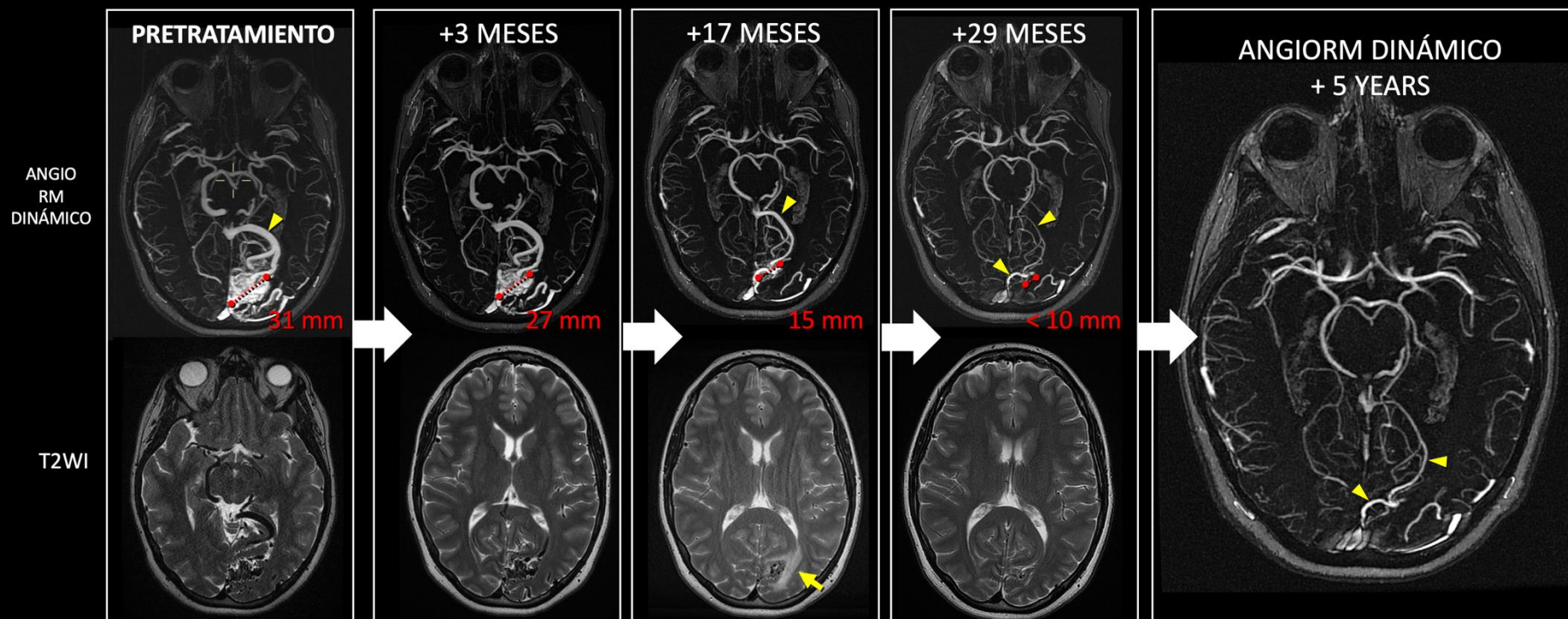
1. OBLITERACIÓN NIDUS

2. CAMBIOS POST-RC

3. COMPLICACIONES RC

3. COMPLICACIONES MAV RESIDUAL

La RC induce una proliferación endotelial que provoca una **reducción gradual del calibre de los vasos de drenaje**, con enlentecimiento del flujo vascular y, en última instancia, trombosis endoluminal. La obliteración suele ser gradual y proporcional al tamaño de los vasos; **comienza con las arterias aferentes y el nidus**, y las últimas en cerrarse son las venas de drenaje.



RM con angio-RM

EFICAZ en el seguimiento de MAVs tratadas con RC^[2]

Secuencias más fiables para evaluar el nidus residual:
angio-RM dinámico
angio-RM con resolución temporal (4D)^[2, 6]

Tratamiento de RC sobre MAV occipital izquierda. Las imágenes muestran los cambios post-RC transitorios (flecha) y el cierre progresivo del nidus hasta identificar únicamente algunas venas de drenaje dilatadas residuales (cabezas de flecha). El cierre de la MAV se confirmó con arteriografía (no se muestra), tal y como predecían las imágenes de angioRM.

1. OBLITERACIÓN
NIDUS

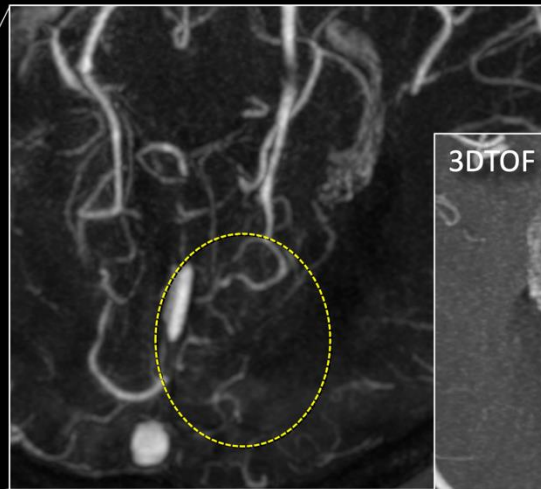
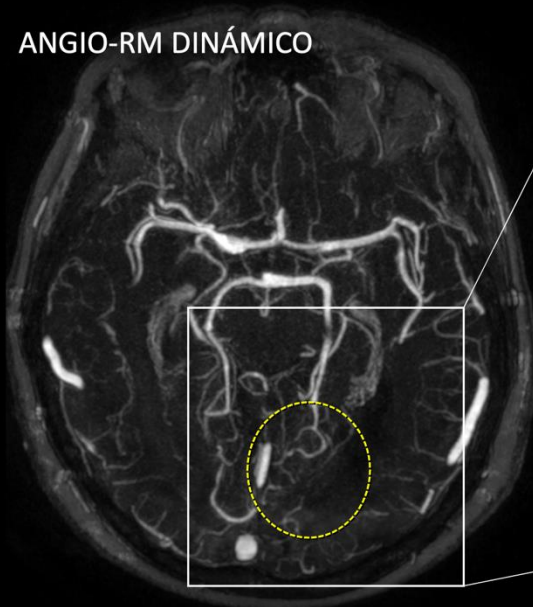
2. CAMBIOS
POST-RC

3. COMPLICACIONES
RC

3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

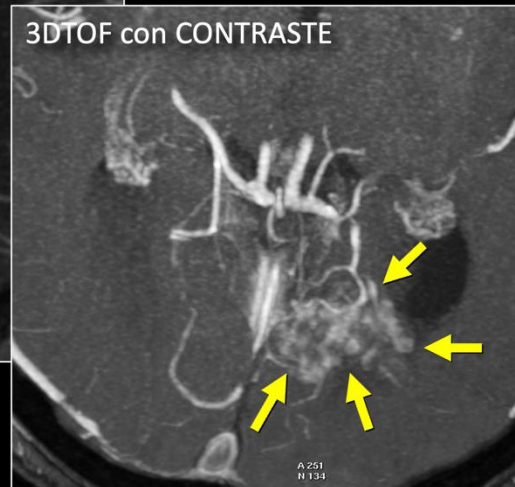
En MAV tratadas con RC - **EVITAR la secuencia 3D-TOF postcontraste:** puede existir hiperintensidades de señal en T1 en el lecho de la MAV –restos hemáticos, trombo o realce parenquimatoso tras RC— que no se sustraen y pueden llevar a error, al confundirlos con nidus residual [1, 7].

ANGIO-RM DINÁMICO



NO NIDUS RESIDUAL

3DTOF con CONTRASTE



REALCE PARENQUIMATOSO
PARCHEADO

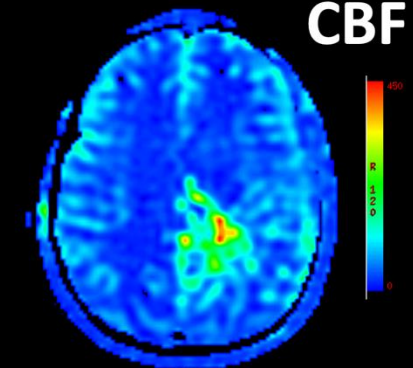
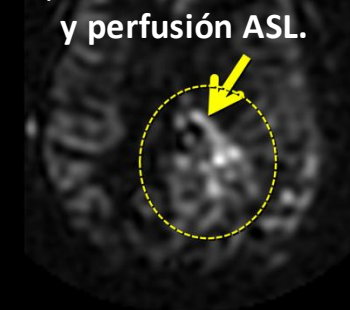
El realce parcheado que puede aparecer en el lecho de la MAV se debe a rotura de la barrera hematoencefálica

PERFUSIÓN ASL

(sin contraste paramagnético)

Permite detectar nidus residuales o venas de drenaje, al detectar hiperseñal en áreas de aumento del flujo sanguíneo cerebral [1, 8].

En el seguimiento a largo plazo de MAV pequeñas se podría alternar entre angio-RM y perfusión ASL.



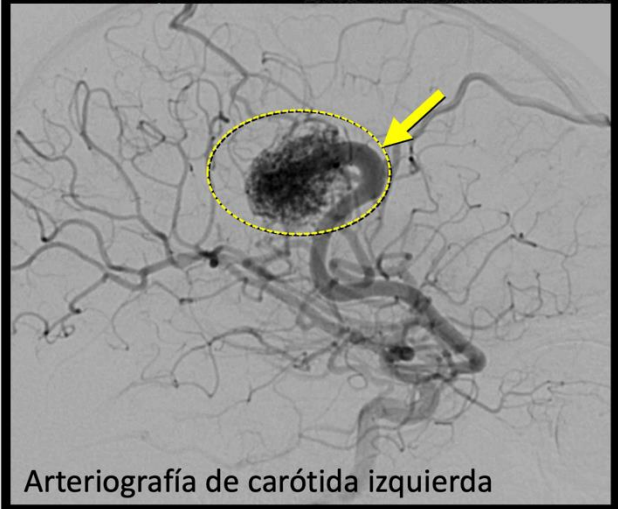
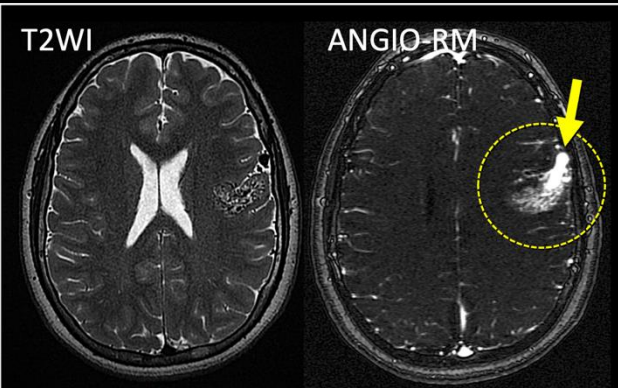
1. OBLITERACIÓN NIDUS

2. CAMBIOS POST-RC

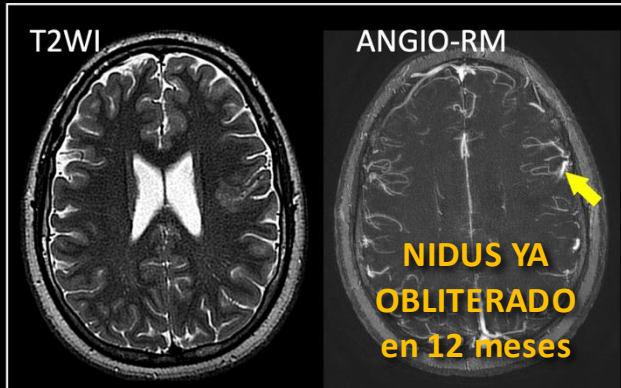
3. COMPLICACIONES RC

3. COMPLICACIONES MAV RESIDUAL

PRETRATAMIENTO



1ER CONTROL AL AÑO DE LA RC



A LOS 5 AÑOS

Confirma el éxito del tratamiento



Objetivo final de la RC = obliteración completa

Se logra lograda aproximadamente en el 70 % de los casos, con tasas de obliteración de 40 % a los 3 años y 60 % a los 4 años ^[3].

La evolución es muy VARIABLE:

- Algunos: obliteración temprana en < 18 meses - *(ejemplo de la izquierda)*
- otros tardan 2-3 años
- e incluso hasta 5 años

Se recomienda un **seguimiento de 4-5 años** antes de considerar tratamientos adicionales ^[3].

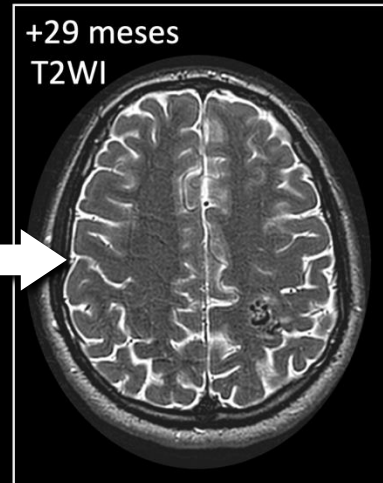
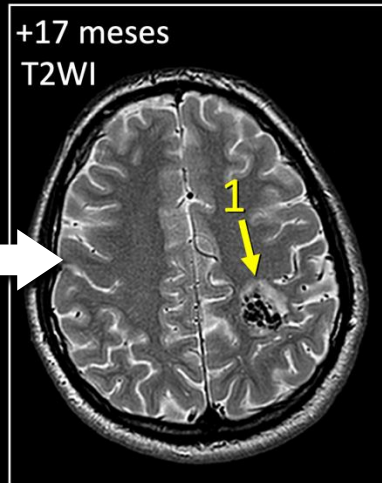
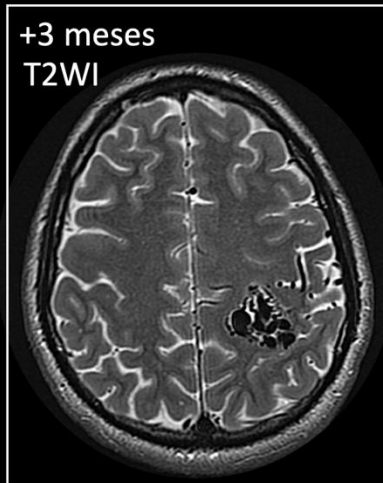
En el 20 % y 50 % de las MAV tratadas con RC no se obliteran completamente en este periodo. En estos casos, repetir la RC puede ser una opción, con tasas de obliteración de hasta 58 % tras tratamiento repetido [9].

1. OBLITERACIÓN NIDUS

2. CAMBIOS POST-RC

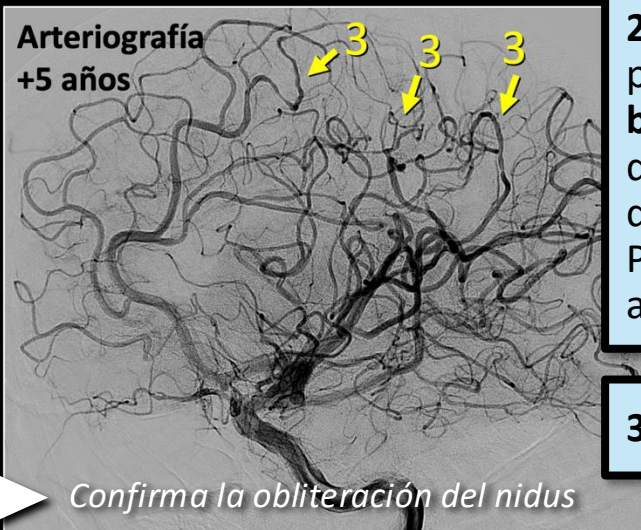
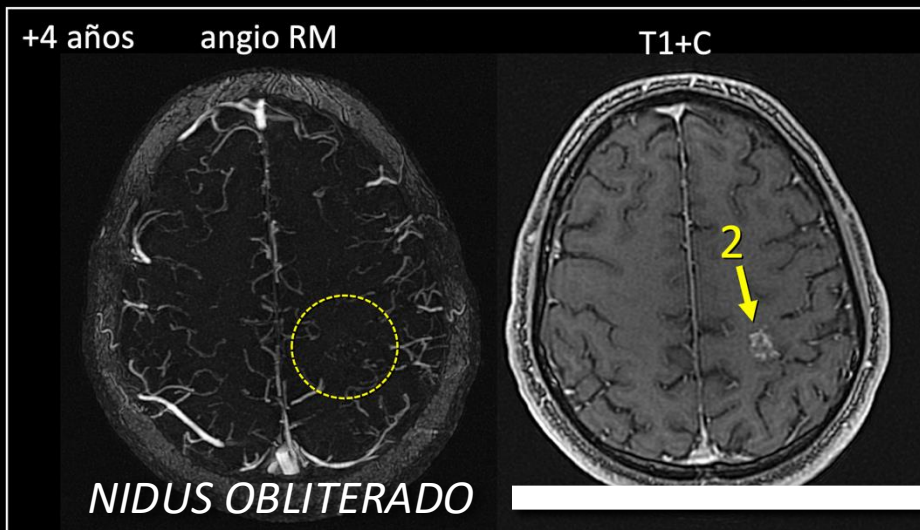
3. COMPLICACIONES RC

3. COMPLICACIONES MAV RESIDUAL



1. Hiperintensidad perinidal en secuencias T2 - inflamación post-RC o edema perilesional leve [2,9, 10] por cambios hemodinámicos en el nidus, sin efecto de masa significativo. Se observa en más de $\frac{1}{4}$ de los pacientes; con frecuencia es asintomático y transitorio, y se considera un buen predictor de éxito terapéutico.

Cuando estas hiperintensidades persisten en etapas tardías con pérdida de volumen, pueden corresponder a **cambios glióticos** [2].



2. Realce parenquimatoso en secuencias T1 postcontraste – **secundario a alteración de la barrera hematoencefálica**, con extravasación de contraste que produce realce parcheado del área irradiada. Por este motivo, evitamos la realización del angioRM 3D-TOF con contraste.

3. Otros hallazgos: irregularidades vasculares

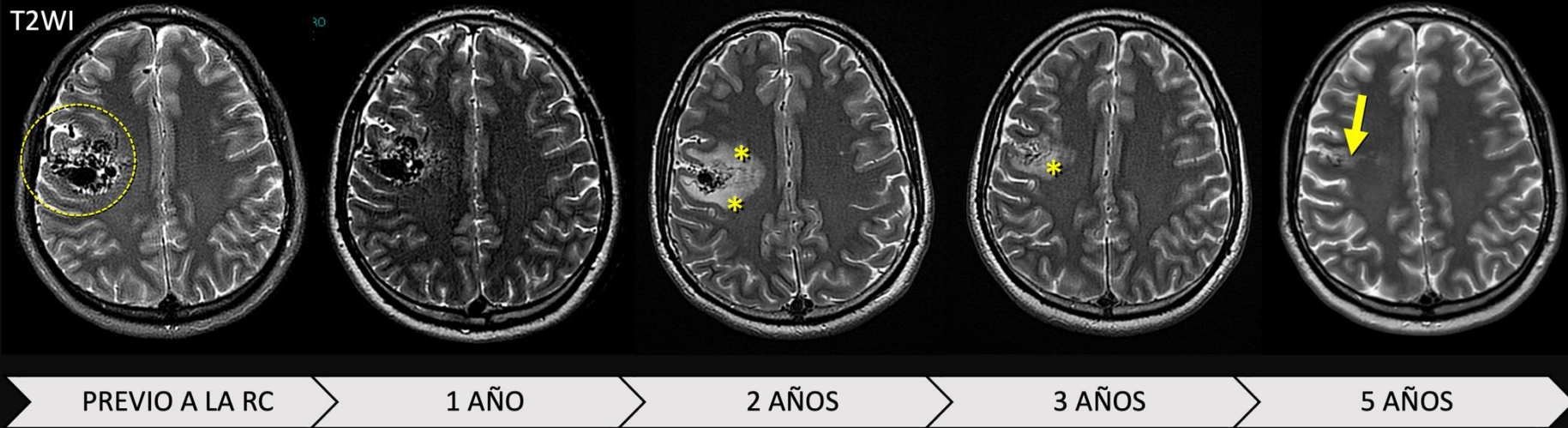
1. OBLITERACIÓN NIDUS

2. CAMBIOS POST-RC

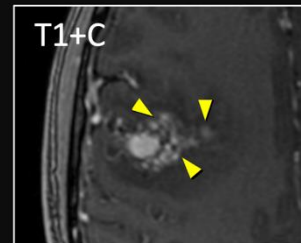
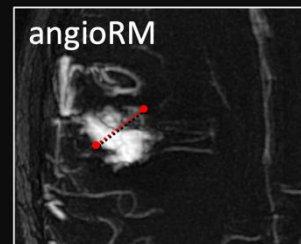
3. COMPLICACIONES RC

3. COMPLICACIONES MAV RESIDUAL

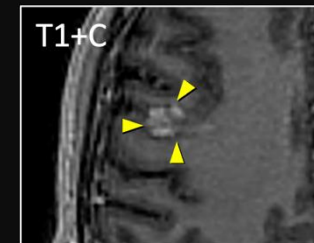
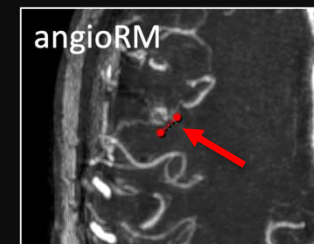
Evolución de los cambios inducidos por la radiación en una MAV frontal derecha tratada con RC



- **Hiperintensidades T2 perinidales transitorias** relacionadas con cambios inflamatorios y edema (*) que alcanzan su máximo a los 2 años del tratamiento y se resuelven gradualmente, dejando una pequeña área de gliosis (flecha).
- **T1 post-contraste: realce parenquimatoso perinidal** (cabezas de flecha) por **disrupción de la barrera hematoencefálica**.



Angio-RM: obliteración progresiva del nidus



MicroMAV residual
5 años después del tratamiento

SEGUIMIENTO DE MAV CEREBRAL TRAS RC

1. OBLITERACIÓN
NIDUS

2. CAMBIOS
POST-RC

3. COMPLICACIONES
RC

3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

EDEMA VASOGÉNICO

RADIONECROSIS

TROMBOSIS VENOSA

ISQUEMIA AGUDA

Otras complicaciones descritas:

- Formación tardía de quistes
- Tumores inducidos por radiación
- Complicaciones vasculares como vasculopatía esteno-oclusiva, cavernomas y aneurismas intracraneales inducidos por radiación

SEGUIMIENTO DE MAV CEREBRAL TRAS RC

1. OBLITERACIÓN
NIDUS

2. CAMBIOS
POST-RC

3. COMPLICACIONES
RC

3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

angioRM
pretratamiento

EDEMA VASOGENICO

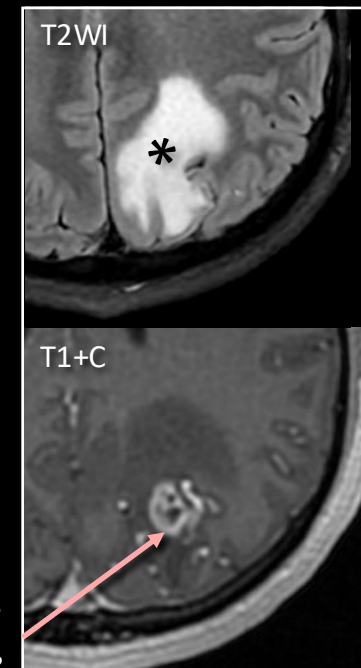
Resultado de:

- cambios inflamatorios
- alteración de la barrera hematoencefálica
- oclusión prematura de venas de drenaje que conduce a congestión venosa e hipertensión vascular

A diferencia de los cambios esperables por radiación, suele ser **más extenso y con efecto de masa, frecuentemente SINTOMÁTICO**, y puede requerir corticoides y terapia antiangiogénica.

Generalmente se asocia a **otras complicaciones** (radionecrosis, trombosis venosa).

MAV PARIETAL IZQUIERDA (flecha) tratada con RC
A los 7 meses acude a urgencias **con crisis tónico-clónica generalizada** y se realiza TC que demuestra **edema vasogénico (*)** en el área que ocupaba la MAV con leve efecto de masa del atrio ventricular izquierdo.



El estudio de RM demostró la existencia de un área de **RADIONECROSIS** subyacente

1. OBLITERACIÓN
NIDUS

2. CAMBIOS
POST-RC

3. COMPLICACIONES
RC

3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

RADIONECROSIS

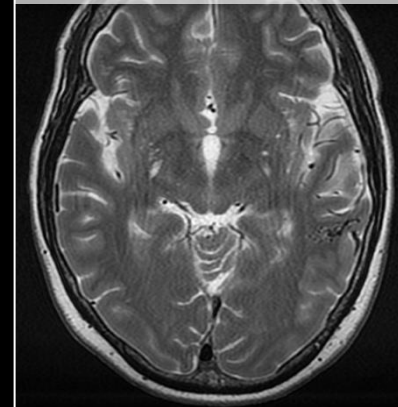
Complicación tardía de la RC.
Incidencia de hasta **10–20 %** [3].

Se trata de una lesión ocupante de espacio con realce y necrosis central que aparece en el área irradiada, generalmente rodeada de **edema vasogénico moderado/severo**.

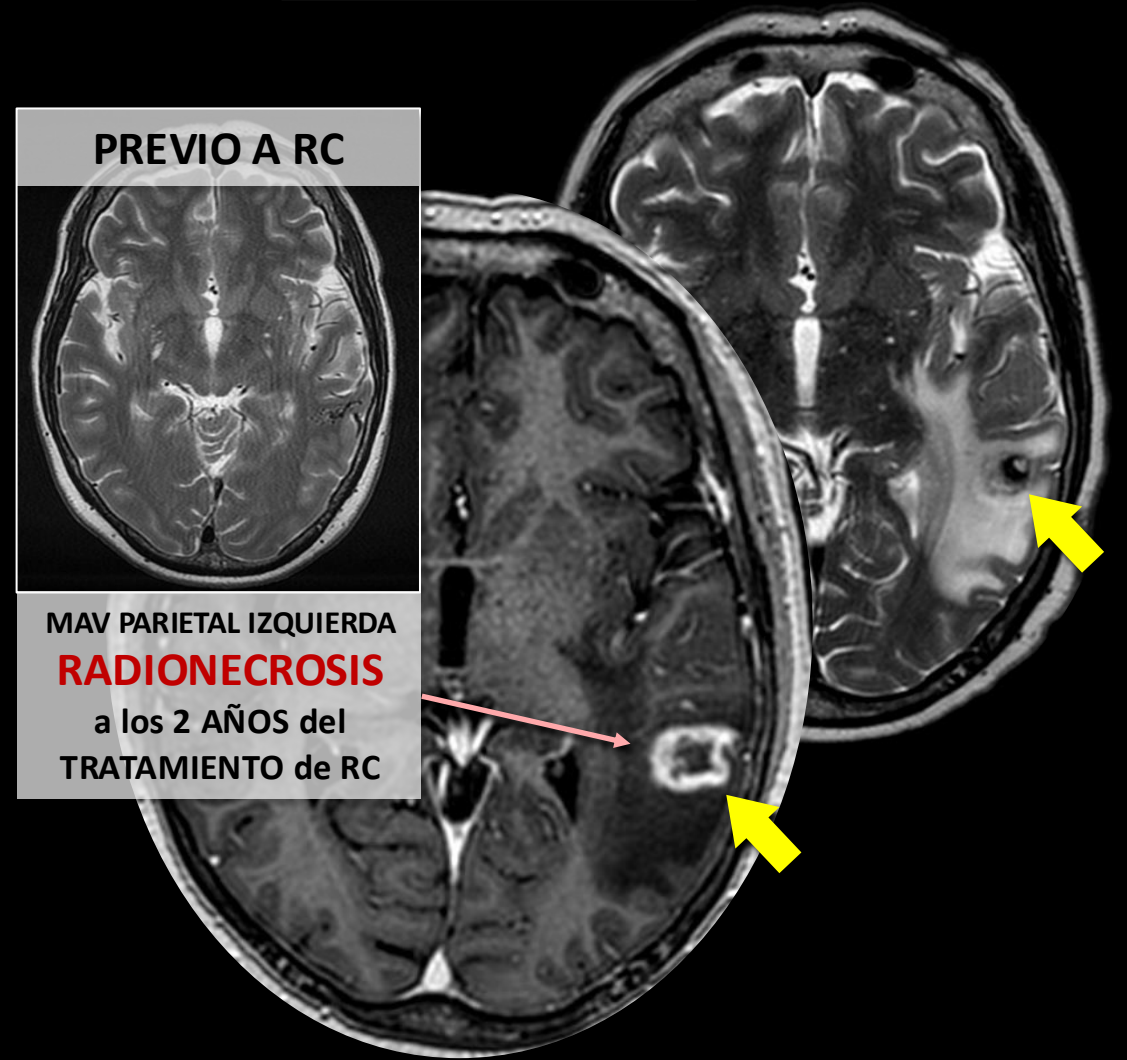
Es más probable en casos con:

- dosis altas de radiación
- grandes volúmenes de tejido irradiado
- tratamientos repetidos de RC

PREVIO A RC



MAV PARIETAL IZQUIERDA
RADIONECROSIS
a los 2 AÑOS del
TRATAMIENTO de RC



1. OBLITERACIÓN
NIDUS

2. CAMBIOS
POST-RC

3. COMPLICACIONES
RC

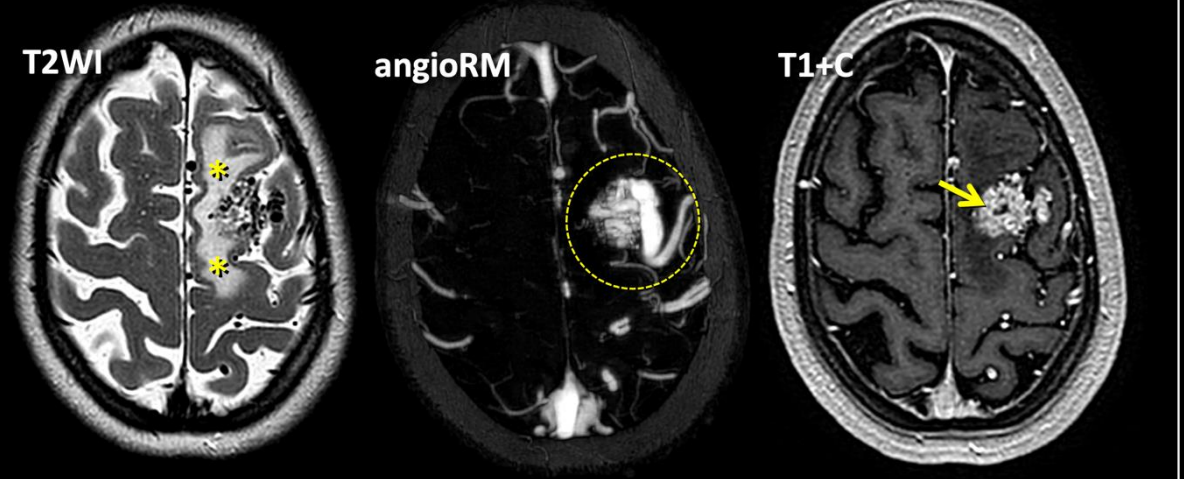
3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

RADIONECROSIS

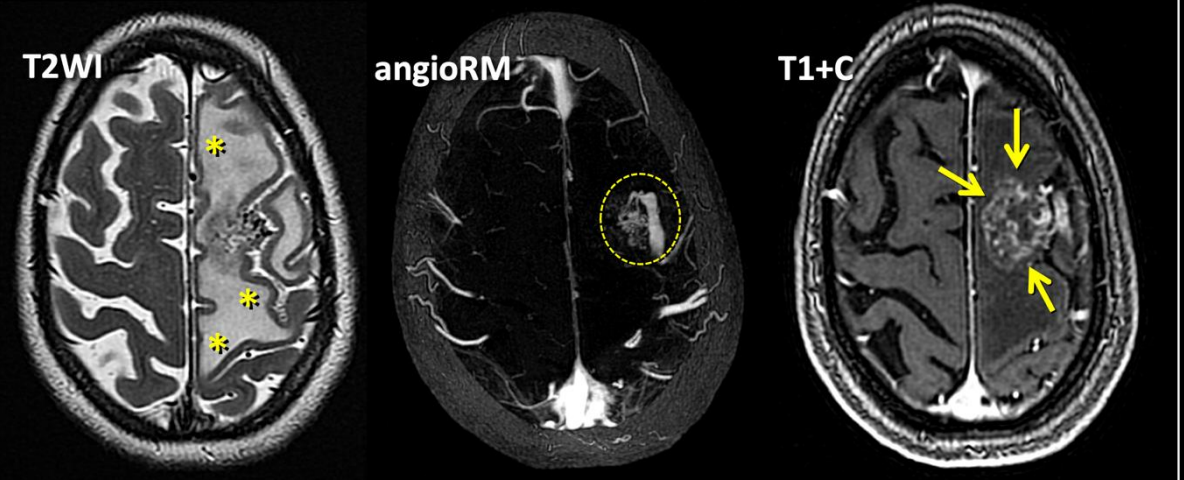
Inicialmente indistinguible del realce residual post-RC, siendo necesario el seguimiento estrecho para valorar progresión.

MAV frontal izquierda tratada con RC. Al año, existe un nidus residual (círculo) rodeado de edema vasogénico (**) y realce perinidal (flecha) atribuible a cambios postratamiento. A los 2 meses, se objetiva reducción del nidus (círculo) y **aumento en la extensión del edema vasogénico** circundante con **crecimiento del área de realce** en forma de una **lesión expansiva** (flechas) que, por su evolución, es compatible con **RADIONECROSIS**.

1er control al año



+ 2 meses



1. OBLITERACIÓN
NIDUS

2. CAMBIOS
POST-RC

3. COMPLICACIONES
RC

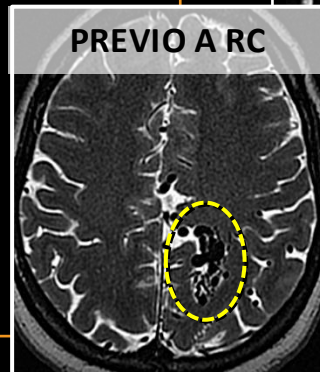
3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

RADIONECROSIS

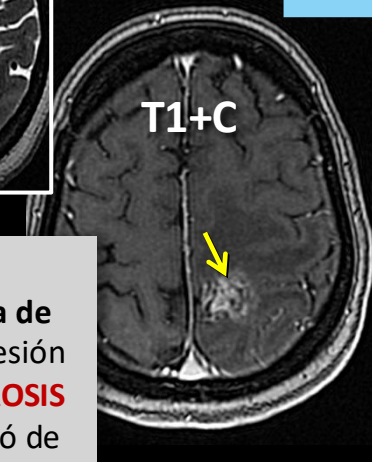
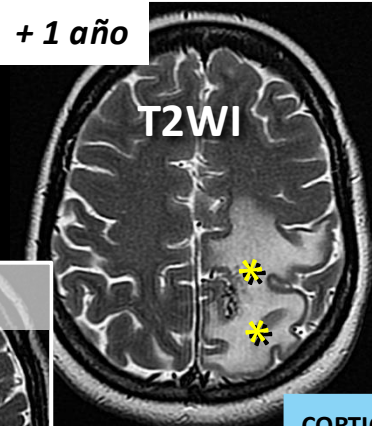
TRATAMIENTO:

1ª línea - corticoides

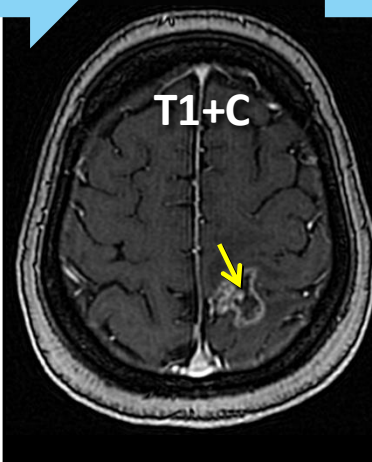
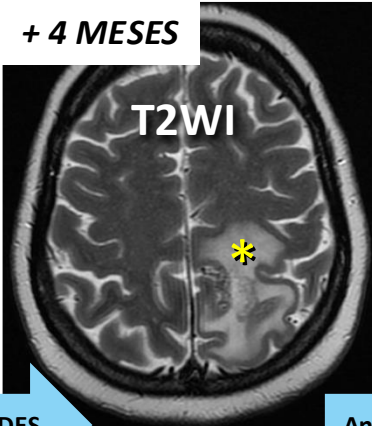
Antiangiogénicos
(bevacizumab) en
casos refractarios



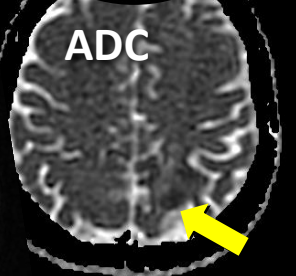
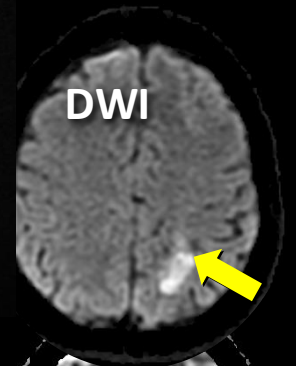
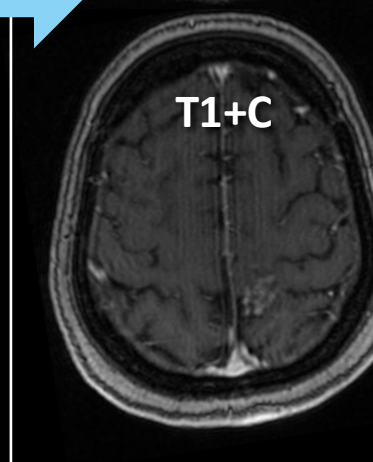
+ 1 año



+ 4 MESES



+ 4 MESES



MAV parietal izquierda (círculo) con **edema vasogénico (asteriscos) al año del tratamiento de RC**. Presenta un **área de realce** que, en el siguiente control, se comporta como una lesión expansiva con realce en anillo concordante con **RADIONECROSIS** (flecha fina). En ausencia de mejoría con corticoides, precisó de terapia antiangiogénica, con mejoría tras 6 ciclos de bevacizumab y aparición de un foco de **restricción de la difusión central** (flecha gruesa), que representa la **necrosis coagulativa 2ª a anti-VEGF**.

1. OBLITERACIÓN
NIDUS

2. CAMBIOS
POST-RC

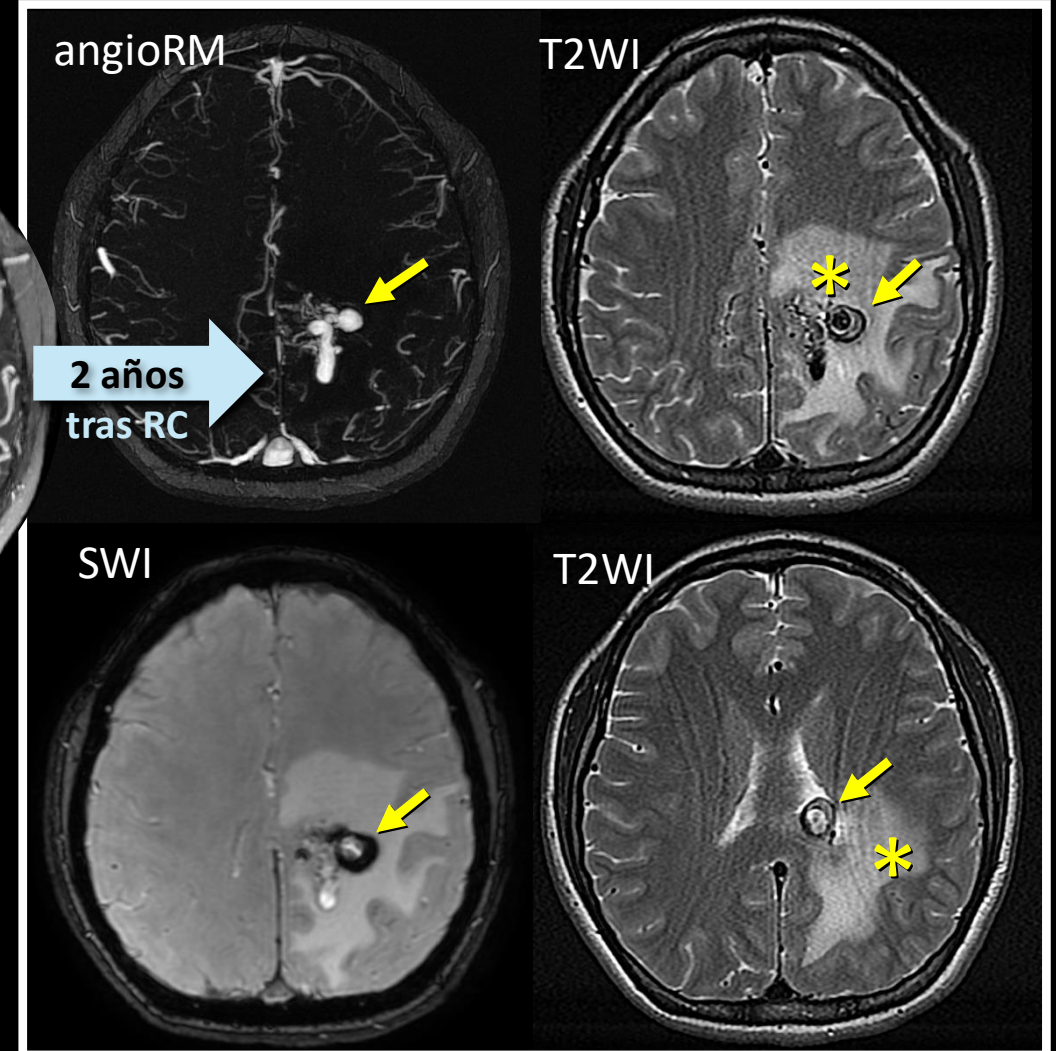
3. COMPLICACIONES
RC

3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

TROMBOSIS aguda de la vena de drenaje

- Los cambios de presión que genera la oclusión vascular por la RC facilitan la aparición de **dilataciones varicosas y aneurismas venosos** con predisposición a la trombosis.
- Además, el daño en la pared vascular secundario a la RC favorece la trombogénesis.
- En caso de trombosis venosa, suele existir **edema vasogénico y/o hemorragia**.

MAV paracentral izquierda tratada con RC. Edema vasogénico severo (*) a los 2 años, objetivando en el angioRM dinámico una reducción del nidus en >50% y aparición de al menos 2 pseudoaneurismas venosos (flechas) con artefacto de susceptibilidad en secuencias T2WI y SWI que sugerían trombosis venosa en el interior de la MAV.



1. OBLITERACIÓN
NIDUS

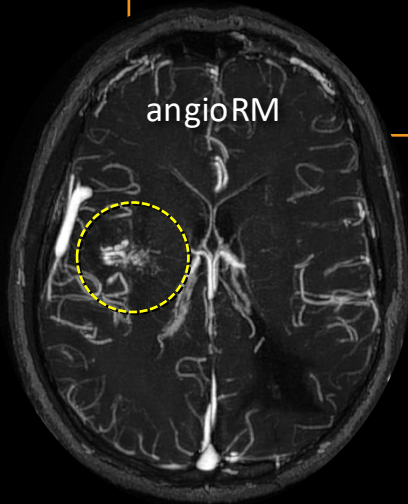
2. CAMBIOS
POST-RC

3. COMPLICACIONES
RC

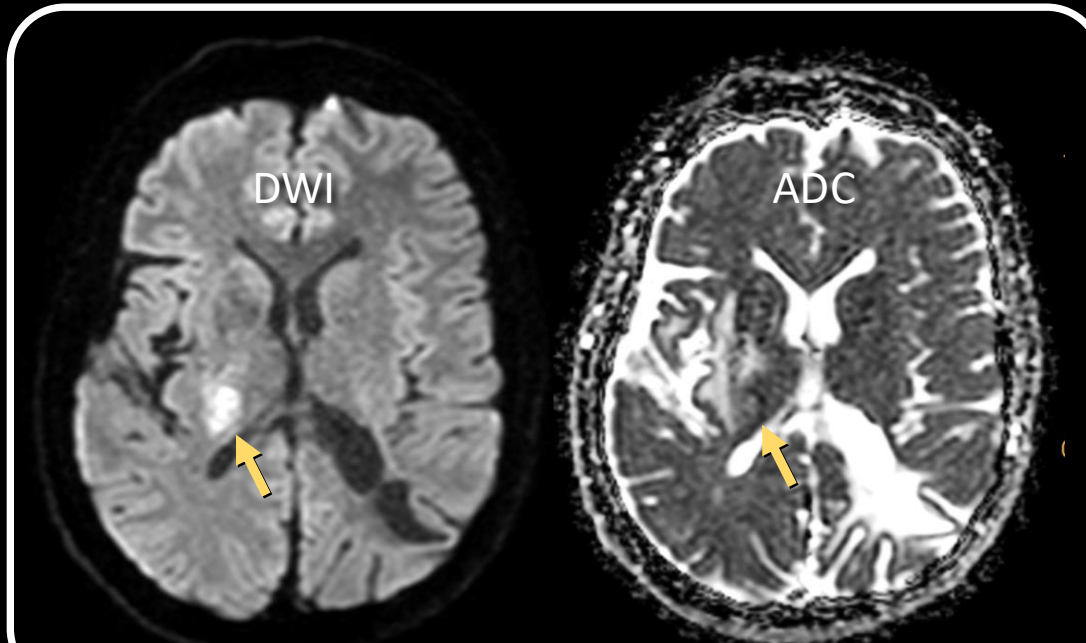
3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

ISQUEMIA AGUDA

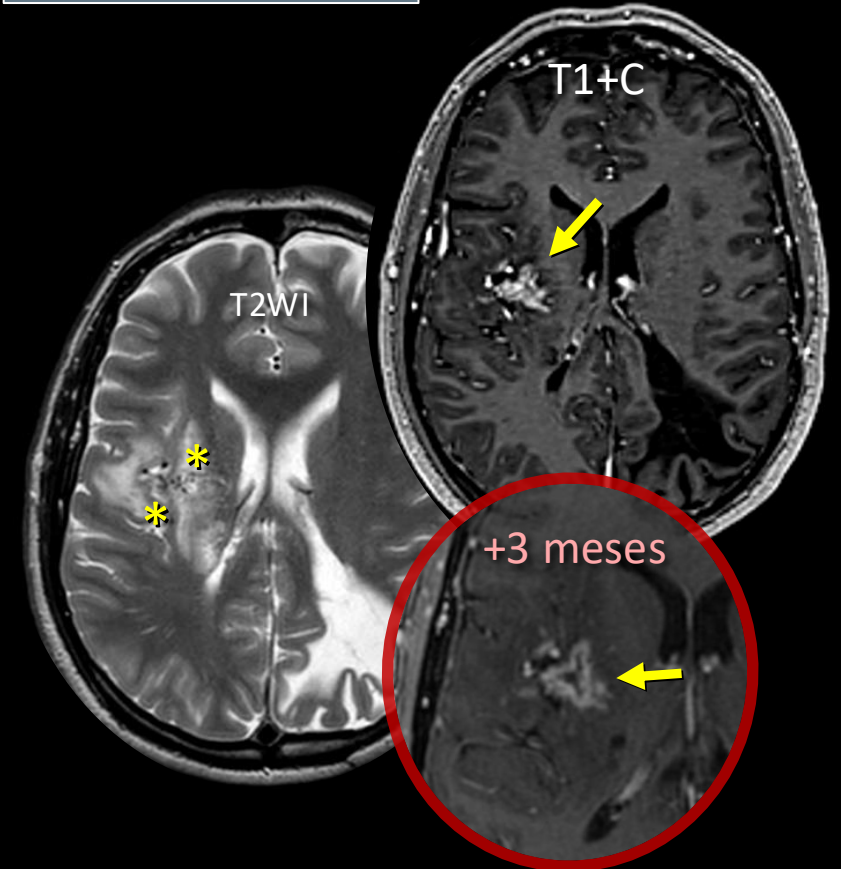
Complicación de la RC –secundario a la oclusión vascular–
o al shunt arteriovenoso de la propia MAV.



MAV insular derecha
tratada con RC en dos
ocasiones. Se muestran
los hallazgos del estudio
de RM a los 3 meses del 2º
tratamiento, en ausencia
de obliteración del nidus
tras 5 años de la 1ª RC.



INFARTO AGUDO en brazo posterior de cápsula interna derecha



Edema vasogénico (**) y realce pseudonodular
perinidal (flecha) que en el siguiente control se
define mejor como un **ÁREA DE RADIONECROSIS.**

1. OBLITERACIÓN
NIDUS

2. CAMBIOS
POST-RC

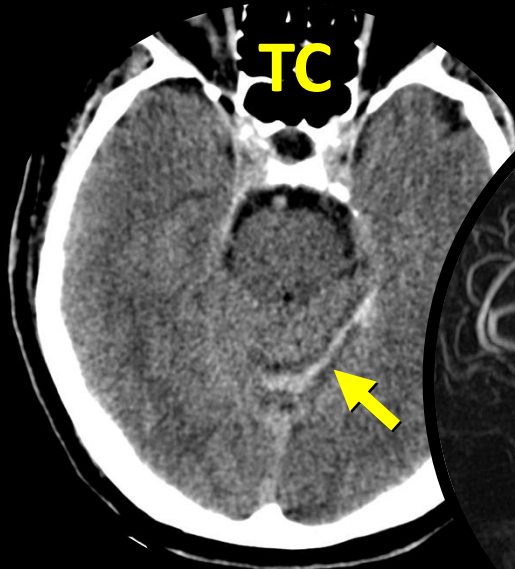
3. COMPLICACIONES
RC

3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

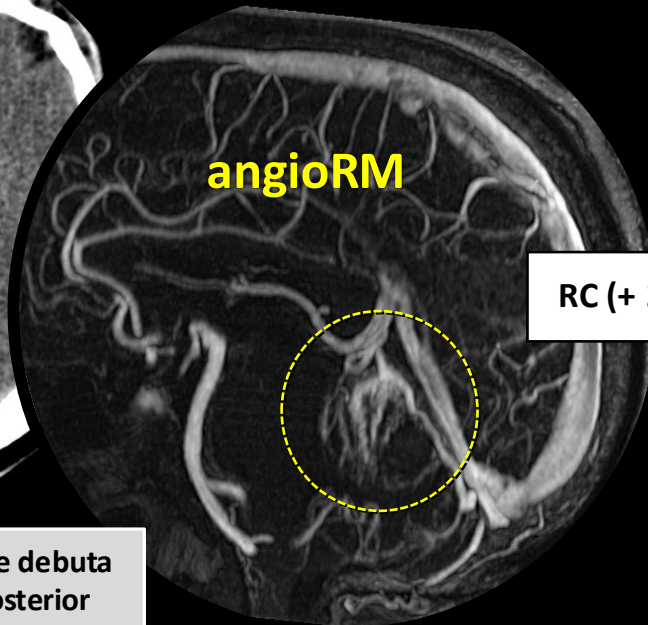
RESANGRADO

La RC, a diferencia de la resección quirúrgica, tiene **riesgo de sangrado de la MAV residual** hasta que se logra la **obliteración completa del nidus**. El riesgo **disminuye gradualmente** con los años a medida que los vasos se van cerrando [3].

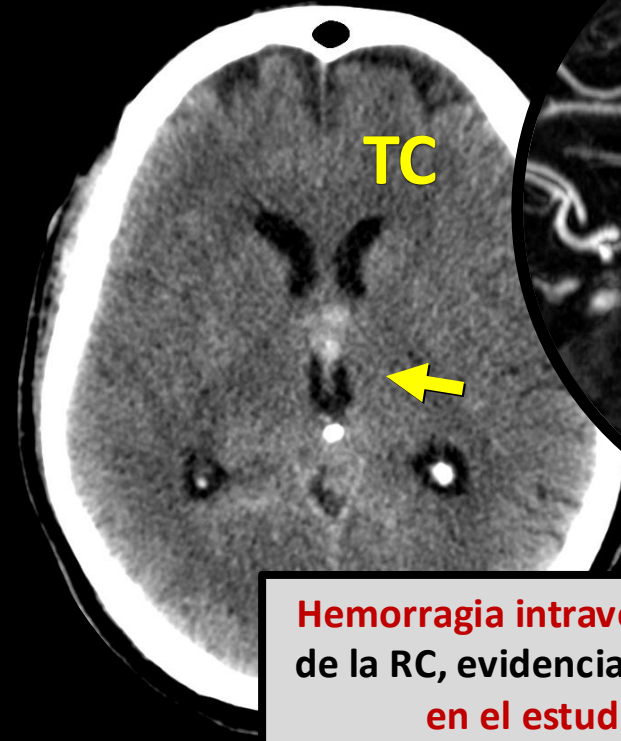
- Secuencias de susceptibilidad (SWI) pueden ayudar a detectar **resangrado** durante el seguimiento con RM.
- Las **hemorragias graves, con repercusión clínica**, suelen detectarse mediante TC en la **URGENCIA**.



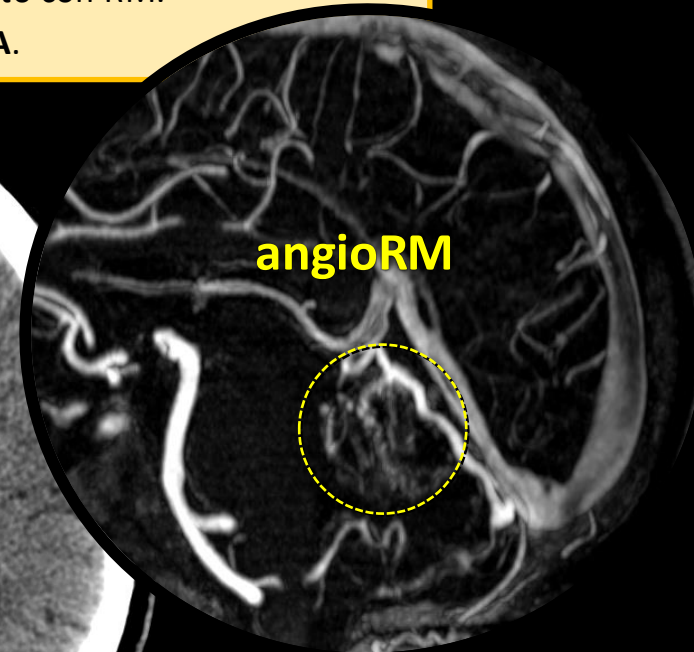
MAV perisilviana que debuta con HSA en fosa posterior



RC (+ 2 años)



Hemorragia intraventricular a los 2 años de la RC, evidenciando **nidus persistente** en el estudio de **angioRM**



1. OBLITERACIÓN
NIDUS

2. CAMBIOS
POST-RC

3. COMPLICACIONES
RC

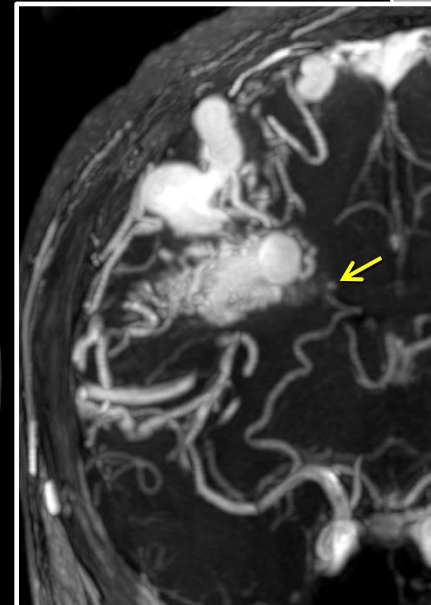
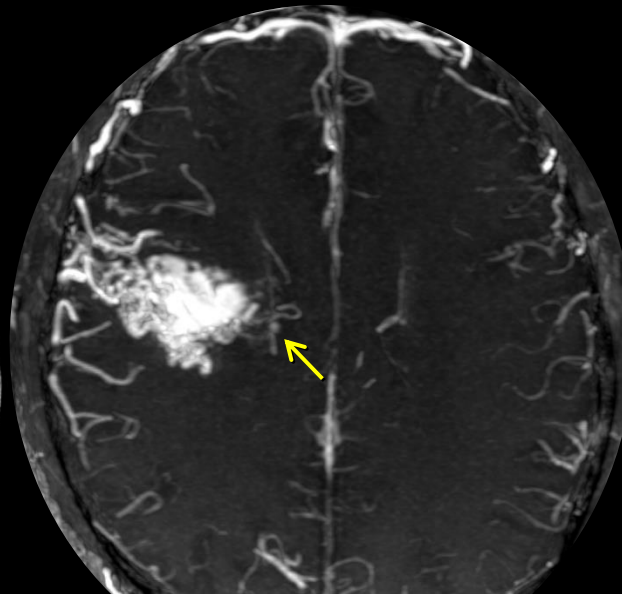
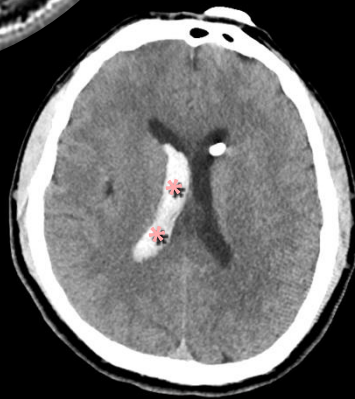
3. COMPLICACIONES
MAV RESIDUAL

RESANGRADO



RC

+ 2 meses



En el seguimiento pueden **aparecer aneurismas intranidales o de las arterias que nutren la MAV** que incrementan el riesgo de hemorragia. En caso de resangrado de una MAV tratada con RC, se suele realizar una arteriografía evaluar el nidus e identificar esos aneurismas que podrían embolizarse para reducir el riesgo de resangrado.

MAV frontal derecha (circulo) con a los 2 meses de la RC presenta una hemorragia intraventricular (*). La angioRM y la arteriografía muestran un **pequeño aneurisma de flujo** (flecha) **en una arteria lenticuloestriada que nutre la MAV**. Este se consideró la causa del sangrado y se embolizó.

1. OBLITERACIÓN NIDUS

2. CAMBIOS POST-RC

3. COMPLICACIONES RC

3. COMPLICACIONES MAV RESIDUAL

RESANGRADO

PREVIO A RC

angioRM

T2WI

SWI

RC

El **resangrado** de una MAV puede tener **consecuencias fatales** y se asocia a **ALTA MORBIMORTALIDAD**. La hemorragia puede desencadenar complicaciones secundarias como **hidrocefalia** o **vasoespasmo**.

DWI

angioRM

MAV pericallosa con secuelas de hematoma en ganglios basales derechos (flecha gruesa). Resangrado a los 4 meses de la RC con hemorragia intraventricular (*) y subaracnoidea que asocia **dilatación ventricular e isquemia aguda** en territorio de la arteria cerebral anterior derecha secundario a **vasoespasmo** (punta de flecha). En el angio-RM se demuestra un nidus irregular con aneurismas intranidales (flechas finas) que se confirmaron en arteriografía y se embolizaron.

CONCLUSIONES

La **radiocirugía (RC)** desempeña un papel fundamental en el manejo de las MAV cerebrales, y la **imagen es esencial** para **evaluar los resultados clínicos tras el tratamiento**. Es necesario un **seguimiento radiológico integral tras RC**, ya que tanto la obliteración del nidus como los efectos adversos pueden suceder de forma **tardía**.

El papel del **radiólogo** en el seguimiento es fundamental para proporcionar la siguiente información:

- Determinar el porcentaje de **reducción del tamaño del nidus hasta su obliteración** en las RMs de seguimiento.
- Reconocer los **cambios esperables tras RC**: hiperintensidades perinidales en T2, realce parenquimatoso post-RC e irregularidades vasculares.
- Identificar **complicaciones de la RC** como edema vasogénico, radionecrosis, isquemia y trombosis venosa.
- Detectar **hemorragia en MAVs tratadas** y sus complicaciones asociadas.
- Reconocer en angio-RM aquellas **características angiográficas de alto riesgo** que puedan conducir a resangrado.

REFERENCIAS

1. Tranvinh E, Heit JJ, Hachein-Bey L, et al. Contemporary imaging of cerebral arteriovenous malformations. AJR Am J Roentgenol. 2017 Jun;208(6):1320-1330.
2. Chen CJ, Ding D, Derdeyn CP, et al. Brain arteriovenous malformations: a review of natural history, pathobiology, and interventions. Neurology. 2020 Nov 17;95(20):917-927. doi:10.1212/WNL.00000000000010968.
3. Huang PW, Peng SJ, Pan DH, Yang HC, et al. Vascular compactness of unruptured brain arteriovenous malformation predicts risk of hemorrhage after stereotactic radiosurgery. Sci Rep. 2024 Feb 18;14(1):4011. doi:10.1038/s41598-024-54369-2.
4. Gawish A, Röllich B, Ochel HJ, Brunner TB. Linac-based stereotactic radiosurgery for brain arteriovenous malformations. Radiat Oncol. 2022 Sep 29;17(1):161. doi:10.1186/s13014-022-02130-2.
5. Byun J, Kwon DH, Lee DH, et al. Radiosurgery for cerebral arteriovenous malformation (AVM): current treatment strategy and radiosurgical technique for large cerebral AVM. J Korean Neurosurg Soc. 2020 Jul;63(4):415-426. doi:10.3340/jkns.2020.0008.
6. Lee CC, Reardon MA, Ball BZ, et al. The predictive value of magnetic resonance imaging in evaluating intracranial arteriovenous malformation obliteration after stereotactic radiosurgery. J Neurosurg. 2015 Jul;123(1):136-144. doi:10.3171/2014.10.JNS141565.
7. Lee KE, Choi CG, Choi JW, et al. Detection of residual brain arteriovenous malformations after radiosurgery: diagnostic accuracy of contrast-enhanced three-dimensional time-of-flight MR angiography at 3.0 Tesla. Korean J Radiol. 2009 Jul-Aug;10(4):333-339. doi:10.3348/kjr.2009.10.4.333.
8. Leclerc X, Guillaud O, Reyns N, et al. Follow-up MRI for small brain AVMs treated by radiosurgery: is gadolinium really necessary? AJNR Am J Neuroradiol. 2020 Mar;41(3):437-445. doi:10.3174/ajnr.A6404.
9. Ilyas A, Chen CJ, Abecassis IJ, et al. Stereotactic radiosurgery for A Randomized Trial of Unruptured Brain Arteriovenous Malformations—eligible patients: a meta-analysis. Neurosurgery. 2022 Nov 1;91(5):684-692. doi:10.1227/neu.0000000000002115.
10. Pettersson SD, Elrafie MK, Makarewicz J, et al. Long-term outcomes after stereotactic radiosurgery for pediatric brain arteriovenous malformations: a systematic review. World Neurosurg. 2024 Jun;186:197-203.e1. doi:10.1016/j.wneu.2024.03.108.