

# Definición dinámica de la zona crítica en malformaciones arteriovenosas para tratamiento con radiocirugía gamma

Ramiro Del Valle,\* Daniel Rodríguez,\* Marco Zenteno,\* José Jaramillo,\* Salvador De Anda,\* Israel Gamiño,\* Juan Ortiz,\* Miguel Pérez\*

## Resumen

**Introducción:** La experiencia internacional acumulada por más de 30 años reporta tasas de obliteración total cercana al 90% en MAVs pequeñas < 3 cc, 70% en medianas 3 a 10 cc, aproximadamente 50% 10 a 20 cc y 35% en MAVs grandes > 20 cc. **Objetivo:** Proponer un protocolo de planeación dinámica para incrementar el índice de obliteración de las malformaciones arteriovenosas (MAVs) con radiocirugía Gamma Knife. **Material y métodos:** Se utilizó un contador digital para registrar el tiempo de circulación en diversas etapas. El protocolo se aplicó en 44 pacientes para establecer con exactitud la zona crítica. En la clasificación de Spetzler-Martin correspondieron: Grado III (28), IV (14), V (2). Los tipos de tratamiento: Único (37), radiocirugía repetida (4), radiocirugía prospectiva por etapas (3). El 50% recibió terapia endovascular y angiografía superselectiva en el 34%. El volumen pre-embolización fue hasta 120 cc, la zona crítica hasta 15 cc en tratamiento único, volumen medio 8.5 cc y 28 cc para radiocirugía prospectiva por etapas. Dosis marginal 18-22 Gy, dosis media 20 Gy. **Resultados:** En 36 pacientes se hizo angiografía de 2-10 años post-tratamiento. Obliteración total en 33 pacientes, incluyendo 12 grado IV y 1 grado V. Los pacientes con refuerzo se obliteraron el 100%. Se presentó complicación neurológica en 3 pacientes (7.5%) con embolización pre-radiocirugía. No hubo mortalidad. **Conclusión:** La definición dinámica de la zona crítica de la MAV podría incrementar la tasa de obliteración aún en MAV complejas pudiendo así tratar volúmenes más pequeños fuera de los vasos de reclutamiento (pseudonido).

**Palabras clave:** Malformación arteriovenosa, volumen de radiación, zona crítica, angiografía dinámica, terapia endovascular, tiempo de circulación.

## Introducción

Los pacientes con malformaciones arteriovenosas (MAVs) cerebrales han sido tratados con radiocirugía desde principios de los años 70, sin que hasta ahora se

## Abstract

**Introduction:** Thirty years of cumulative experience worldwide indicate complete obliteration rates from 35% to 90% volume dependent. **Objective:** To propose a strategy to increase the obliteration rate for arteriovenous malformations (AVMs) through the dynamic definition of the critical zone, which is the hydrodynamically most sensitive target volume for radiosurgical gamma knife. **Methods:** We used a digital counter to measure several stages of the frame-by-frame circulation times of AVMs. 44 patients were treated using dynamic measurement planning to define the critical zone, including criteria that categorize the type of AVM: fistulous vs plexiform or mixed; Spetzler–Martin classification grades III 28, IV 14, V 2; with single treatments 37, repeated radiosurgery 4, or prospective stage radiosurgery 3. Endovascular therapy in 50% and superselective angiography in 34%. The preembolization AVM volume was up to 120 mL, with a critical zone target volume of up to 15 mL for single treatments, mean volume 8.5 mL, and 28 mL for prospectively staged radiosurgery. The marginal radiation dose 18–22 Gy, mean dose 20 Gy. **Results:** Digital subtraction angiography was performed in 36 patients 1–10 years after treatment. Complete obliteration was observed in 33 patients, including 12 grade IV and one grade V. The repeated radiosurgery group showed 100% complete obliteration. Neurological complications were observed in 7.5% of patients after prerasulture embolization. There was no mortality. **Conclusion:** Dynamic definition of the AVM critical zone might increase the obliteration rate, even in complex AVMs, allowing the treatment of smaller volumes off the recruitment vessels (pseudonidus).

**Key words:** AVM, circulation time, critical zone, dynamic angiography, endovascular therapy, radiation volume.

haya logrado la curación en todos los pacientes. Los índices de obliteración a 3 años (curación angiográfica) obtenidos varían de un 70 a un 85%.<sup>1-5</sup> Diversos factores como el volumen, dosis de prescripción, edad, localización, angioarquitectura y antecedente de no embolización han sido relacionados con la probabilidad de obliteración. En ciertas lesiones tratadas con dosis apropiadas que no han respondido se informa de radio-resistencia. Algunos factores como menor volumen de tratamiento, la dosis de prescrip-

\* Centro de Radiocirugía Gamma Knife.

Fundación Clínica Médica Sur, México, D.F.

ción 23 a 25 Gy y el menor número de venas de drenaje parecen favorecer la obliteración.<sup>6-13</sup>

Del mismo modo, factores como el volumen de la MAV, su localización y la dosis de radiación al tejido cerebral expuesto se han asociado a la probabilidad de desarrollar complicaciones, por ejemplo, hemorragia en el periodo de latencia, edema cerebral y/o radionecrosis.<sup>14-24</sup>

Algunos investigadores incluyendo Chang et al<sup>25</sup> han sugerido que además del volumen, otros factores como el patrón de flujo de la MAV y número de venas de drenaje pudieran influir en la obliteración. Adicionalmente existen lesiones de apariencia similar en angiología, localización y volumen que no responden conforme lo esperado de acuerdo al plan de tratamiento basado en la relación dosis-volumen. Algunas MAVs se ocluyen antes de 2 años y otras requieren hasta 3 ó 4 años hasta ocluirse.

En relación a los hallazgos angiográficos y obliteración completa, Meder y cols.<sup>26</sup> han reportado que la radiocirugía es menos efectiva en las MAVs con fistula directa intranidal y drenaje único, también sugieren que la radiocirugía ofrece mejores resultados a pacientes con MAVs de tipo compacto o plexiformes.

El estudio semicuantitativo de flujo usando angiografía por resonancia magnética con secuencias de contraste bidimensional realizado por Petereit y cols.<sup>27</sup> reporta un impacto negativo para obliteración en las MAVs con velocidad de flujo alto mayor de 100 cc por segundo.

## Métodos

Nuestro protocolo está enfocado en la definición dinámica de la zona crítica de las MAVs, es decir la porción con la menor resistencia y flujo predominante orientado al drenaje venoso principal. Para el estudio dinámico de las malformaciones se tomó en cuenta la experiencia obtenida por nuestro grupo con el uso de los registros de las presiones pediculares de los alimentadores para el tratamiento de las malformaciones con embolización superselectiva.<sup>28</sup>

Las presiones pediculares más bajas inferiores a 25 mmHg corresponden a fistulas arteriovenosas directas y en las MAVs plexiformes, las presiones aumentan progresivamente hasta cerca de 50 mmHg (*Tabla I*).

La desventaja del protocolo es el tiempo que consume y costos por lo que no sería práctico instalarlo como rutina para planeación de la radiocirugía en todos los pacientes. Así que una forma práctica de aplicar dicha información es midiendo los tiempos de circulación arterial-nidal y descarga-venosa en el estudio de angi-

grafía por sustracción digital cuadro por cuadro en forma dinámica con el contador digital del equipo de angiografía.

El fundamento teórico es que las MAVs con patrón de flujo fistuloso tienen menor tiempo de circulación y viceversa en las plexiformes. Adicionalmente en el estudio dinámico podemos caracterizar la zona de la MAV correspondiente a la porción de menor resistencia y flujo más rápido descartando los vasos de reclutamiento, especialmente en las malformaciones grandes ya que teóricamente una MAV a través de los años se comporta como una catarata con efecto sifón de reclutamiento de los vasos normales alrededor de la MAV original. Dicho fenómeno secundario de reclutamiento corresponde a los vasos normales tortuosos hipertróficos por el alto flujo alrededor de la zona crítica como consecuencia del fenómeno de robo a través del tiempo.

El fenómeno de reclutamiento se observa mejor una vez que se disminuye el flujo en la zona de cortocircuito dominante con embolización. Ésta es la porción de aspecto difuso con menor intensidad de tinción con el medio de contraste en la zona perinidal que hemos definido como pseudonido y no es obligatorio incluirlo en la dosis de prescripción. Por el contrario si dejamos el pseudonido fuera, el volumen de tratamiento es menor con la posibilidad de incrementar la dosis en la zona crítica.

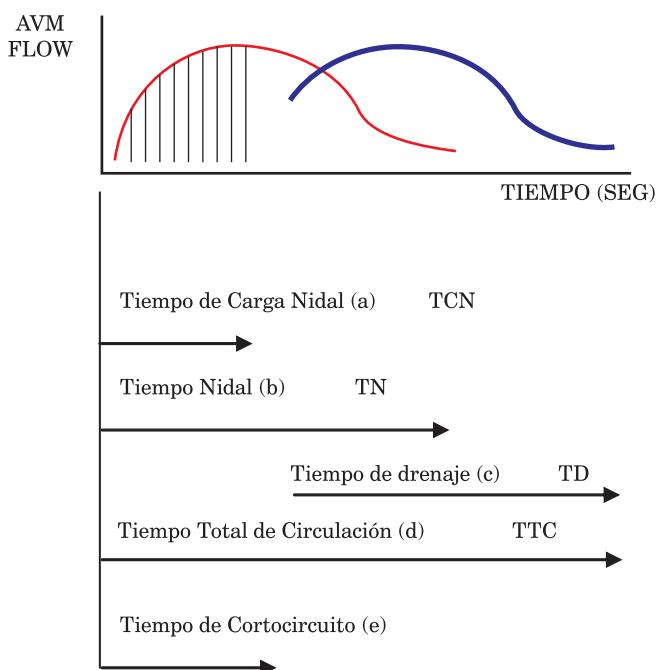
Una vez que se coloca el bastidor estereotáctico Leksell (Elekta™) en la cabeza se adquieren imágenes volumétricas 3D en secuencias T1 simple y con gadolinio, T2 axiales y coronales para definición tridimensional de la MAV. Para la adquisición de la angiografía por sustracción digital se utiliza el equipo Axiom Artis con software para corrección automatizada de contornos (Artis & Syngo, Siemens™).

**Tabla I. Clasificación de fistulas por presión.**

TIPO		PATRÓN DE FLUJO	PRESIÓN
A		Fistula Directa de Flujo Rápido	8-17 mm Hg
B		Fistulosa de Flujo Rápido Intermedio	18-28 mm Hg
C		Moderadamente Plexiforme de Flujo Lento Intermedio	30-45 mm Hg
D		Plexiforme	> 45 mm Hg

Se adquieren imágenes a 7.5 cuadros por segundo y el medio de contraste se administra a través de un inyector digital (Mark V Pro Vis, Medrad™) a 7 cc por segundo en las arterias carótidas y vertebrales en su porción proximal en la base del cráneo, cuando la inyección del medio de contraste es superselectiva el volumen se reduce a 3 cc por segundo. Acto seguido en la consola de control del angiógrafo se miden varios tiempos de circulación en cada inyección cuadro por cuadro (*Figura 1*).

1. *Tiempo de carga nidal*; correspondiente al tiempo a partir del primer cuadro con imagen de tinción ni-



**Figura 1.** Tiempos de circulación MAVs.

dal hasta el cuadro correspondiente al reforzamiento máximo arterial.

2. *Tiempo nidal*; incluye el tiempo de carga nidal hasta el último cuadro con imagen de nido arterial.
3. *Tiempo de descarga*; comienza con la primer imagen de la vena de drenaje o drenaje predominante cuando el drenaje venoso es múltiple hasta la desaparición de la vena o venas de drenaje anormal.
4. *Tiempo total de circulación*; es la medición del tiempo a partir del primer cuadro del tiempo de carga nidal (a) hasta el último cuadro del tiempo de descarga (c).
5. *Tiempo de cortocircuito (TCC)*; el tiempo que transcurre desde el primer cuadro del tiempo de carga nidal hasta el primer cuadro del tiempo de descarga venosa.

Durante el análisis y registro de los tiempos de circulación se definieron los diferentes componentes de una MAV, incluyendo compartimentos único o múltiples, tipo de drenaje venoso y **diversos patrones de flujo** dependiendo de los tiempos de circulación compatibles con tres tipos de circulación: **I-A**: fistuloso directo, **I-B** predominante fistuloso, **II-A** mixto fistuloso-plexal sin estenosis en la vena de drenaje, **II-B** con estenosis de la vena de drenaje y **III** predominantemente plexal (*Tabla II*).

Adicionalmente se buscan factores asociados que aumentan el riesgo de hemorragia como aneurismas perinidales y proximales de hiperflujo así como aneurismas en el sistema de drenaje y estenosis en la vena de drenaje principal. La definición dinámica anatómica del nido permite excluir los vasos de reclutamiento correspondiente al pseudonido.

Los tiempos de cortocircuito (TCC) menores de 1 segundo y total de circulación menor de 4 segundos corresponden a patrones de flujo fistuloso: **IA** y **IB**. Tiempos nidales de 2 a 4 segundos y de circulación total hasta 6 segundos están en la categoría de patrón de flujo

**Tabla II.** Tiempo temprano de cortocircuito (TTCC), tiempo de carga nidal (TCN), tiempo de drenaje (TD).

Tipo	TTCC	Patrón flujo MAVs – Tiempo de circulación			Patrón de flujo
		Tiempo (Seg) TCN	TD		
I-A	< 1	< 1	< 4	Fistula directa	
I-B	< 1	< 2	< 5	Predominantemente fistulosa	Fistula flujo rápido
II-A	< 1.5	2-4	4-6	Fistulosa-plexiforme sin estenosis de vena de drenaje	
II-B	< 2	2-4	> 7	Fistulosa-plexiforme con estenosis de vena de drenaje	Mixto intermedio
III	> 2	> 4	> 7	Predominantemente plexiforme	Plexiforme flujo lento

mixto fistuloso-plexal y tiempos nidales mayores de 4 segundos y circulación total mayores de 6 segundos tiene patrón de flujo predominantemente plexiforme.

La etapa crucial en la definición de la zona crítica es la etapa de transferencia de las imágenes de angiografía a la estación de trabajo y su correlación tridimensional con la resonancia magnética multiplanar, incluyendo el análisis de la topografía y volumen del target en relación a la elocuencia funcional perilesional para ajuste de la dosis de prescripción.

Nuestro protocolo para embolización es dependiente del volumen, patrón de flujo y factores de riesgo para hemorragia.

Si el volumen de la zona crítica pre-embolización es menor de 10 cc se incluye en el volumen de tratamiento la totalidad del volumen original. En cambio, si el volumen pre-embolización es mayor de 10 cc, la dosis de prescripción se aplica al volumen residual de zona crítica. En relación al patrón de flujo, se recomienda embolizar para reducir flujo en los tipos I y IIB. Es conveniente eliminar aneurismas de hiperflujo o bien

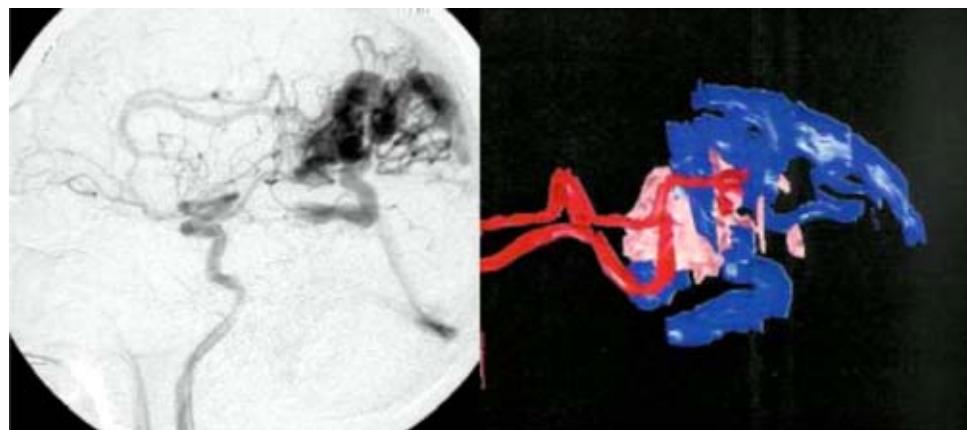
reducir el flujo en las lesiones con estenosis en su patrón de descarga venosa utilizando terapia endovascular (*Figuras 2, 3, y 4*).

#### Población estudiada

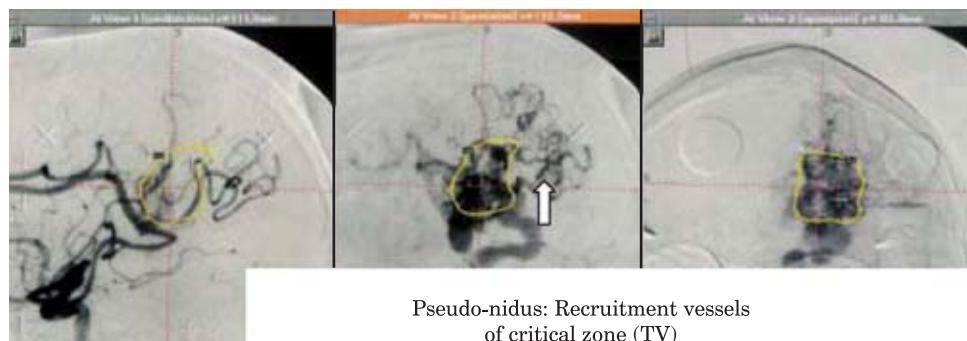
Entre 1995 y 2004 se trajeron 140 pacientes con MAVs. De este grupo de pacientes, 44 fueron sometidos a planeación de medición dinámica para establecer con exactitud la zona crítica incluyendo el criterio de clasificación para MAVs: fistulosas vs plexiformes o mixtas. Clasificación de Spetzler-Martin: Grado III (28), IV (14), V (2).

La presentación clínica fue hemorragia (50%), cefalea (30%), convulsiones (40%), déficit neurológico (10%). El 70% tuvieron localización profunda y el resto localización hemisférica. Dos pacientes con lesión en la fosa posterior.

En el 50% de los pacientes se aplicó terapia endovascular, en tanto que el 34% requirió angiografía superselectiva. Tratamiento único (37), radiocirugía repetida



**Figura 2.** Caso 1a. Síndrome deencial: Fenómeno de robo. Pre embo: Patrón de flujo I-B. Tiempo de cortocircuito < 1 seg: Fístula de flujo rápido y componente de nido.



Pseudo-nidus: Recruitment vessels of critical zone (TV)

**Figura 3.** Caso 1b. Post embo. Patrón de flujo: Plexal III. Flujo lento TCN > 4 segundos. Embo+GK mismo día. PTV 9.7 cc 20 Gy/60%.

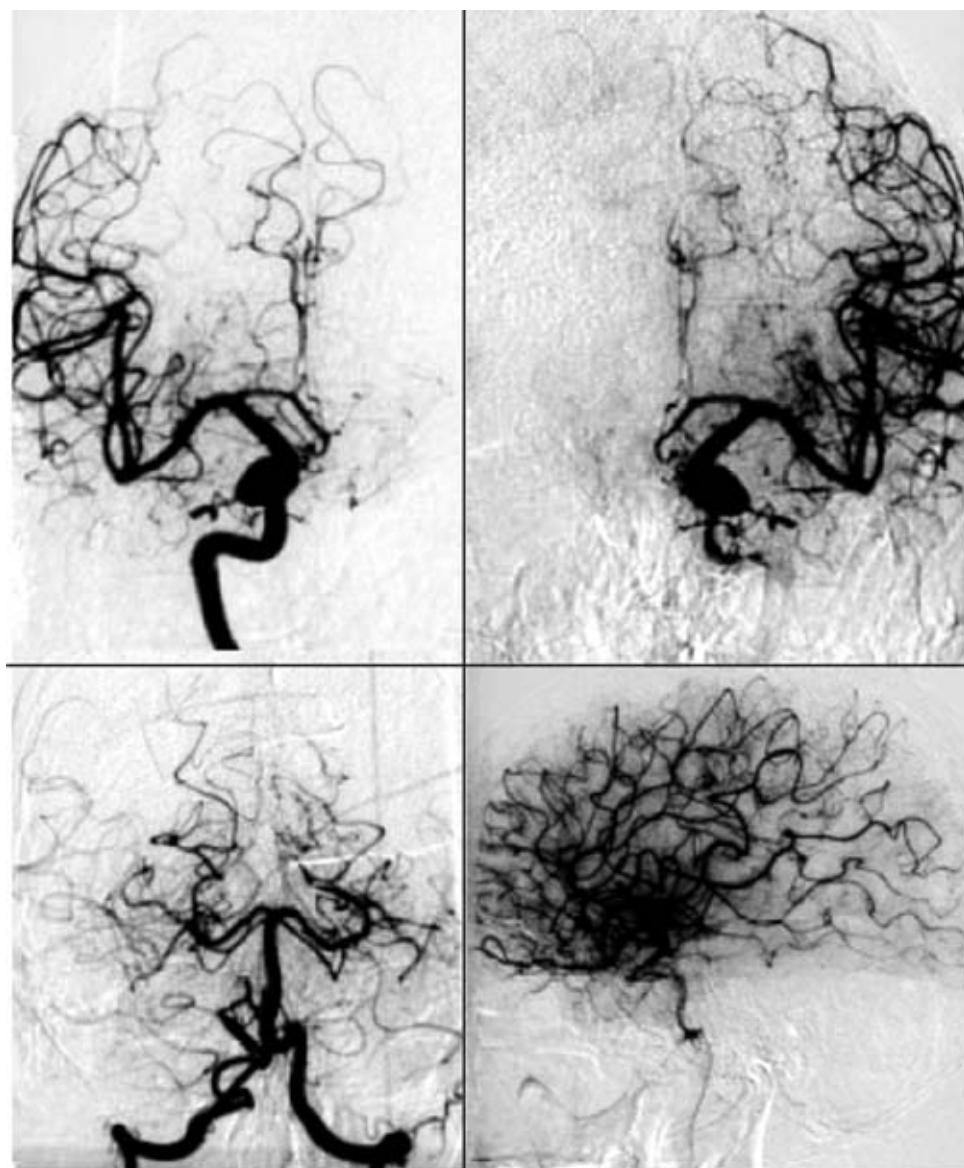
(4), radiocirugía prospectiva en etapas (3) (*Tablas III y IV*). El volumen de tratamiento pre-embolización de la MAV fue de hasta 120 cc, con un volumen blanco en la zona crítica hasta 15 cc en tratamiento único (volumen medio 8.5 cc) y 28 cc para radiocirugía prospectiva en etapas. Con un rango de dosis marginal en la MAV de 18-22 Gy y una dosis media de 20 Gy.

## Resultados

En 36/44 pacientes se obtuvo angiografía por sus tracción digital tratamiento, en los 44 pacientes la res-

puesta al tratamiento se valoró con angiorresonancia (*Tabla V*).

Se determinó obliteración en el 95%, 92% y 50% en los grupos grado III, IV y V de Spetzler-Martin respectivamente. En el grupo de tratamiento único la obliteración fue del 94% y 4 pacientes que recibieron radiocirugía de refuerzo la obliteración fue total. En 3 pacientes con radiocirugía prospectiva por etapas se demostró obliteración de la lesión en uno con DSA y en dos pacientes con MRA. El paciente valorado por DSA mostró obliteración subtotal a 40 meses y será valorado a los 5 años para radiocirugía de refuerzo.



**Figura 4.** Caso 1c. Seguimiento 14 meses DSA.

## Complicaciones

El 7.5% (3/44) de los pacientes desarrollaron complicaciones neurológicas permanentes, así como 2/22 pacientes embolizados con terapia endovascular previamente a la radiocirugía. Un paciente presentó hemorragia no fatal durante el periodo de latencia, un paciente presentó un defecto menor en la visión, y el tercero un infarto occipital lacunar transeMBOLIZACIÓN. No se presentó mortalidad.

## Discusión

La caracterización anatómica inapropiada del nido es una de los factores más frecuentes de falla en el tra-

tamiento. Por esto, proponemos un protocolo para la caracterización dinámica de la MAV, el cual incluye el registro de factores hemodinámicos de flujo en tiempo real, angioarquitectura tridimensional de la malformación así como la colaboración cercana del equipo neuroquirúrgico y endovascular.

Algunos investigadores como Pan, Chang, Petereit y otros<sup>13,26,27</sup> han sugerido que el patrón de flujo y forma fistulosa son factores que impactan negativamente la obliteración. El análisis dinámico de flujo de la angiografía cuadro por cuadro y correlación anatómica tridimensional con las secuencias multiplanares de resonancia magnética y angiografía 3D dinámica, nos ha permitido registrar con mayor objetividad dichos factores relacionados con tratamiento fallido, incluyendo fistulas prenidadles con tiempos de cortocircuito menores de un segundo (*Figura 5*).

### Embolización

La primer embolización de una MAV cerebral se realizó por Luessenhop y Spence en 1959.<sup>29</sup> Los catéteres de flujo directo se han usado con regularidad desde 1990, siendo las complicaciones más comunes la embolización anormal, embolización de las arterias normales proximales, oclusión del sistema venoso y la perforación arterial.<sup>30,31</sup> Las recomendaciones para embolización se fundamentan mayormente en casos anecdóticos y no en estudios prospectivos aleatorizados.

Existe controversia en relación a la utilidad de la embolización para mejorar los resultados de la radiocirugía. La mayoría de publicaciones de análisis retrospectivos concluyen que la embolización impacta negativamente en los resultados, además que las complicaciones de la terapia endovascular deben sumarse a las complicaciones de la radiocirugía.

Tabla IV.

Grado S-M	Tratamiento único	GK repetido	Programado etapas	Total
III	26	1	1	28
IV	10	3	1	14
V	1	0	1	2
Total	37	4	3	44

Tabla V. Resultados

Grado S-M	Seguimiento DSA 36 pacientes			Seguimiento ANGIO-MRI 44 pacientes		
	Obliteración	Falla	Obliteración	Falla		
III	20	95%	1	26	93%	2
IV	12	92%	1	13	93%	1
V	1	50%	1	1	50%	1
Tratamiento único	28	94%	2	34	92%	3
GK Repetido	4	100%	0	4	100%	0
Programado etapas	1	50%	1	2	60%	1
Total pacientes	33	3	40	4		
%	92	8	91	9		

Andrade Souza et al<sup>32</sup> en relación a si la embolización pre-radiocirugía de una MAV afecta la obliteración o el resultado clínico, reportan que la embolización reduce la tasa de obliteración y el resultado clínico fue más favorable en el grupo no embolizado, la diferencia no fue estadísticamente significativa. El grupo de pacientes tratados exclusivamente con radiocirugía tuvo una obliteración del 70% mientras que aquéllos embolizados pre-radiocirugía mostraron 47% de obliteración.

Desafortunadamente no existe estandarización en la técnica de embolización ni en el reporte de sus resultados entre los grupos de terapia endovascular. Por una parte existen mezclas entre las series que combinaron la utilización de partículas y cyanoacrilato y por otra parte no hay información clara sobre los resultados relacionados específicamente con el volumen, patrón de flujo, factores de riesgo para hemorragia, fragmentación del nido post-embolización y tampoco sabemos si el terapista endovascular trabajó conjuntamente con el neuro-radiocirujano. Tampoco existe sistematización en la medición de volúmenes 2D vs 3D,<sup>33</sup> ni de la medición cuantitativa del flujo pre y posembolización.

Es muy importante definir si el volumen de tratamiento con radiocirugía correspondió al volumen inicial global pre-embolización o si la radiación se aplicó al volumen residual. Nosotros recomendamos el trabajo muy estrecho en tiempo real entre el radio-neurocirujano y el terapista endovascular, ya que en algunas MAVs la embolización guiada por estereotaxia y correlación de la topografía 3D del pedículo en la RM utilizando el Gamma Plan (Elekta) permite optimizar los resultados pre-radiocirugía al permitir estimar objetivamente la reducción en volumen y flujo, además de dar información sobre los factores hemodinámicos que reducen los resultados favorables de la radiocirugía.

Idealmente la técnica de embolización debiera ser concéntrica remedando el abordaje quirúrgico habitual para evitar los inconvenientes de la fragmentación post-

embolización. Debería registrarse si la zona de tratamiento correspondió a la zona de flujo dominante y llenado temprano relacionado con el drenaje venoso predominante excluyendo el pseudonido (*Figuras 6, 7*). Debe darse especial atención a la fragmentación post-embolización, ya que los resultados y las complicaciones de la embolización son operario dependiente.

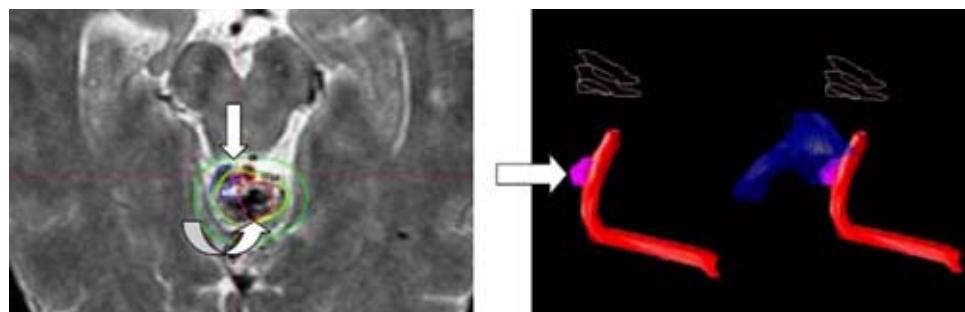
En las MAVs con patrón de flujo tipo I y II-B con tiempo de corto-circuito temprano menor de 1.5 segundo y tiempo de descarga lento mayor de 6 segundos por estenosis del drenaje venoso predominante, es recomendable la embolización para reducir el riesgo de hemorragia. El mayor beneficio de la embolización se obtiene cuando se logra reducción concéntrica del volumen y flujo (*Figura 8*).

En nuestra serie no se detectó impacto negativo en los 10 pacientes tratados con embolización y radiocirugía en un mismo día, aunque se observaron cambios de señal más intensos asintomáticos en la secuencia T2 a los 3 meses en el 60% de los pacientes, 2 de los pacientes requirieron tratamiento temporal con esteroides como externos, sin secuelas permanentes.

Contrario a nuestras expectativas, los dos pacientes con MAVs complejas y tratamiento con esteroides, tratados el mismo día de la embolización permanecen obliterados 10 años después (*Figuras 9, 10*). No podemos descartar la posibilidad de sinergia entre el daño por radiación aunado a la respuesta inflamatoria inducida por el material embolizante desde la fase aguda.

Nuestra casuística tiene el sesgo de preselección para angiografía de control a partir de la evolución en la RM y es pequeña para validación estadística, pero con mayor número de pacientes se podrá calcular el valor pronóstico de dichos factores hemodinámicos en relación al rango de obliteración de las MAVs y riesgo de hemorragia durante el periodo de latencia.

Antes de tratar a un paciente con MAV se requiere tomar decisiones importantes. Es necesario recordar



**Figura 5.** Fístula prenidal directa (flecha recta) y componente nidal (flecha curva): Tipo II-A.

que la tasa de morbi-mortalidad en manos especializadas es de alrededor del 9%. Se desconocen todavía los beneficios de la embolización, especialmente en lo relativo a reducir la morbi-mortalidad quirúrgica así como incrementar la tasa de curación en lesiones grandes usando radiocirugía.

Aún no se han estudiado los beneficios terapéuticos adicionales ni las consideraciones económicas de procedimientos múltiples de embolización. Estos temas entre otros se presentan como retos para definir los beneficios de la embolización en el tratamiento de las MAVs.

## Conclusión

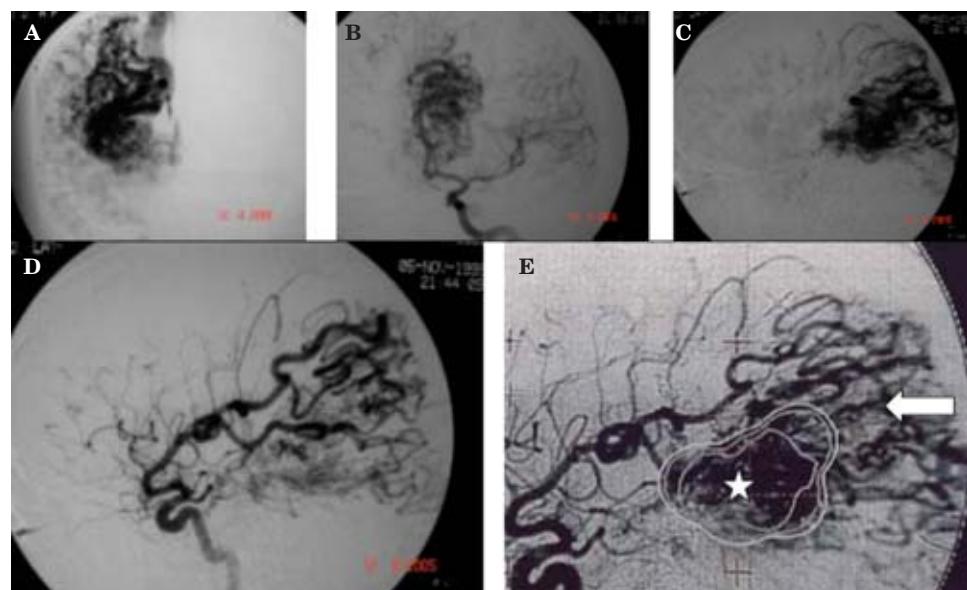
Para mejorar los resultados en el tratamiento de las MAVs con radiocirugía, presentamos un protocolo simple y de fácil implementación en cualquier centro de radiocirugía, con el cual es posible valorar pro-

pectivamente variables hemodinámicas en forma sistemática que hasta ahora han sido sugeridas en forma retrospectiva.

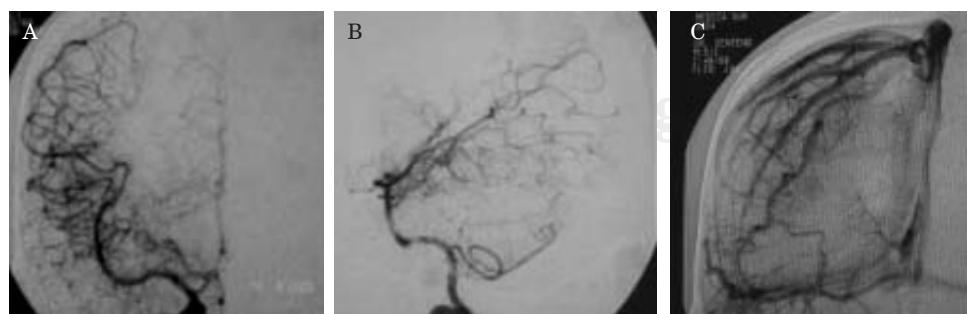
Utilizando métodos digitales cuantitativos de medición de flujo y volumen, se logra medir en forma objetiva los cambios en el patrón de flujo y volumen de una MAV embolizada.

El registro de una base de datos clara y factible de sumarse a otras bases de datos similares de otros centros de radiocirugía ayudaría a estandarizar las indicaciones, el análisis y publicaciones de los resultados de la terapia endovascular de las MAVs, los cuales hasta ahora han sido heterogéneos y anárquicos.

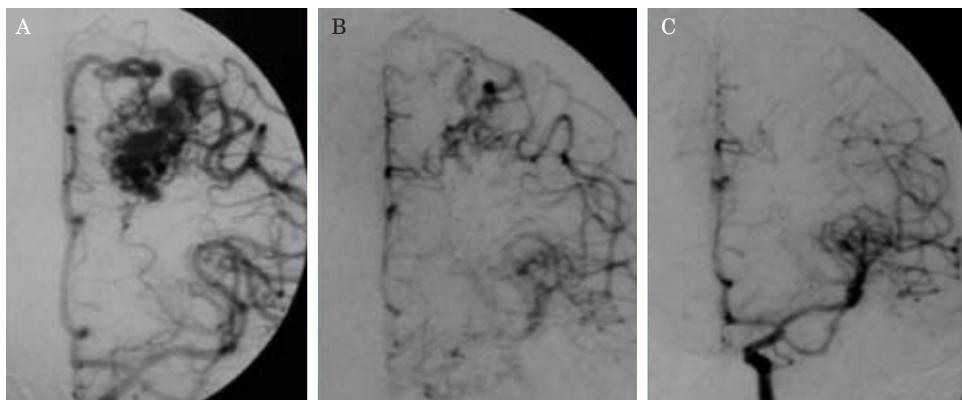
La definición dinámica de la zona crítica de las MAVs puede aumentar la tasa de obliteración a la vez que reduce el volumen de tratamiento en las lesiones grandes, descartando el pseudonodo correspondiente a los vasos de reclutamiento y sistema venoso de descarga.



**Figura 6.** Caso 2a. MAV: Patrón de flujo I-B (A). Patrón de flujo intermedio post embo: fistulosa-mixta II-A y componente plexal (B, C, D). Zona crítica (estrella): PTV 15 cc, 19 Gy. Pseudonodo post embo: (flecha blanca) (E).



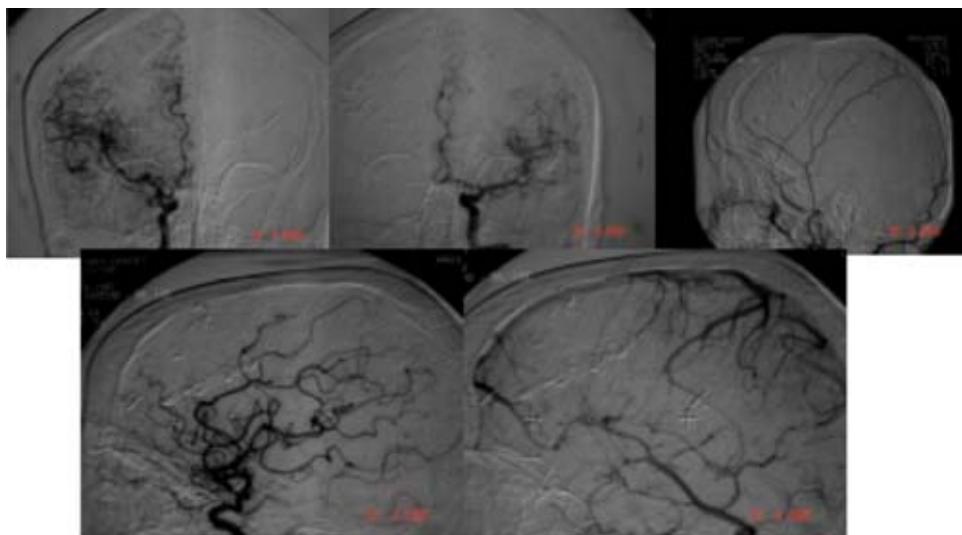
**Figura 7.** Caso 2b. Seguimiento 24 meses DSA (A, B, C).



**Figura 8.** Caso 4. Pre y postembolización concéntrica (A, B). Seguimiento 14 meses (C).



**Figura 9.** Caso 3a. Síndrome epiléptico. Patrón de flujo pre embo II-A. Dos embolizaciones pre-radioquirugía: Última el mismo día de tratamiento radioquirúrgico. Patrón de flujo post-embo III con componente plexal dominante. Zona crítica: PTV 15 cc 18 Gy isodosis 50%.



**Figura 10.** Caso 3b. Seguimiento 10 años DSA. Las fiducias en el estudio muestran el protocolo no invasivo de medición estereotáctica.

## Referencias

1. Steiner L, Leksell L, Greitz T et al. Stereotaxic radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations. *Acta Chir Scand* 1972; 138: 459-464.
2. Steiner L, Linquist C. Radiosurgery in cerebral arteriovenous malformations, in Tasker RR(ed): Neurosurgery: State of the Art Review. *Stereotactic Surgery*. Philadelphia: Hanley & Belfus, 1987: 329-336.
3. Lunsford LD, Kondziolka D, Flickinger JC et al. Stereotactic radiosurgery for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 1991; 75: 512-524.

4. Friedman WA, Bova FJ et al. Linear accelerator radiosurgery for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 1992; 77: 832-841.
5. Friedman WA, Bova FJ, Mendenhall WM. Linear accelerator radiosurgery for arteriovenous malformations: The relationship of size to outcome. *J Neurosurg* 1995; 82:180-189.
6. Flickinger JC, Pollock BE, Kondziolka D, Lunsford LD. A dose response analysis of arteriovenous malformations obliteration after radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1996; 36: 873-879.
7. Pollock BE, Kondziolka D, Lunsford LD, Bissonette DJ, Flickinger JC. Repeat stereotactic radiosurgery of arteriovenous malformations: Factors associated with incomplete obliteration. *Neurosurgery* 1996; 38: 318-324.
8. Karlsson B, Linquist C, Steiner L. Prediction of obliteration after Gamma Knife surgery for cerebral arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 1997; 40: 425-431.
9. Pollock BE, Flickinger JC, Lunsford LD et al. Factors associated with successful arteriovenous malformations radiosurgery. *Neurosurgery* 1998; 42: 1239-1244.
10. Ellis TL, Friedman WA, Bova FJ, Kubilis PS, Buatti JM. Analysis of treatment failure after radiosurgery for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 1998; 89: 104-110.
11. Karlsson B, Lax I, Soderman M. Can the probability for obliteration after radiosurgery for arteriovenous malformations be accurately predicted. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1999; 43: 313-319.
12. Chang JH, Chang JW, Park YG, Chung SS. Factors related to complete occlusion of arteriovenous malformations after gamma knife radiosurgery. *J Neurosurg* (Suppl) 2000; 93: 96-101.
13. Pan HC et al. Gamma Knife radiosurgery as a single treatment modality for large cerebral arteriovenous malformations. *J Neurosurg* (Suppl) 2000; 93: 3: 113-119.
14. Flickinger JC. An integrated logistic formula for prediction of complications from radiosurgery. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989; 17: 879-885.
15. Lax I, Karlsson B. Prediction of complication in gamma knife radiosurgery of arteriovenous malformations. *Acta Oncol* 1996; 35: 49-55.
16. Flickinger JC, Kondziolka D, Pollock B et al. Complications from arteriovenous malformation radiosurgery: multivariate analysis and risk modeling. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1997; 38: 485-490.
17. Flickinger JC, Lunsford LD, Kondziolka D. Dose prescription and dose-volume effects in radiosurgery. *Neurosurg Clin N Am* 1992; 3: 51-59.
18. Karlsson B, Lax I, Sodermann M. Factors influencing the risk for complications following Gamma Knife radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations. *Radiother Oncol* 1997; 43: 275-280.
19. Friedman W, Blatt D, Bova F et al. The risk of hemorrhage after radiosurgery for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 1996; 84: 912-919.
20. Pollock BE, Flickinger JC, Lunsford LD et al. Hemorrhage risk after stereotactic radiosurgery of cerebral arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 1996; 38: 652-659.
21. Karlsson B, Linquist C, Steiner L. Effect of Gamma Knife surgery on the risk of rupture prior to AVM obliteration. *Min Invas Neurosurg* 1996; 39: 21-27.
22. Karlsson B, Lax I, Sodermann M. Risk for hemorrhage during the 2-year latency period following Gamma Knife radiosurgery for arteriovenous malformations. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 2001; 49: 1045-1051.
23. Friedman WA, Bova FJ, Bollampaly S, Bradshaw P. Analysis of factors predictive success or complications in arteriovenous malformation radiosurgery. *Neurosurgery* 2003; 52: 296-308.
24. Maruyama K, Shin M, Tago M, Kishimoto J, Morita A, Kawahara N. Radiosurgery to reduce the risk of first hemorrhage from brain arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 2007; 60: 453-459.
25. Chang SD, Marcellus ML, Marks MP, Levy RP, Do HM, Steinberg GK. Multimodality treatment of giant intracranial arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 2003; 53: 1-13.
26. Meder JE, Oppenheim C, Blustajn J et al. Cerebral arteriovenous malformations: The value of radiologic parameters in predicting response to radiosurgery. *AJNR* 1997; 18: 1473-1483.
27. Petereit D, Metha M, Turski P, Levin A, Strother Ch et al. Treatment of arteriovenous malformations with stereotactic radiosurgery employing both magnetic resonance angiography and standard angiography as a database. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1993; 25: 309-313.
28. Zenteno M, Jaramillo J. The predictive value of intrapedicile sodium amobarbital injection in conjunction with pressure recording. *AJNR* 1991; 12: 1241-1249.
29. Luessenhop AJ, Spence WT. Artificial embolization of cerebral arteries. Report of use in a case of arteriovenous malformation. *JAMA* 1960; 172: 1153-1155.
30. Frizzel RT, Fisher WS. Cure, morbidity and mortality associated with embolization of brain arteriovenous malformations: a review of 1246 patients in 32 series of a 35-year period. *Neurosurgery* 1995; 37:1031-1040.
31. Haw CS, ter BruggeK, Willinsky R, Tomlinson G. Complications of embolization of arteriovenous malformations of the brain. *J Neurosurg* 2006; 104: 226-232.
32. Andrade SYM, Ramani M, Scora D, Tsao MN, terBrugge K, Schwartz M. Embolization before radiosurgery reduces the obliteration rates of arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 2007; 60: 443-45.
33. Del Valle R, Perez M, Ortiz J, De Anda S, Jaramillo J. Stereotactic noninvasive volume measurement compared with geometric measurement for indications and evaluation of gamma knife treatment. *J Neurosurg* (Suppl) 2005; 102: 140-142.

## Correspondencia:

Dr. Ramiro Del Valle.  
 Centro de Radiocirugía Gamma Knife,  
 Hospital Médica Sur.  
 Puente de Piedra Núm. 150,  
 Col. Toriello Guerra, 14050,  
 México, D.F. México.  
 E-mail: rdelvalle@medicasur.org.mx