

Oclusión clínica y angiográfica de las malformaciones arteriovenosas cerebrales de difícil acceso tratadas con radiocirugía a 3 años de evolución: estudio definitivo

Manuel Hernández Salazar^{1,2}, Antonio Zarate Méndez^{1,2}, Luis Ramírez López¹, Alejandro Sosa Gallegos¹, Armando Fernández Orozco³, Moisés Castillo Meza², Alfredo López Parra¹, Jorge Galicia Tapia⁴

RESUMEN

Objetivo: medir el porcentaje de oclusión del nido malformativo, así como la evolución clínica y angiográfica de los pacientes con malformaciones vasculares cerebrales (MAC), tipo malformación arteriovenosa cerebral (MAV) tratados con radiocirugía protocolariamente con acelerador lineal modificado de una serie consecutiva de 3 años de seguimiento y con criterios de selectividad y conformación mundiales. **Material y métodos:** entre 1998 y 2001, se inició el seguimiento de los pacientes del CMN 20 de Noviembre ISSSTE con el diagnóstico de MAV cerebral de difícil acceso y alto grado según Spetzler-Martin (SM), bajo control clínico y angiográfico por tres años y se incluyeron a 16 pacientes hasta 2001 en desenlace clínico. Se consideraron los principales signos y síntomas neurológicos relacionados con dichas malformaciones. Se tomaron en cuenta los efectos adversos al tratamiento, que se presentaron en el intervalo entre el inicio de la radiocirugía y la oclusión del nido por endotelización intravascular. Se consideraron todos los tratamientos previos que tuvieran un efecto directo sobre la estructura de la MAV. **Resultados:** las manifestaciones clínicas fueron: cefalea vascular en 12 (75%), crisis epilépticas en 5 (31.2%), déficit motor en 6 (37.5%) y síndrome de cráneo hipertensivo, en 10 (62.5%). El porcentaje de distribución de acuerdo a la escala de SM fue el siguiente: 43.7% grado II, 25% grado III, 18.7% grado

IV y 18.7% grado V. La dosis de tratamiento fue de 19.5 +/- 3 Gy a la superficie, considerándose como la dosis envolvente del 80% del nido vascular. La media del porcentaje de disminución de volumen de la MAV a 6 meses valorada con angiografía fue de 9.68%, a los 12 meses de 36% y a 3 años del 71% de forma acumulativa. En total el 93.1% mejoró clínicamente a los tres años del tratamiento, con una oclusión radiológica final global de 71% a tres años. **Conclusiones:** consideramos que la radiocirugía estereotáctica es un tratamiento de primera elección e incisivo para malformaciones vasculares cerebrales tipo MAV cerebral por efecto de endotelización intravascular nidal, con bajas manifestaciones clínicas asociadas y con buen control clinicoradiológico y nula mortalidad lo que está de acuerdo a las grandes series mundiales en centros neurológicos especializados.

Palabras claves: malformación arteriovenosa, radiocirugía, estereotaxia.

Recibido: 4 septiembre 2006. Aceptado: 26 septiembre 2006.

¹Neurocirugía y Cirugía Cerebro-Vascular, ²Sección de Estereotaxia y Radiocirugía, ³Radio-oncología ⁴Departamento de investigación. Centro Médico Nacional "20 de Noviembre" ISSSTE. Correspondencia: Manuel Hernández Salazar. CMN 20 de Noviembre ISSSTE. Av. Félix Cuevas #540, Col. Del Valle 03229 México D.F.

OCCLUSION OF ANTERIOVENOUS MALFORMATIONS WITH RADIOSURGERY

ABSTRACT

Objective: to analyze retrospectively and prospectively, the clinical and angiographic evolution of the patients with the diagnosis of AVM treated with radiosurgery. **Methods:** between 1998 and 2001, we studied all the patients at the National Medical Center "20 de Noviembre" ISSSTE with the diagnose of cerebral AVM, that counted with clinical and angiographic pursuit by three years, included only 16 patients. The main signs and neurological symptoms relate to the MAV's were valued. The adverse effects to the treatment that were considered, were those that appeared in the interval between the principle of radiosurgery and the obstruction of nidus. All the previous treatment were considered that had a direct influence on the structure of the AVM. **Results:** the clinical manifestation were: vascular headache in 12 (75%), epileptic crises in 5 (31.2%), motor deficit in 6 (37.5%) and cranial hypertensive syndrome, in 10 (62.5%). The percentage of distribution according to the SM scale was the following one: 43.7% degree II, 25% degree III, 18.7% degree IV and 18.7% degree V. The dose of treatment was of 19,5 +/- 3 Gy. The average of the percentage of diminution of volume of the AVM to 6 months valued with angiography was of 9,68%, to the 12 months it went of 36%, and to 3 years of 71%. Altogether the 93,1% was improving clinically at the three years of the treatment. **Conclusions:** we considered that stereotactic radiosurgery is a clinical and radiological treatment acceptable to the cerebral AVM.

Key words: arteriovenous malformations, radiosurgery, stereotaxy.

En los 60s del siglo pasado, cuando aún persistían índices altos de morbilidad en las cirugías cerebrales, el neurocirujano sueco Lars Leksell desarrolló la radiocirugía inicialmente con ortovoltaje de rayos X, después radiación *gamma* para controlar algunos trastornos psiquiátricos y movimientos anormales, sin la necesidad de abrir el cráneo¹. Por su naturaleza, estos procedimientos requieren de un alto grado de control de calidad, además de profesionistas bien preparados y entrenados para los procedimientos de radiocirugía y radioterapia estereotáctica, así como contar con equipamiento e instalaciones adecuadas². Los aceleradores lineales

son sistemas que permiten producir radiación por un sistema electromagnético en el que se aceleran electrones, que tras el adecuado proceso de frenado pueden emitir dos tipos de radiación: fotones y electrones. En radiocirugía se usan fotones, por lo general con una energía de 6 MeV. El sistema LINAC emplea colimadores que van desde 5 a 40 mm de diámetro incrementando de 2 en 2 mm, este rango de colimadores hace posible el tratar, una gran variedad de dimensiones de malformaciones arteriovenosas (MAV's). El giro de la cabeza del portacolimadores o *gantry* del acelerador, conducto final del haz de electrones-fotones guiados por la guía de onda, permite dirigir la radiación en un número infinito de vectores o trayectorias de familias de rectas, es decir por múltiples entradas bajo un movimiento mecánico de arcos no coplanares irradiando la lesión en trayectorias de 100 a 140° por cada arco de radiación (protocolo estándar de Gainesville Florida, Estados Unidos de Norteamérica) en un total de 6 a 9 arcos. En los sistemas que disponen de colimación fija al isocentro el error máximo es de 0.2 mm. Existen hoy en día múltiples sistemas tienen en cuenta la multiplicidad de factores que se pueden utilizar para irradiar volúmenes irregulares: la planificación bajo algoritmos de conformación (de la forma de lesión) con matrices de múltiples isocentros se pueden hacer no sólo por sumación de esferas de tratamiento, sino también con infinitas combinaciones de los arcos de giro, longitud del arco, dosis de cada arco, combinación de colimadores, etc.³. La planificación para el acelerador lineal es así muy versátil y fácil de adaptar a cualquier volumen. Se han desarrollando sistemas que conforman el tratamiento conocido como radiocirugía conformacional. Con estos colimadores se puede crear cualquier forma de haz, para adaptarse al perfil de la lesión desde cada una de las puertas de entrada. Esta variación del perfil del haz a lo largo de múltiples puertas de entrada permite hacer la radiocirugía conformada dinámica, en la que en cada punto de giro del *gantry* se administre la radiación con una forma ajustada con un perfil de penumbra lateral muy baja o de gran selectividad, es decir con una energía que desciende rápidamente alrededor de la zona blanca o *target*. Con el acelerador lineal se pueden utilizar guías estereotácticas reposicionables, que permiten, con una sola planificación, administrar la dosis necesaria en múltiples sesiones. Este procedimiento, cuando se usa en fraccionamiento corto (2 a 4 sesiones), puede llamarse radiocirugía fraccionada o radioterapia estereotáctica de alta precisión, aunque aún no hay mucha experiencia en las dosis y número de fracciones más

apropiadas. Cuando se usa en fracciones múltiples, permite aprovechar la efectividad y sobre todo la tolerancia de la radiación administrada en fracciones, con la colimación bien cilíndrica o bien conformada. La elección del tratamiento más efectivo para una malformación arteriovenosa requiere la realización de una valoración equilibrada de los riesgos y beneficios de una terapia frente a los de las otras alternativas de tratamiento. La microcirugía convencional conlleva los riesgos de la operación: morbilidad neuroquirúrgica general y riesgo de daño del tejido cerebral por la vía operatoria. Sin embargo, cuando es satisfactorio, la microcirugía reseca de forma completa la malformación y el riesgo futuro de una nueva hemorragia es nula. Algunos pacientes no son candidatos para cirugía debido a la presencia de comorbilidad o enfermedades que no permiten una cirugía. En términos generales la cirugía cerebrovascular no suele utilizarse en malformaciones de grado III o mayor, cuya morbilidad asociada puede ser superior al 16%. En general los pacientes con MAV que excedan de 35 mm de diámetro del nido, no son considerados buenos candidatos para radiocirugía por que el riesgo de inducir complicaciones tardías por radiación aumentan exponencialmente^{4,8}. Aunque se admite que después de la radiocirugía se puede lograr la oclusión completa del 80% de las malformaciones arteriovenosas de hasta 25 a 30 mm de diámetro y en estudios como el de Sturm en Hidelberg hubo 69% de oclusión de MAV de hasta 40 mm a 36 meses. El porcentaje de oclusión exitosa de las MAV cerebrales a tres años, que no sean mayores de 3 cm de volumen es del 52.2 al 95%^{3,5-7,9-15}. Si después de tres años de seguimiento bajo protocolo para evaluar la oclusión de una MAV, ésta se encuentra parcialmente ocluida se justifica un segundo tratamiento de radiocirugía^{7,16-18}. Existen tres consideraciones que deben de ser tomadas en cuenta para determinar el éxito de la radiocirugía en el manejo de las MAV: el nido debe de obliterarse completamente para evitar así el riesgo de sangrado, el paciente no debe de incrementar su morbilidad debido a una hemorragia que se presente en el intervalo de latencia antes de la obliteración del nido (dentro de los primeros 16 meses) y no deben de presentarse las complicaciones inducidas directamente por la radiación sobre el tejido cerebral sano que rodea a la lesión vascular. Las complicaciones neurológicas permanentes varían entre un 3 y 5% para los sistemas de radiocirugía, entre estas se encuentran: edema, radionecrosis, infarto, formaciones quísticas, agravamiento de la sintomatología, hemiparkinsonismo y estenosis de arterias cerebrales mayores^{3,5,8,11,15,19}.

La tasa media anualizada de hemorragia en estudios de dos años de seguimiento es superior al 3%. La mortalidad informada es de 0%. En MAV que nunca han sangrado, la incidencia de hemorragia es alrededor de 1% por año, con un 10% de mortalidad en el primer sangrado y después del primer sangrado, un 3.7% de posibilidad de un segundo sangrado con un índice de mortalidad del 0.9%²⁰. Si el riesgo de hemorragia aumenta o no después del primer sangrado es algo todavía no conocido con absoluta certeza. No obstante, la frecuencia de hemorragias futuras es superior para aquellos pacientes con una historia previa de hemorragias que para aquellos que no las han tenido, según algunos autores²¹ el riesgo de hemorragia se eleva hasta un 30% en la década siguiente al momento del diagnóstico. En nuestro medio aún no se han publicado series con seguimientos definitivos de radiocirugía en MAV por lo que el presente estudio analiza la primera serie concluida clínica y radiológicamente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Población: desde agosto de 1998 hasta marzo del 2001, se estudiaron los pacientes del CMN "20 de Noviembre" ISSSTE con el diagnóstico de MAV cerebral con una o más de las siguientes características: profundas, en áreas elocuentes y no accesibles quirúrgicamente, esto como resultado de una evaluación previa del grupo de neurocirujanos cerebrovasculares que las consideraron de alto grado de dificultad técnica, resultando 24 pacientes que cumplieron criterios para tratamiento con radiocirugía y que contaran con seguimiento clínico y radiológico cada 6 meses por un periodo de tres años. De estos 24 pacientes, 16 fueron mujeres (66.7%) y 8 hombres (33.3%), con un promedio de edad de 29 +/- 11.8 años.

Seguimiento y análisis estadístico

Se valoraron los principales signos y síntomas neurológicos relacionados con la MAV dividiéndose en manifestaciones focales y no focales. Se analizaron las características radiológicas de acuerdo a sus componentes, se estratificaron de acuerdo al sistema de graduación propuesta por Spetzler y Martín. Clasificación que en un inicio se describió para determinar el riesgo quirúrgico, después, se extendió para la decisión de manejo para otras modalidades terapéuticas en MAV²². Se tomaron en cuenta los efectos adversos al tratamiento, siendo estos aquellas alteraciones que se presentaron como causa directa a la radiocirugía y

al sangrado que se llegaron a presentar en el intervalo entre el inicio del tratamiento y la oclusión del nido. Se reporta la respuesta radiológica a partir de los seis meses posteriores a la radiocirugía, al año y al tercer año por angiografía cerebral, así como la evolución clínica.

Los datos clínicos se obtuvieron de los expedientes clínicos y las características de la radiocirugía del protocolo STP de estereotaxia; la investigación fue de tipo ambipectivo, utilizando métodos de estadística descriptiva, en base a tablas de frecuencias y porcentajes para cada uno de los signos y síntomas.

Radiocirugía

Para la prestación del servicio de radiocirugía se dispuso de un equipo multidisciplinario adecuadamente formado con un programa de tratamiento organizado en sesiones ordinarias y dentro de la unidad hospitalaria con los recursos y equipamiento necesarios para asegurar la calidad asistencial, que básicamente son:

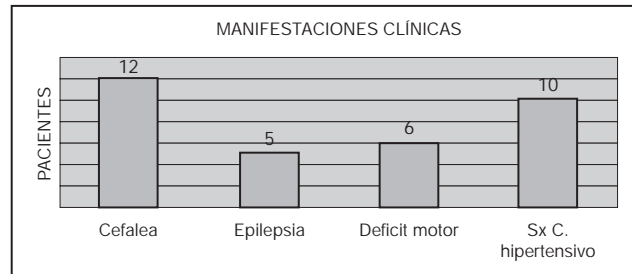
1. Equipo de localización (sistema estereotático ZD de Leibinger Fisher): guía y localizadores estereotáticos (TAC general electric 3D, angiografía y RM Phillips Gyroscan de 1.5 teslas).
2. Sistemas de diagnóstico. Localización y determinación del volumen del blanco estereotático (TAC, angiografía, RM).
3. Sistemas de tratamiento de imágenes y planificación dosimétrica (programa stereotactic treatment planning de Leibinger Fischer, caja de verificación de blancos estereotáticos, sistema de red, DICOM o disco para transferir imágenes Ethernet).
4. Sistemas de obtención y medición dosimétrica propio del hospital para haces finos de fotones y de comprobación de exactitud, de acuerdo a la normatividad vigente de la Comisión de Energía Nuclear y Salvaguardas.
5. Equipo de irradiación (Linac marca Phillips modelo SL7514 con energía de electrones de 10MeV (10,000,000 de electrón volts).

RESULTADOS

Se incluyeron sólo 16 de 24 pacientes portadores de MAV's cerebrales que se trataron con radiocirugía, entre agosto de 1998 y marzo del 2001. Se excluyeron del seguimiento radiológico y clínico a ocho (33.3%) pacientes, por no acudir las citas de control. El 66.7% restantes tuvieron seguimiento radiológico y clínico por tres años.

Las manifestaciones clínicas fueron: cefalea

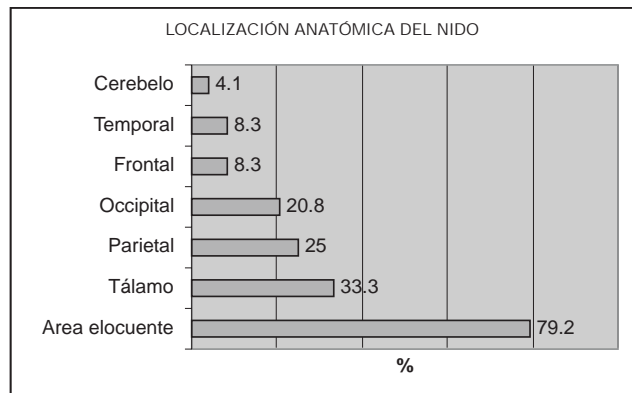
vascular en 12 (75%), crisis epilépticas en 5 (31.2%), déficit motor en 6 (37.5%) y síndrome de cráneo hipertensivo, secundario a hemorragia cerebral en 10 (62.5%), de estos, 3 presentaron sangrado en dos compartimientos anatómicos diferentes; 7 (43.7%) intraparenquimatoso, 3 (18.7%) subaracnoideo y 3 (18.7%) intraventricular.



Gráfica 1.

El porcentaje de distribución de las 16 MAV's de acuerdo a la gradación de la escala de Spetzler-Martin fue el siguiente: 43.7% grado II, 25% grado III, 18.7% grado IV y 18.7% grado V.

De acuerdo al tipo de drenaje venoso se encontraron, 18 (75%) con drenaje profundo, 6 (25%) con drenaje superficial, en relación a la localización anatómica, el 79.2% se encontraron en áreas elocuentes, 8 (33.3%) en tálamo, 6 (25%) en lóbulo parietal, 5 (20.8%) en lóbulo occipital, 2 (8.3%) en lóbulo frontal, 2 (8.3%) en lóbulo temporal y 1 (4.1%) en cerebelo.

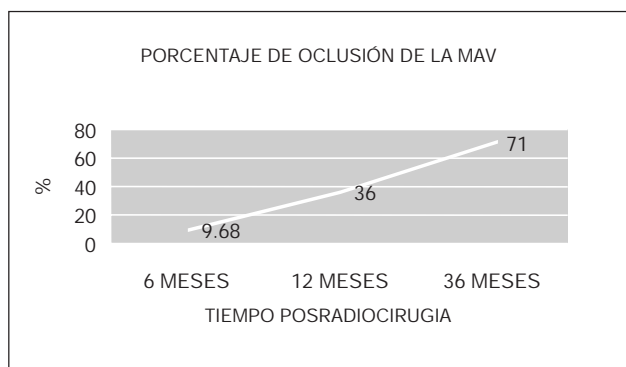


Gráfica 2.

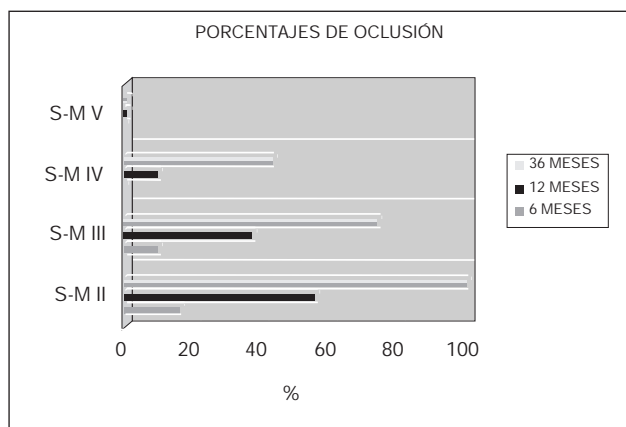
Radiocirugía

La dosis de tratamiento fué de 19.5 +/- 3 Gy, para el isocentro en el nido de la malformación. El número típico de isocentros fue de uno en nueve pacientes, hubo cuatro pacientes con dos isocentros y tres pacientes necesitaron 3 isocentros. La media del porcentaje de disminución de volumen de la MAV a 6 meses valorada con angiografía fue de 9.68%, a los

12 meses fué de 36% y a 3 años del 71% (gráficas 3 y 4).

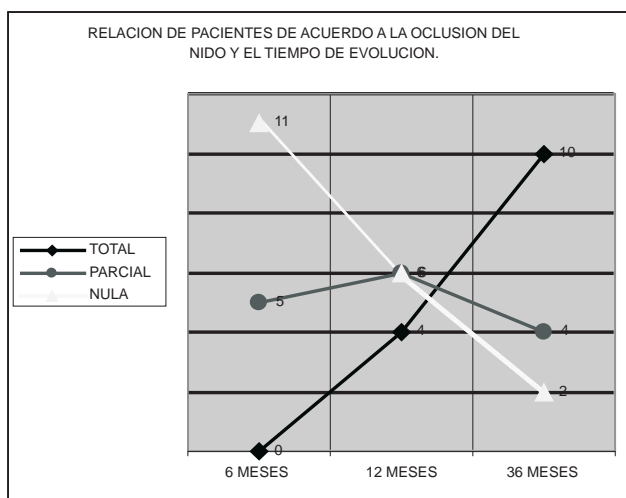


Gráfica 3.



Gráfica 4.

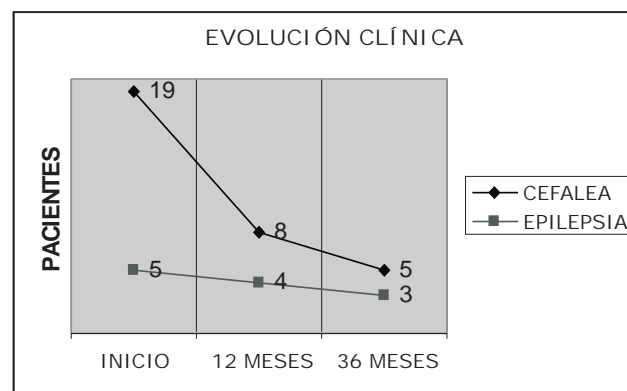
En sólo 4 (25%) de los 16 pacientes con seguimiento angiográfico durante un año se registró oclusión del 100% y en el seguimiento a tres años, en total fueron 10 (62.5%) pacientes con oclusión del 100% (gráfica 5).



Gráfica 5.

Seguimiento clínico

La evolución clínica en los primeros 12 meses de seguimiento tendió a ser poco significativa hacia la mejoría, 8 de 19 pacientes (42.1%) persistieron con cefalea vascular, 4 de 5 pacientes (80%) continuaron con crisis epilépticas, 4 de 6 pacientes (66%) continuaron con algún grado de paresia (gráfica 6). En el seguimiento clínico a tres años, la mejoría y/o recuperación clínica fué más significativa, el 75% de los pacientes con cefalea presentaron mejoría en relación a la intensidad, presentándose sólo en ocasiones; el 40% de los pacientes con epilepsia, llevan más de dos años sin presentarse crisis hasta el momento del estudio, el otro 40% continúa sin cambios y sólo en el 20% incremento la frecuencia e intensidad de las crisis, esto asociado a cambios parenquimatosos en imágenes de resonancia magnética sugestivos de radionecrosis.

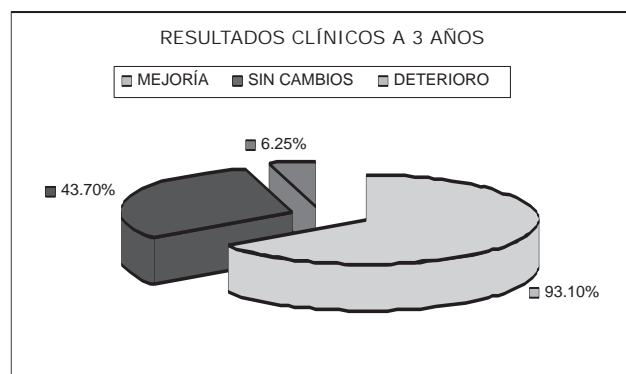


Gráfica 6.

En relación a los pacientes con algún grado de déficit motor 5 pacientes mejoraron en relación al inicio del tratamiento con rehabilitación intensiva y posterior a la reabsorción del sangrado y/o hematomas, sólo un paciente continuó con hemiparesia sin cambios. En total el 93.1% (n=15) mejoró clínicamente a los tres años del tratamiento, el 43.7% (n=7) permaneció sin cambios y sólo el 6.25% (n=1) presentó un deterioro neurológico mayor, posterior a la radiocirugía (gráfica 7).

Efectos adversos

En el primer año de seguimiento en relación a las complicaciones, se documentó sólo el 6.25% (n=1) de sangrado a los 8 meses del tratamiento con radiocirugía y el 12.5% (n=2) presentaron datos clínicos y cambios radiológicos en imágenes de resonancia magnética sugestivos de radionecrosis uno



Gráfica 7.

de estos pacientes inició con crisis epilépticas, seis meses posteriores a la radiocirugía.

Caso 1. Masculino de 28 años de edad con historia de cefalea de 7 años de evolución, al que se le realiza el Dx de MAV posterior a cefalea intensa, incapacitante, al realizar estudios de imagen se encuentra HSA, después por angiografía se diagnostica MAV talámica S-M II, se le realizó radiocirugía en mayo de 1999, con resolución del 100%, 3 años después.



Caso 1. Preradiocirugía 1999. Caso 1. Posradiocirugía 2003.

Caso 2: femenino de 13 años de edad, que debuta con crisis parciales complejas, en estudios de imagen se documenta MAV temporal SM II, se trata con radiocirugía en 1999, con resolución del 100% a los dos años de evolución.



Caso 2. Preradiocirugía 1998. Caso 2. Posradiocirugía 2000.

DISCUSIÓN

El objetivo principal de este estudio fue, analizar el efecto de la radiocirugía a largo plazo sobre las malformaciones vasculares cerebrales tipo MAV, es bien sabido que la angiografía es el estudio tipo *gold standard* y puede confirmar el fracaso o éxito de la radiocirugía. Partiendo de este principio, evaluamos los 16 pacientes tratados en nuestra institución, obtenien-

do lo que consideramos buenos resultados hasta este momento, por el 36 y 71% de obliteración de las MAVs, en seguimiento a uno y tres años respectivamente. Comparado con las publicaciones de las series de Steiner, Yamamoto, Lunsford, Steinberg, Colombo, Souhami, Loeffler, Friedman y Pollock, nos encontramos dentro de rangos de éxito dado que reportan un porcentaje de oclusión desde el 52% hasta un 95%. Steiner, *et al*^{23,24,26}, han publicado múltiples estudios de MAVs tratada con *gamma knife* reportando un 33.7% de oclusión al año y 79 a 86.5% a tres años.

Yamamoto, *et al*²⁵ reportaron 25 pacientes, el porcentaje de oclusión a dos años fue del 64%, al final del estudio, se obtuvo el 73% de oclusión. En otro artículo, Yamamoto, *et al*³, reportan la cura de 6 niños de un total de 9 (67%).

En nuestro estudio el promedio de radiación fue de 19 +/- 3 Gy, Lunsford, *et al*²⁷, reportaron 227 pacientes tratados con *gamma knife*, la dosis promedio utilizada fue de 21.2 Gy, 70 pacientes que tuvieron seguimiento por un año reportaron oclusión completa en el 76.5%, en el seguimiento a dos años se confirmó la obliteración completa en el 80%.

Steinberg, *et al*²⁸ analizaron 86 pacientes tratados con partículas pesadas, reportando a un año el 29% de oclusión, el 70% a dos años y el 92% a tres años, inicialmente utilizaron una dosis de 34.6 Gy, a lo que se asoció un mayor índice de complicaciones neurológicas, después la dosis utilizada fluctuó entre 7.7 y 19.2 Gy.

Colombo, *et al*^{29,30}, reportaron 97 casos tratados con sistema Linac, la dosis utilizada fue de 18.7 a 40 Gy, concentrada casi en la totalidad de la MAV (75%), en una o dos sesiones, de estos sólo 52 tuvieron seguimiento angiográfico a un año, en los que se comprobó en 26 (52%) la oclusión completa de la lesión y 15 de 20 (75%) casos que tenían seguimiento a dos años, presentaron oclusión completa, reportaron la relación entre el tamaño de la MAV y el porcentaje de oclusión: lesiones menores de 15 mm, tienen un índice de obliteración al año de 76% y a dos años del 90%; lesiones de 15 a 25 mm de diámetro tienen un índice de oclusión a un año de 37.5% y a dos años del 80%; lesiones mayores de 25 mm a un año del 11% y a dos años del 40%.

Souhami, *et al*³¹, reportaron 33 pacientes, tratados con sistema Linac. La dosis aplicada fue de 50 a 55 Gy, el 38% presentó trombosis completa de la lesión al año del tratamiento. En los pacientes que recibieron un mínimo de dosis de 25 Gy, el índice de obliteración fue del 61.5%. Loeffler, *et al*³² reportaron 16 pacientes tratados con sistema Linac, 5 de 11

(45%) pacientes presentaron oclusión total en un año, y 8 de 11 (73%) a dos años. Friedman, *et al*²², en una serie de 158 pacientes reportaron oclusión total en el 80% de ellos. Pollock, *et al*³³ de 144 pacientes, reportaron oclusión total en el 64% de los pacientes. En nuestro estudio sólo 4 (25%) de los 16 pacientes con seguimiento angiográfico durante un año se registro oclusión del 100% y en el seguimiento a tres años, en total fueron 10 (62.5%) pacientes con oclusión del 100%. Múltiples series²⁵ han abordado este tema, en donde se establece un consenso de tratamiento, dando como mínimo 20Gy en la periferia de la MAV, incluyendo equipos *gamma*, Linac o de partículas pesadas.

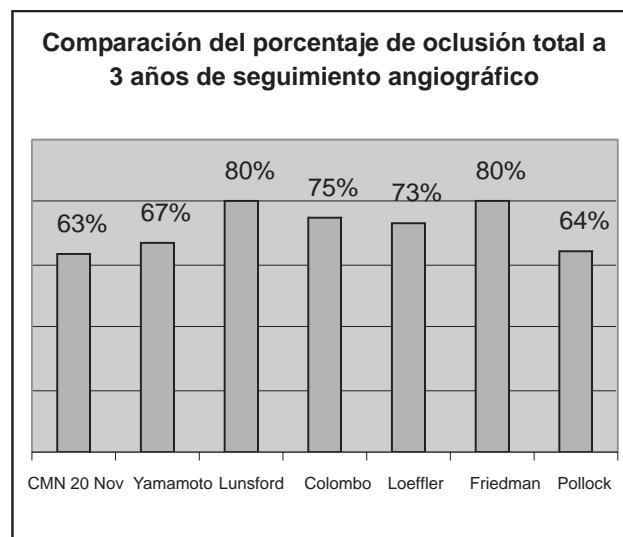
Por último, los pacientes que no presentaron obliteración, se propusieron nuevamente ante el comité para planear un segundo tratamiento con radiocirugía, esperando que en el seguimiento angiográfico futuro tengan mejores índices de oclusión. Francel, *et al*³⁴ reportaron 60 pacientes tratados con radiocirugía en una segunda ocasión por falla en la radiocirugía inicial, de 36 pacientes evaluados a los dos años del retratamiento, 26 (72%) presentaron oclusión total valorada por angiografía.

Los efectos adversos posradiocirugía considerados en nuestra serie (sangrado, radionecrosis) se presentaron en el 18.7%, sólo un paciente (6.25%) presentó sangrado 8 meses posterior a la radiocirugía y dos pacientes (12.5%) presentaron radionecrosis. Múltiples series reportan que en relación al riesgo de sangrado con y sin radiocirugía no hay diferencia. Friedman²² reporta el 4% de sangrado posterior al tratamiento, todos dentro del primer año. Pollock³³ reporta un 8% de sangrado dentro del primer año. Steiner²⁴ reportó signos y síntomas clínicos secundarios a radionecrosis en el 3% de sus pacientes. Lunsford, *et al*²³, reportaron 10 pacientes (4.4%) que presentaron alteraciones neurológicas posteriores a la radiocirugía, relacionados con radionecrosis, entre el 4^{to} y 18^{avo} mes postratamiento. En la serie de Colombo, *et al*²⁹, reportaron 3 de 97 (3%) pacientes, que presentaron radionecrosis. Loeffler³⁵ reportó 1 de 21 (4.7%) pacientes con sintomatología similar que respondió de manera favorable a esteroides. Souhami, *et al*³¹ reportaron radionecrosis en 2 de 33 (6%) pacientes³⁶.

Con nuestros resultados podemos definir que la radiocirugía estereotáctica es de valor muy limitado para las malformaciones arteriovenosas excesivamente grandes, aunque se han publicado resultados aceptables en MAV que superan los 3 cm de diámetro máximo. Steinberg²⁸, reportó altos índices de

obliteración en MAV's mayores de 25 mm de diámetro (10 cc de volumen), en seguimiento a tres años. Friedman a su vez reporta, oclusión del 100% a largo plazo en una lesión de 26.2 cc y Hartmann también informa oclusión del 80% a largo plazo en lesiones de 30 cc²². El centro de "Loma Linda" California, Estados Unidos de Norteamérica ha informado sobre obliteración del 80% a 36 meses en nidos gigantes de 6.5 cm de diámetro promedio (rango de 6 a 15 cm) y con dosis de 11.5 a 25 GyE de energías de hasta 250 MeV, en MAV grado V de SM con radiocirugía con protones exitosamente³⁷.

Por otra parte, a no ser que la forma de la malformación sea bastante favorable, no es posible dar una dosis de radiación efectiva a los márgenes de la lesión sin originar un cierto riesgo de daño neurológico. Si los niveles de la dosis se reducen para disminuir el riesgo, la efectividad también disminuirá. Hay evidencia de que la efectividad de la radiocirugía para las malformaciones disminuye a medida que el tamaño de la lesión aumenta²² (gráfica 8).



Gráfica 8.

CONCLUSIONES

Consideramos que la radiocirugía estereotáctica es altamente recomendable para MAV cerebrales cuya eficacia se ha demostrado sobre todo en MAV pequeñas SM II, y que en nuestra serie de lesiones de difícil acceso se obtuvo un índice muy aceptable de obliteración, con el riesgo mas bajo de hemorragia durante el periodo del estado latente. Lográndose en esta serie de MAV de difícil acceso un porcentaje de oclusión nidal o endotelización intravascular final a tres años del 71%, lo que concuerda con lo descrito en la literatura. La radiocirugía estereotáctica ya no es

un complemento sino una alternativa a tener en cuenta frente a la neurocirugía convencional que nos ofrece un resultado inmediato, a menos costo, pero con limitaciones por su morbilidad y por sus localizaciones de alto grado de dificultad técnica, y en este sentido existe una superioridad evidente de la radiocirugía sobre la cirugía cerebrovascular.

REFERENCIAS

1. Leksell L. A note on the treatment of acoustic tumors. *Acta Chir Scand* 1971;137 (8):763-5.
2. Ramiro del VR, Patricia RC, Juan OR, Salvador RG, Luis PE, et al. Radiocirugía y radioterapia estereotáxica. Lineamientos del Colegio Mexicano de Cirugía Neurológica. *Rev Mex Neuroci* 2003; 4(1):27-36.
3. Yamamoto M, Jimbo M, Hara M, Saito I, Mori K. Gamma knife radiosurgery for arteriovenous malformation. Long-term follow-up results focusing on complications occurring more than 5 years after irradiation. *Neurosurgery* 1996;38(5):906-14.
4. Gallinas P, Marienne L, Meder JF, Schlienger M, Lefkopoulos D, Merland J. Failure in radiosurgery treatment of cerebral arteriovenous malformation. *Neurosurgery* 1998;42(5):996-1002.
5. Levy EI, Niranjan AM, Thompson T, Carrow A, Kondziolka D, Flickinger JC. Radiosurgery for childhood intracranial arteriovenous malformation. *Neurosurgery* 2000;47(4):834-42.
6. Pollock BE, Flickinger JC, Lunsford LD, Bissonette DJ. Hemorrhage risk after stereotactic radiosurgery of cerebral arteriovenous malformation. *Neurosurgery* 1996;38(4):652-61.
7. Pollock BE, Gorman DA, Schomberg PJ, Kline RW. The Mayo Clinic gamma knife experience: indications and initial results. *Mayo Clinic proceedings* 1999; 74(1):5-13.
8. Yamamoto M, Ban S, I de M, Jimbo M. A diffuse white matter ischemia lesion appearing 7 years after stereotactic radiosurgery for cerebral arteriovenous malformation: case report. *Neurosurgery* 1997;4(16):1405-9.
9. Hadjipanyis CG, Levy EI, Niranjan AM, Kondziolka D, Flickinger JC, Lunsford LD. Stereotactic radiosurgery for motor cortex region arteriovenous malformation. *Neurosurgery* 2001;48(1):70-7.
10. Kurita H, Kawamoto S, Sasaki T, Shin M, Tago M, Terahara A. Results of radiosurgery for brain stem arteriovenous malformations. *J Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 2000; 68(5):563-70.
11. Masaki Y, Mitsuhiro H, Mitsunobu I, Yuko O, Isamu S. Radiation related adverse effects observed on neuro-imaging several years after radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations. *Surg Neurol* 1998;49:385-98.
12. Pollock BE, Flickinger JC, Lunsford LD, Bissonette DJ, Kondziolka D. Factors that predict the bleeding risk of cerebral arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 1996;27(1):1-6.
13. Pollock BE, Flickinger JC, Lunsford LD, Kondziolka D, Maitz AM. Factors associated with successful arteriovenous malformation radiosurgery. *Neurosurgery* 1998;42(6):1239-44.
14. Schwartz M. Stereotactic radiosurgery: comparing different technologists. *CMAJ. JMAC* 1998; 158(5):625-8.
15. Shaller C, Schramm J. Microsurgical results for small arteriovenous malformations accessible for radiosurgical or embolization treatment. *Neurosurgery* 1997;40(4):664-74.
16. Donald A, Howard M, James M, James A, John D, Donna LA. Stereotactic radiosurgery of cerebral arteriovenous malformations with a multileaf collimator and a single isocenter. *Neurosurgery* 2000;47: 123-30.
17. Pollock BE, Lunsford LD, Kondziolka D, Bissonette DJ, Flickinger JC. Repeat stereotactic radiosurgery of arteriovenous malformations: factors associated with incomplete obliteration. *Neurosurgery* 1996;38(2):313-24.
18. Satoshi M, John CF, Douglas K, Lunsford LD. Repeated radiosurgery for incompletely obliterated arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 2000;92:961-70.
19. Arndt J, Backlund EO, Larsson B, Leksell L. Stereotactic irradiation of intracranial structures: physical and biological consideration. *INSERM* 1979; 12:81-92.
20. Pollock BE, Flickinger JC, Lunsford LD, Bissonette DJ. Hemorrhage risk after stereotactic radiosurgery of cerebral arteriovenous malformation. *Neurosurgery* 1996;38(4):652-61.
21. Wilkins RH, Rengachary SS. *Neurosurgery*. 2nd Edition, USA. McGraw-Hill 1996.
22. Friedman W, Frank J, Mendenhall W. Lateral accelerator radiosurgery for arteriovenous malformation: the relationship of size to outcome. *J Neurosurg* 1995;82:180-9.
23. Lindquist C, Steiner L. Stereotactic radiosurgical treatment of malformations of the brain, in Lunsford. *Modern stereotactic neurosurgery*. Boston 1998; 491-506.
24. Steiner L. Radiosurgery in cerebral arteriovenous malformations. *Cerebrovascular Surg* 1985;4:1161-215.
25. Yamamoto M, Jimbo M, Kobayashi M. Long-term results of radiosurgery for arteriovenous malformation. *Surg Neurol* 1992;37:219-30.
26. Steiner L. Treatment of arteriovenous malformations by radiosurgery. Williams & Wilkins. *Neurosurgery*, 2nd Edition, USA: McGraw-Hill 1996.
27. Lunsford L, Kondziolka D, Flickinger J. Stereotactic radiosurgery for arteriovenous malformations of the brain. *J Neurosurg* 1991;75:512-24.
28. Steinberg G, Fabricant J, Marks M. Stereotactic heavy-charged particle Bragg-peak radiation for intracranial arteriovenous malformations. *N Engl J Med* 1990. 323:96-101.
29. Colombo F, Benedetti A, Pozza F. External stereotactic irradiation by linear accelerator. *Neurosurgery* 1985;16:154-60.
30. Colombo F, Benedetti A, Pozza F. Linear accelerator radiosurgery of cerebral arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 1989; 24:833-40.
31. Souhami L, Olivier A, Podgorsak EB. Radiosurgery of cerebral arteriovenous malformations with the dynamic stereotactic irradiation. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1990;19:775-82.
32. Loeffler JS, Alexander E III, Siddon RL. Stereotactic radiosurgery for intracranial arteriovenous malformations using a standard linear accelerator. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 1989;17:673-7.
33. Pollock B, Gorman D, Coffey R. Patient Outcome after arteriovenous malformation radiosurgical management: results based on a 5- to 14-year follow-up study. *Neurosurg* 2003; 52 (6):1291.
34. Francel PC, Steiner L, Steiner M. Repeat radiosurgical treatment in arteriovenous malformations following unsatisfactory result of initial single high-dose radiation. *J Neurosurg* 1991;74:352 (Abstract).
35. Loeffler JS, Siddon RL, Wen PY. Stereotactic radiosurgery of the brain using a standard linear accelerator: a study of early and late effects. *Radiother Oncol* 1990, 17:311-21.
36. Steiner L, Leksell L, Forster DM, et al. Stereotactic radiosurgery in intracranial arteriovenous malformations. *Acta Neurochir Suppl* 1974, 21:195-209.
37. Agencia Internacional de Energía Atómica, informe 2004.