

Técnica microquirúrgica para resección de malformaciones arteriovenosas

Edgar Nathal

RESUMEN

Las malformaciones arteriovenosas (MAVs) cerebrales son la forma más reconocida dentro de las malformaciones vasculares debido a sus implicaciones clínicas y terapéuticas. Las MAVs presentan una heterogeneidad clínica y en su localización con ocurrencia a nivel cortical, subcortical, ventricular, cerebelosa, tallo cerebral, únicas o múltiples. El tratamiento quirúrgico de las mismas es un desafío técnico para los neurocirujanos. Las descripciones acerca de los abordajes para resecar una MAVs, descritas en numerosas publicaciones en la literatura internacional, por lo general adolecen de una sistematización que permita al neurocirujano en entrenamiento, entender y adoptar la técnica apropiada para llevar a cabo un tratamiento efectivo de las mismas. En este trabajo, se describe la técnica microquirúrgica paso a paso basada en la sistematización técnica a través del acrónimo denominado "ACADEV", con el fin de facilitar el entendimiento y la memorización de los pasos necesarios para efectuar una exéresis exitosa de una MAV. Adicionalmente, se hace énfasis en los recursos técnicos mínimos indispensables durante una operación y los puntos a los que se les debe prestar una especial atención.

Palabras clave: malformación arteriovenosa cerebral, microcirugía, neurocirugía vascular, técnica microquirúrgica.

MICROSURGICAL TECHNIQUE FOR THE RESECTION OF ENCEPHALIC ARTERIOVENOUS MALFORMATION

ABSTRACT

The arteriovenous malformations of the brain (AVMs), are the most commonly recognized of the vascular malformations because of their clinical and therapeutic implications. Even when there are many papers in the literature about the surgical technique, most of them lack of a detailed and systematic description of the microtechnique. This point is a matter of concern specially for young neurosurgeons in training, because only a few neurosurgical centers have enough number of patients with AVMs to get a theoretical and practical concept to deal with such a cases.

In this work, it is presented a detailed description of the microsurgical technique based on the acronym "ACADEV". This acronym includes all the steps necessary to assure an effective treatment of an AVM as follows: A = angioarchitecture, C = craniotomy, A = attack (peripheral attack), D = dissection (circumferential), E = extensive coagulation of feeders and, V = vein(s) of drainage. In addition, a special remarks are made about our surgical results, the proper surgical instrumentation and another special tips according to the surgical experience of the author.

Key words: brain arteriovenous malformations, microsurgery, neurovascular surgery, surgical technique.

Recibido: 29 agosto 2005. Aceptado: 23 septiembre 2005.

Subdirección de Neurocirugía. Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez. Correspondencia: Edgar Nathal. Subdirección de Neurocirugía Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. Insurgentes Sur # 3877. 14269 México, D.F. E-mail. nathal@edgar.to

Las malformaciones arteriovenosas (MAVs) es el grupo más conocido dentro de las malformaciones vasculares cerebrales¹. Su estructura básica esta constituida por; **a.** uno o mas vasos alimentadores, **b.** un nido compuesto por una red de

vasos arteriales y venosos parcialmente separados por islas de tejido neural no funcional, que se localiza en un lecho formado a partir de un desplazamiento más que por invasión del tejido nervioso normal y **c.** una o varias venas de drenaje (ver figura 1)². Las MAVs poseen un potencial bien reconocido para causar hemorragias³⁻⁴, crisis convulsivas, cefaleas o déficit neurológico progresivo o recurrente. Aún cuando las MAVs pueden localizarse en cualquier parte del eje neural, la localización parece representar sólo el volumen relativo del cerebro en una región determinada. Por ejemplo, el lóbulo frontal, que representa aproximadamente el 30% del volumen encefálico, tiene en promedio el 30% de las MAVs. La fosa posterior, que representa el 12% del volumen, tiene entre el 12 y el 14% de las malformaciones. En diversos estudios se ha demostrado que la localización no tiene una influencia sobre la tendencia a producir hemorragias, crecimiento, regresión, complejidad vascular o tamaño.

En la actualidad, la forma más común de clasificar las MAVs está basado en la clasificación de Spetzler y Martin publicada en 1986 (tabla 1)⁵. Esta se basa en tres puntos importantes; **1.** localización (área elocuente o no elocuente), **2.** tamaño (<3, 3-6, y >6 cm), **3.** tipo de drenaje venoso (superficial o profundo). Con esta escala, las MAVs pueden clasificarse en grados 1 a 5. Esta clasificación tiene importancia desde el punto de vista pronóstico y recién han sido propuestas algunas modificaciones. Su limitación principal se encuentra en malformaciones grado 3, ya que este grado representa en realidad un grupo heterogéneo de malformaciones que se definen en forma simple dentro de dos subgrupos; "grandes y periféricas o pequeñas y profundas"⁶. De Oliveira, *et al* han hecho un particular énfasis en esta subclasificación de las MAVs definiéndolas como grados 3-A y 3-B⁷. Clásicamente, los resultados quirúrgicos han sido muy satisfactorios en MAVs grados I, 2 y 3A, con una morbi-mortalidad menor al 10% reportada en la mayor parte de centros

con experiencia en el tratamiento de las mismas^{8,9}. En la actualidad, las malformaciones grados 4 y 5 son tratadas quirúrgicamente sólo bajo condiciones especiales (sangrado y/o resangrado, déficit neurológico progresivo, crisis convulsivas incontrolables), esto debido a que los índices de morbilidad se elevan considerablemente y resultan en ocasiones peores que la propia historia natural de la enfermedad¹⁰⁻¹³. Nuevas formas de tratamiento combinado (embolización-cirugía-radiocirugía), están siendo evaluadas en estudios prospectivos para mejorar los resultados en malformaciones grado 4 y 5¹⁴⁻¹⁶.

MATERIAL Y MÉTODOS

En el periodo comprendido de marzo de 1998 a marzo del 2005, fueron evaluados 375 pacientes portadores de una MAV, de los cuales fueron intervenidos quirúrgicamente 172 pacientes por el autor, en la Subdirección de Neurocirugía del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez, México. A partir de la experiencia quirúrgica obtenida con estos casos y de la revisión de la literatura al respecto, se ideó y construyó el acrónimo denominado ACADEV. En este acrónimo, se incluyen los pasos quirúrgicos que de forma progresiva y sistemática son necesarios para llevar a cabo una resección exitosa de una MAV. Las letras que constituyen el acrónimo se refieren a los siguientes pasos quirúrgicos; **A**, angioarquitectura, **C**, craniotomía, **A**, ataque periférico, **D**, disección circunferencial, **E**, extensa coagulación vascular, **V**, vena(s) de drenaje. Los detalles descriptivos del significado de estos términos y los aspectos más relevantes en relación a los resultados quirúrgicos obtenidos se señalan a continuación.

Consideraciones quirúrgicas especiales

Las MAVs requieren de una técnica quirúrgica depurada y sistematizada, es decir, que presente el mínimo de variaciones entre un procedimiento quirúrgico y otro. Adicionalmente a las reglas quirúrgicas que se describen más adelante en este trabajo, deben tomarse en cuenta los siguientes factores:

a. Localización y tamaño. Las MAVs tienen una mayor complejidad mientras se localicen en una área "elocuente", entre más grande sea su tamaño y más profundas se sitúen en el tejido nervioso¹⁷, de forma anticipada se espera una cirugía más rápida; con resultados más satisfactorios en malformaciones pequeñas (menores de 3 cm de diámetro) y de localización polar (frontal, temporal u occipital).

Tabla 1. Clasificación de Spetzler y Martín para malformaciones arteriovenosas.

Localización	Area no elocuente	0 puntos
	Area elocuente	1 punto
Tamaño	Menor de 3 cm	1 punto
	3 – 6 cm	2 puntos
	mayor de 6 cm	3 puntos
Drenaje venoso	Superficial	0 puntos
	Profundo	1 punto

Puntuación mínima 1, máxima 5. Áreas elocuentes: corteza motora, sensitiva, lenguaje, corteza visual primaria, hipotálamo y tálamo, cápsula interna, tallo cerebral, pedúnculos cerebrales, y núcleos profundos del cerebro, ganglios basales, tallo cerebral.

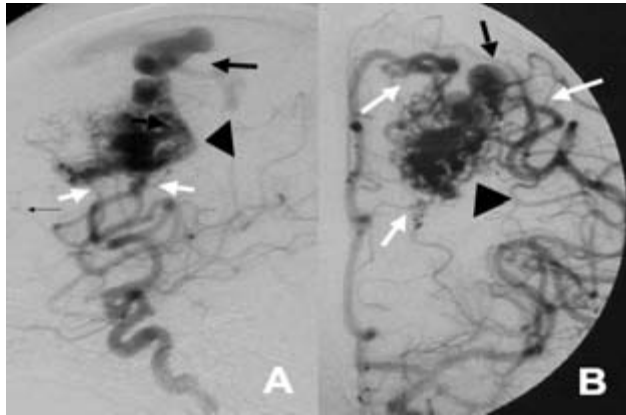


Figura 1. A y B. Estructura básica de una MAV. Uno o varios vasos alimentadores (flechas blancas), nido malformativo (cabeza de flecha) y una o varias venas de drenaje (flechas negras).

b. Drenaje venoso profundo y alimentadores provenientes de ramos perforantes. El drenaje venoso profundo en la mayor parte de los casos es sinónimo de localización compleja (profunda, paraventricular, ventricular o basal). Esto requiere que los abordajes se tornen más complejos para lograr una exposición y control vascular apropiados con la consecuente posibilidad de mayor morbilidad quirúrgica. Por otra parte, quizás en la experiencia del autor, la parte más difícil de una malformación radica en el control de los ramos provenientes de arterias perforantes. La complejidad y los resultados quirúrgicos están en función directa del número de vasos de este tipo encontrados en la vecindad de una MAV. De forma característica, estos pequeños vasos de color rojo brillante, de paredes frágiles y delgadas de aproximadamente 0.5 a 1.5 mm de diámetro, por lo general carecen de las propiedades vasoconstrictoras de un vaso normal, y pueden ser responsables de la persistencia de nidos residuales, hematomas posoperatorios o inclusive del tan controvertido fenómeno de "breakthrough" descrito por Spetzler¹⁸. Estos vasos han sido descritos en la literatura como vasos "calientes" (inglés *hot-vessels*, *blood-warm vessels*, japonés *akamushi*) (figura 2-A y B), y se encuentran con frecuencia en malformaciones centrales, profundas o paraventriculares, mientras que son raros en malformaciones polares occipitales o frontales. El problema técnico radica en que responden poco a la coagulación estándar con el coagulador bipolar, y pueden producir pérdidas hemáticas progresivas y acumuladas que pueden cifrarse entre 1500 a 4500 cc de acuerdo al número de los mismos, con la consecuente necesidad de recambio hemático con productos del banco de sangre (paquetes globulares, concentrados plaquetarios y plasma) y la

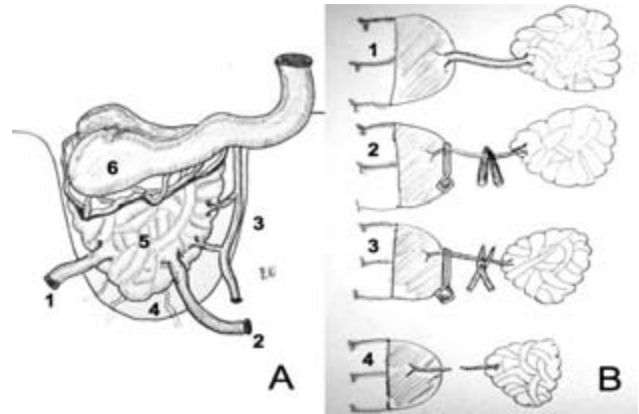


Figura 2. A. Estructura vascular de una MAV. 1 y 2. alimentadores directos grandes, 3. alimentadores de mediano calibre provenientes de una arteria de paso, 4. pequeños vasos (menores de 1 mm) originados de vasos profundos, endimarios o provenientes de ramos perforantes, 5. nido malformativo, y 6. vena de drenaje. **B.** Manejo quirúrgico secuencial de vasos pequeños. 1. aislamiento del vaso entre el nido malformativo y el parénquima cerebral, 2. clipaje transitorio con miniclip y coagulación en un trayecto de 1-3 mm, 3. corte del vaso cercano al nido malformativo, y 4. apertura de las ramas del clip y retiro del mismo con aspecto final del vaso coagulado.

posibilidad de un estado de hipocoagulabilidad en las etapas finales de la resección quirúrgica. Para el control de estos vasos se ha recomendado emplear frecuencias de coagulación baja, irrigar con solución de manitol o inclusive inducir hipotensión farmacológica transitoria con protección cerebral¹⁹. La mayor parte de estos vasos se presentan en la porción más profunda de una malformación, en especial si la MAV se extiende hasta las porciones paraventricular o ventriculares. Están medidas; sin embargo, se han encontrado insuficientes en la experiencia del autor. La forma más efectiva de controlar estos vasos es la disección cuidadosa y el empleo de aspiradores especiales en esta fase de la cirugía. Estos aspiradores son multiperforados en la punta con el fin de distribuir la fuerza de succión y evitar que la aspiración normal los haga romperse y sangrar (evento bastante frecuente), o bien se pueden emplear protectores plásticos diseñados *ad hoc* (*atraumatic suction tip* (AST), doctor T. Menovsky, Holanda) para colocarse en un aspirador convencional de diámetro 5 ó 7 fr. (figura 3-A). El segundo factor importante para control vascular es emplear estos aspiradores como disectores y exponer 1 a 2 mm del trayecto de estos pequeños vasos y colocar un *miniclip* transitorio. Esta maniobra bloquea el flujo sanguíneo a través del vaso y permite una mejor respuesta al coagulador bipolar. El *miniclip* puede ser retirado después de coagular y cortar el alimentador (figura 2-B). Dado el número de perforantes que pueden encontrarse en una MAV, se recomienda tener

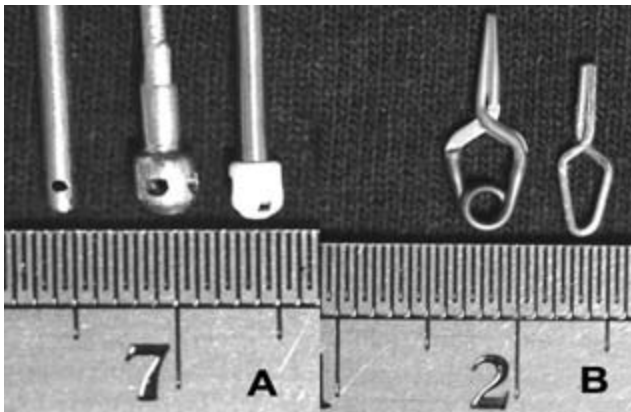


Figura 3. A. Puntas de succión atraumáticas metálicas, y punta desechable de plástico para aplicarse en aspiradores calibre 5 o 7 fr. B. Miniclip de titanio tipo Yasargil y microclip hecho a mano de acero inoxidable o titanio (derecha).

un “set” de al menos 10 *clips* temporales (de preferencia *miniclips*) de marca patentada o fabricados manualmente con alambre de titanio o acero inoxidable (figura 3-B).

Instrumental quirúrgico

En realidad, la cirugía de las MAVs por fortuna es una cirugía de pocos instrumentos. Básicamente se considera adicional al equipo estándar; el coagulador bipolar, microtijeras, aspiradores finos, “set” de *clips* con su pinza aplicadora y un retractor diseñado a propósito para separar una MAV sin inducir ruptura espontánea de los vasos malformados y de paredes frágiles (*spoon retractor*). Es imperativo tener al menos 3 pinzas bipolares de diferente diámetro y con recubrimiento aislante de fabrica. Los vasos grandes superficiales o subcorticales y los pequeños vasos “calientes” se manejan mejor con pinzas bipolares de punta gruesa. El problema principal con las pinzas de coagulación es que son tantos vasos que deben coagularse de forma extensa, que después de cierto tiempo de uso empiezan a carbonizarse en cada coagulación debido al calentamiento y a la pérdida de las propiedades antiadhesivas de las puntas. Esto requiere el cambio constante de las pinzas para evitar este fenómeno. El abordaje de una MAVs con un solo “set” de bipolares debe considerarse prohibitivo (figura 4).

El método “ACADEV”

En los últimos 5 años, fueron evaluados 375 pacientes portadores de una MAVs, de los cuales fue-

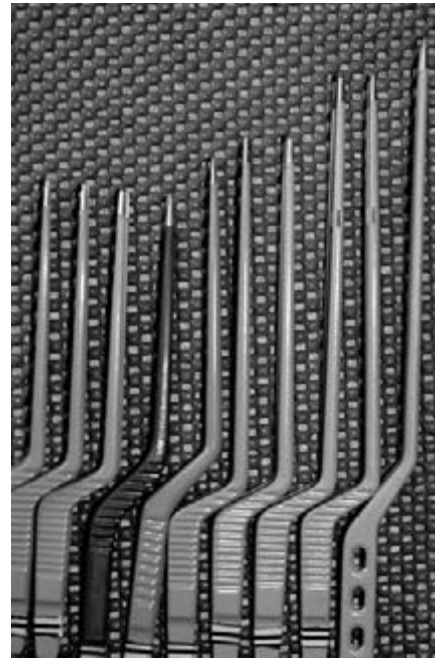


Figura 4. A. “set” de coaguladores bipolares de diferente calibre y con sistema de irrigación continua para intercambio continuo durante la cirugía.

ron intervenidos quirúrgicamente 172 pacientes por el autor, en la División de Neurocirugía del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez, México. A partir de la experiencia quirúrgica obtenida con estos casos y de la revisión de la literatura al respecto, se ideó y construyó el acrónimo denominado ACADEV. En este acrónimo, se incluyen los pasos quirúrgicos que de forma progresiva y sistemática son necesarios para llevar a cabo una resección exitosa de una MAV. Las letras que constituyen el acrónimo se refieren a los siguientes pasos quirúrgicos; **A**, angioarquitectura, **C**, craneotomía, **A**, ataque periférico, **D**, disección circunferencial, **E**, extensa coagulación vascular, **V**, vena(s) de drenaje. Los detalles descriptivos del significado de estos términos se señalan a continuación.

Técnica microquirúrgica

A. Angioarquitectura. El análisis preoperatorio inmediato de una MAVs idealmente debe proporcionar al neurocirujano una idea tridimensional de la lesión incluyendo; **a**. El número, localización y sitio de entrada de los vasos alimentadores de la misma, **b**. La forma del nido y **c**. El sitio de localización y curso de la vena o venas de drenaje. De igual manera, se debe analizar el tiempo de tránsito del medio de contraste a través de la malformación para determinar

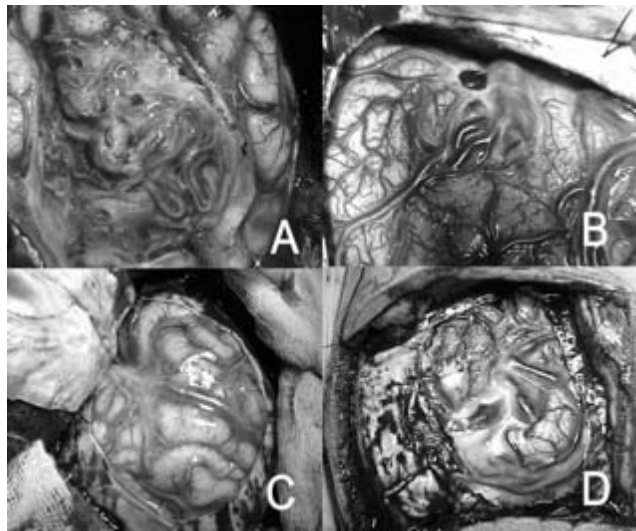


Figura 5. A-D. Craneotomía. Se muestran 4 diferentes casos de malformaciones arteriovenosas expuestas a través de craneotomías amplias. Estas craneotomías por lo regular rebasan al menos en 2 cm los bordes del nido malformativo.

si la malformación tiene un componente fistuloso o angiomatoso. Esto tiene particular importancia. En primer lugar, uno puede anticipar un sangrado mayor mientras más fistulosa sea la malformación, o posea un mayor número de vasos reclutados en la periferia que no son parte propiamente de la malformación. En segundo lugar, durante la exposición transoperatoria de una MAV, es muy común que los gruesos vasos superficiales puedan ser identificados erróneamente como arterias, e incurrir en el error técnico de obliterar una vena de drenaje arterializada que tiene las características de un alimentador. Si se realiza el cierre permanente de una vena de drenaje, se producirá un sangrado profuso de la malformación y edema cerebral severo. Esto puede evitarse mediante el análisis angiográfico preoperatorio. En la actualidad, la angiografía tridimensional, la angiotomografía o el análisis de una MAV a través de la estereoscopía pueden ofrecer una idea muy precisa de la angioarquitectura. Sin embargo, la falta de disponibilidad de estos recursos no es impedimento para la reconstrucción de un mapa tridimensional mental. La angioarquitectura debe ser confirmada inmediatamente después de exponer quirúrgicamente la malformación, con especial énfasis en la localización y curso de las venas de drenaje. Por otro lado, la identificación y obliteración temprana de los alimentadores arteriales tiene como consecuencia una cirugía más confortable y con menor riesgo de sangrado de la MAV. Por desgracia para el neurocirujano, estos alimentadores deben ser localizados a nivel subcortical en la mayor parte de las malformaciones,

lo cual implica que estos vasos sean coagulados en etapas más avanzadas de la cirugía.

B. Craneotomía. La craneotomía es quizás el factor inicial más importante para asegurar el éxito de una cirugía. Una craneotomía apropiada es sinónimo de un abordaje bien planeado. Dado que la mayor parte de las malformaciones son corticales o córtico-subcorticales, las craneotomías deben de ser amplias e incluir como mínimo el tamaño de la malformación y al menos 2 a 2.5 cm adicionales de bordes quirúrgicos más allá del nido malformativo (figura 5). La exposición incompleta de una MAV es una invitación a una cirugía complicada ya que los principales problemas de sangrado se dan en la periferia de la MAV y no en el nido, por lo tanto, la exposición del tejido sano alrededor de la lesión facilita la hemostasia de los vasos periféricos. En casos de malformaciones localizadas en la línea media, la craneotomía debe extenderse al hemisferio contralateral para exponer el seno longitudinal superior sin barreras óseas que limiten la disección interhemisférica de una forma cómoda. En malformaciones de fosa posterior, la craneotomía suboccipital debe ser bilateral extendiéndola hasta visualizar el seno transversal y sigmoides, en especial del lado de la MAV. Los abordajes tipo "keyhole" no tienen cabida en cirugía de MAV. En general, para optimizar la exposición quirúrgica, se debe echar mano a las referencias anatómicas visibles en tomografía o (RM), tales como: el nasión, inión, sutura coronal, sutura parieto-occipital, pterión, asterión o las líneas de trazo anatómico basados en estos puntos

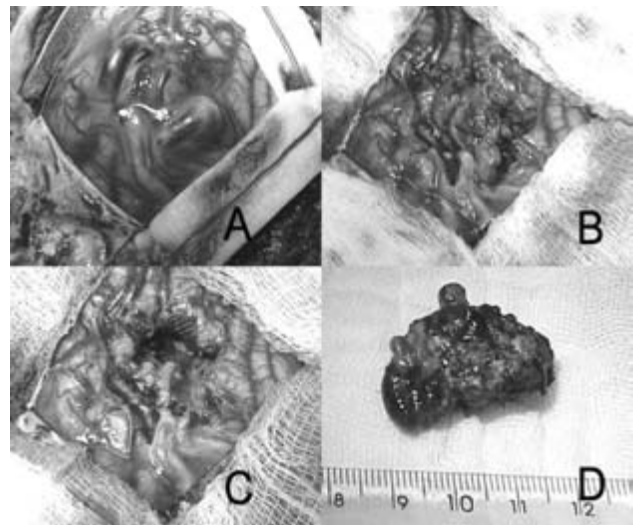


Figura 6. Caso demostrativo. **A.** Exposición de la MAV a través de una craneotomía amplia. **B.** Disección periférica y disección circunferencial del nido. **C.** Lecho quirúrgico sin puntos de sangrado activo después de retirar el nido. **D.** Nido malformativo.

anatómicos²⁰.

A. Ataque periférico. Dado que los límites de una MAV en ocasiones se encuentran oscurecidos por el tejido gliótico circundante o una aracnoides engrosada, por vasos de reclutamiento superficiales que parecen extender los límites de la lesión, es un error iniciar la disección en una porción periférica de la MAV y profundizar en una área limitada sin exponer los bordes completos de la misma. Las malformaciones deben ser delimitadas de forma inicial del tejido sano periférico con el objeto de evitar introducirse en el parénquima normal sobre todo en áreas elocuentes (vg. área motora o sensitiva), o lo que es técnicamente peor, en el nido de la malformación, lo cual producirá un sangrado temprano y profuso por lo general difícil de controlar. La mayor parte de las malformaciones se encuentran en íntima relación con un surco cerebral que marca su límite periférico. Estos surcos se encuentran con frecuencia ocultos bajo una aracnoides engrosada de forma crónica. Además, la identificación y exposición de estos surcos asegura el control quirúrgico de los alimentadores, que por lo general transcurren dentro de estos antes de penetrar en el nido. Esta delimitación periférica de la MAV se hace mediante la disección de la aracnoides que cubre la malformación y la coagulación periférica del tejido que rodea al nido. La disección aracnoidea puede realizarse con un cuchillo de aracnoides, microtijeras o bien empleando una aguja hipodérmica a modo de cuchillo aracnoideó. La delimitación de los

bordes periféricos de una malformación, asegura que la disección ulterior se haga precisamente en los límites de la lesión, entre el nido malformativo y el tejido gliótico circundante.

D. Disección circunferencial progresiva. Una vez que se han delimitado los bordes superficiales de la malformación, el siguiente paso es disecar progresiva y circunferencialmente la malformación hasta llegar al ápex de la misma. La mayor parte de malformaciones corticales tienen una forma cónica cuyo vertex se dirige hacia el epéndimo ventricular (figura 1 y 8). La forma precisa y su extensión es anticipada desde los estudios de imagen (tomografía o RM), o por la angiografía misma. Es conocido que las malformaciones se encuentran rodeadas de un tejido gliótico no funcional conocido como plano gliótico, que brinda al neurocirujano la seguridad de encontrarse en el borde malformativo sin introducirse en el tejido neural funcional periférico. Este tejido gliótico es de consistencia superior al tejido normal, de coloración amarillenta y poco vascularizado. Durante este abordaje circunferencial debe irse separando el nido malformativo de los vasos circundantes que penetran en él. En ocasiones se encuentra un nido voluminoso a expensas de una bolsa aneurismática arterial o venosa, que obstruye la visión e impide continuar la disección, la cual sólo es posible con retracción excesiva del nido y con el consecuente riesgo de ruptura. Estas dilataciones nidales pueden reducirse de volumen mediante la coagulación progresiva de sus paredes. Para este fin, se emplean bipolares de punta gruesa y se coagula con la cara lateral de la pinza y no con las puntas, ya que esto último puede producir una perforación en el nido malformativo difícil de controlar. Conforme se aumenta en profundidad, a excepción de los alimentadores profundos de mediano o grueso calibre, los vasos tienden a ser cada vez más delgados y similares a los descritos como "vasos calientes". En esta fase la cirugía se torna más delicada y fina, es el momento de emplear aspiradores finos fenestrados, cambio de pinzas bipolares y tener disponible el "set" de *miniclips*. En ocasiones existen troncos comunes de donde derivan dos o tres "vasos calientes". En este caso debe intentarse clipar y coagular el tronco principal más que cada vaso por separado. Es aconsejable mencionar que ante la ruptura de uno solo de estos vasos debe evitar proseguirse la disección hasta que no se haya asegurado la coagulación del mismo. Si el sangrado profuso proveniente uno solo de estos pequeños vasos hace una cirugía incómoda, el sangrado proveniente de dos o tres de estos "vasos calientes" es catastrófico y desgastante en tiempo



Figura 7. Cuchillo de aracnoides diseñado *ad hoc* y compuesto de un mango de 10 cm de longitud de aluminio al que se le inserta una aguja hipodérmica.

y pérdidas hemáticas. Idealmente, la disección de la malformación, sobre todo en el ápex de la misma debe ser de preferencia en un entorno libre de sangrado. Particular atención debe prestarse desde el preoperatorio a las malformaciones que se extienden hasta el epéndimo ventricular. En esta región, cualquiera que sea la localización de la MAV (frontal, temporal, occipital, paraventricular, etc.), los vasos endimarios proveen de una red importante de “vasos calientes” que pueden complicar una microcirugía, incrementando el riesgo de sangrado trans o posoperatorio a partir de una hemorragia intraventricular. Los vasos endimarios deben ser extensamente coagulados de forma individual, y revisar el lecho quirúrgico posterior a la resección de la malformación mediante la inducción de maniobras de valsalva por parte del anestesiólogo con el objeto de identificar sangrados mínimos provenientes de estos vasos, ya que en caso de sangrado, por lo general la sangre se acumula en los ventrículos sin sangrado superficial aparente. Un aumento súbito del volumen cerebral al final de la cirugía, sin existir un sangrado superficial en los bordes quirúrgicos, debe hacer pensar con firmeza en la posibilidad de una hemorragia en las cavidades ventriculares.

E. Extensa coagulación de estructuras vasculares. La frase “no cortar nada que no haya sido previamente coagulado” ilustra de forma práctica este paso quirúrgico. Como se explicó con antelación, los vasos alimentadores, vasos de reclutamiento periférico y los vasos profundos dependientes de arterias perforantes (vasos calientes), son sometidos a flujos

sanguíneos aumentados de forma crónica al constituirse la malformación como un punto de baja resistencia periférica. Estos vasos tienen su vasorreactividad pérdida o limitada y se encuentran permanentemente dilatados. Si agregamos el hecho de que muchos de estos vasos presentan defectos en la integridad anatómica de su capa muscular y elástica, los hace en particular resistentes a la coagulación convencional. Es por eso que cortar estos vasos que han sido coagulados de forma superficial en aras de hacer una “cirugía rápida”, puede conllevar paradójicamente a una intervención prolongada. Todos los vasos que confluyen a una malformación y que son identificados durante una disección deben de ser coagulados un tiempo mayor que un vaso normal. Los alimentadores grandes (mayores de 2 mm), se exponen antes de su llegada al nido y de preferencia se proceden a cliparse de forma temporal para facilitar la coagulación radical del mismo. Enseguida se cortan y entonces se retira el *clip* temporal (figura 2B). Los vasos de mediano calibre (1-2 mm), pueden ser coagulados de manera directa; no obstante, la colocación de un *clip* transitorio siempre dará una mayor seguridad al neurocirujano, aunque la cirugía pueda resultar más prolongada por la gran cantidad de vasos a coagularse. Esta coagulación debe hacerse en un trayecto de uno a tres milímetros a lo largo de un vaso, y ser cortados más cerca del nido malformativo que del parénquima adyacente. Esto es debido a que con frecuencia un vaso coagulado de forma insuficiente, sangra al ser cortado y sufre una retracción hacia el tejido neural. Esta retracción produce que el vaso se introduzca en el parénquima cerebral y tenga que buscarse aspirando tejido hasta localizar de nuevo el pedículo. Esto produce alargamiento del tiempo quirúrgico y riesgo de lesionar el tejido adyacente funcional. El manejo de los vasos menores de 1 mm y que por lo general se localizan en el ápex de la malformación (vasos calientes) fue descrito con antelación; sin embargo, cabe mencionar que estos vasos se identifican fácilmente por ser de pared delgada, numerosos, de color rojo brillante, y por su capacidad de sangrar con facilidad al contacto con los instrumentos de microcirugía. Su pobre respuesta a la coagulación y su tendencia a retraerse en el parénquima adyacente los hace en particular peligrosos. Es en estos alimentadores en donde debe observarse estrictamente el método de aislarlos con aspiradores atraumáticos, y de cliparlos de forma transitoria con *miniclips*, *microclips* o *clips* hechos manualmente para facilitar la respuesta al coagulador bipolar. Posterior a la coagulación, se abren las ramas del *clip* y se observa si el vaso quedó perfectamente

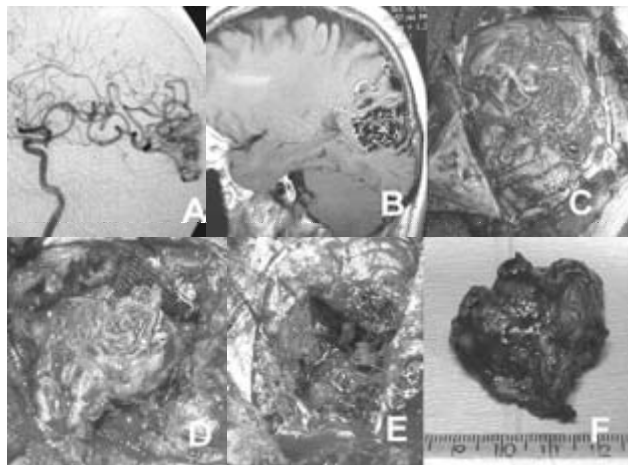


Figura 8. Caso demostrativo. **A.** La angiografía muestra una MAV alimentada por la arteria cerebral posterior a través de sus ramas parieto-occipital y calcarina. **B.** RM de la lesión. **C.** Exposición de la malformación a través de una craneotomía amplia. **D.** ataque periférico y disección circunferencial de la MAV. **E.** la MAV ha sido retirada del lecho quirúrgico el cual es inspeccionado cuidadosamente para detectar puntos de sangrado activo. **F.** Nido malformativo.

coagulado antes de retirar el clip. En caso de que al separar las ramas del *clip* se observe persistencia del sangrado a pesar de la coagulación, debe considerarse dejar el *clip* de forma definitiva para evitar la retracción del vaso y el riesgo de sangrado en el lecho quirúrgico. En los vasos de grueso o mediano calibre no es necesario dejar *clips* permanentes, pues por lo general tienen una muscular y elástica suficiente para asegurar una respuesta satisfactoria a la coagulación. Se debe tratar de dejar la menor cantidad o nada de material metálico en el lecho siempre que la situación quirúrgica lo permita.

F. Vena de drenaje. La vena de drenaje debe ser la última estructura en resecarse en una malformación. La tentación de coagular una estructura vascular que parece una arteria y que en realidad representa la principal vía de drenaje de una malformación es una maniobra desastrosa. En ocasiones el neurocirujano confronta la situación de seccionar una vena cuando la malformación presenta 2 ó más venas de drenaje documentadas en el análisis de la angioarquitectura y que impiden la disección circunferencial. En estos casos deben hacerse pruebas de oclusión temporal con *clips* vasculares para determinar cual es la vena principal y cuales venas son secundarias. La vena principal debe preservarse hasta el momento final de la cirugía y las venas secundarias pueden seccionarse en el momento que se considere conveniente. El aislamiento quirúrgico de una malformación se hace evidente cuando la vena de drenaje cambia de un tono rojo brillante y con flujo sanguíneo rápido (visible a través de las paredes del vaso), a un vaso de color rojo oscuro, sin flujo evidente en el interior y que no se torna turgente cuando la vena es obliterada con un *clip* temporal en su desembocadura a un seno. Esta maniobra de oclusión temporal es en particular útil sobre todo cuando se resecan malformaciones profundas con dificultad para visualizar de manera directa la circunferencia de la malformación en busca de aferentes remanentes. La vena de drenaje debe inspeccionarse en todo su trayecto antes de coagularse y cortarse. En caso de existir venas provenientes de tejido normal que desembocan hacia la vena de drenaje de la malformación, estas deben de preservarse ante el riesgo de un infarto venoso si son coaguladas. En este caso la vena de drenaje de la MAV debe ser coagulada y seccionada proximal a estos vasos de drenaje normales. Una vez seccionada la vena, el nido puede extraerse en un solo bloque.

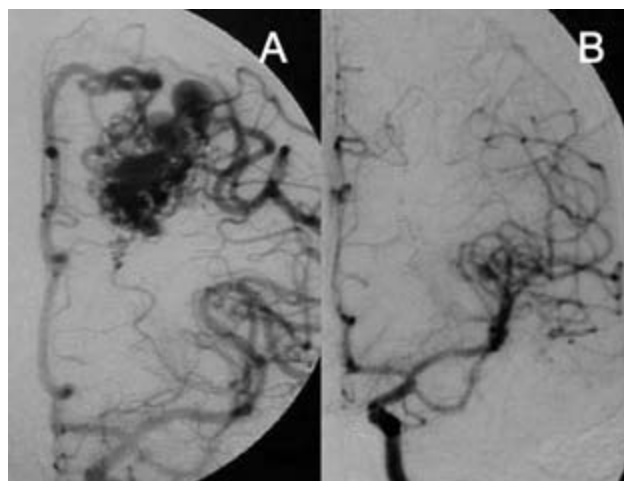


Figura 9. Angiografía pre y posoperatoria. **A.** Malformación arteriovenosa a nivel de la circunvolución motora, alimentada por ramas de la arteria cerebral anterior, arteria cerebral media y perforantes provenientes de una arteria lenticuloestriada. **B.** Angiografía de control que muestra una exclusión total de la malformación.

Consideraciones técnicas adicionales

La cirugía de malformaciones arteriovenosas es un acto de paciencia y destreza técnica. Existen pocas posibilidades de éxito para un neurocirujano preso de la desesperación o de tiempo para llevar a cabo una cirugía detallada. La principal complicación de una cirugía ejecutada de forma rápida e imprecisa es el sangrado transoperatorio o en el posoperatorio inmediato, y el riesgo de dejar malformaciones residuales que se hacen visibles al momento de la angiografía de control posoperatoria. Una cirugía de MAV complicada obedece por lo general a la falta de apego a las reglas de oro señaladas en el acrónimo ACADEV. Existen; sin embargo, situaciones que se tornan desesperadas en el transoperatorio cuando en apariencia se siguieron las reglas anteriores, principalmente a expensas de sangrado en los bordes quirúrgicos. Este fenómeno en lo particular nunca lo he experimentado en malformaciones menores de 3 cm. No obstante, este tipo de sangrado multicéntrico en las etapas finales de resección de una MAV por lo general obedece a nidos periféricos pequeños que pasaron inadvertidos al momento de delimitar los bordes de la malformación en la corteza cerebral. En estos casos debe extenderse la resección en bloque del borde sangrante tratando de incluir estos nidos periféricos descritos magistralmente por Sugita²¹, o bien, al empacar el lecho quirúrgico entre la MAV y el tejido circundante con una capa superficial de *gelfoam* o *surgicel* complementada con gasas para ejercer presión en dichos bordes. Esta maniobra produce una compresión mecánica a

la vez que induce un fenómeno de autotrombosis del nido residual. En estos casos, la cirugía debe de suspenderse después de controlar el sangrado y retomarse 3 a 4 días después, tiempo en el que se efectúa una reoperación para retirar las gasas y el material hemostático en exceso. Sorpresivamente esta segunda cirugía resulta con un mínimo sangrado en los bordes y una trombosis del nido malformativo. Otra situación particular la representa los sangrados profusos provenientes del nido vascular, de manera importante cuando este presenta bolsas venosas o dilataciones aneurismáticas intranidales que hacen difícil un control de una perforación en estas porciones de la MAV. En este caso la maniobra es similar a la descrita con antelación, a excepción de que el material hemostático se coloca frente al nido y la gasa frente al borde quirúrgico. En lo particular el autor prefiere el uso de *gelfoam* en vez de *surgicel* debido a que el primero produce una expansión que facilita la identificación de los bordes en la reoperación y tiende a producir menos adherencias. La última consideración especial lo constituyen aquellos casos de MAVs en los cuales la cirugía se torna prolongada, con muchas horas acumuladas, pero sin incidentes o accidentes transoperatorios. En este caso se puede suspender la cirugía colocando exclusivamente *gelfoam* en los bordes ya trabajados, y replantear la posibilidad de un segundo tiempo adicional, con un equipo quirúrgico en excelentes condiciones físicas y mentales. La cirugía en dos o tres tiempos es aceptada por cierto grupo de autores en cirugías grados 3 ó 4 con el objeto de disminuir la morbilidad asociada a sangrado excesivo²².

Malformaciones arteriovenosas previamente embolizadas

En términos generales, la embolización de una MAV produce oclusión parcial o subtotal de la vasculatura, disminuyendo el sangrado transoperatorio y las pérdidas hemáticas acumuladas, por consiguiente, la terapia endovascular (TEV) es una técnica adyuvante importante durante la planeación quirúrgica, en especial para malformaciones grado 3 y 4. En la mayor parte de malformaciones grados 1 y 2 la TEV no es estrictamente necesaria y puede procederse a la cirugía directa. En caso de optar por una TEV adyuvante, es conveniente comentar los casos con el terapeuta endovascular previo a la embolización, con el objeto de analizar en conjunto la angioarquitectura y seleccionar los vasos más deseables a juicio del neurocirujano, que por lo general son los grandes y de

mediano calibre, sobre todo los que llegan a la MAV en su parte más profunda. Los vasos superficiales no es estrictamente necesario embolizarlos, al menos de forma inicial, ya que son los primeros en confrontarse y controlarse durante una cirugía. Los alimentadores derivados de arterias de paso y los pequeños y profundos provenientes de ramos perforantes, por desgracia son difíciles de canalizar y por ende, poco factibles de ser embolizados de forma satisfactoria. Es importante que la embolización sea lo más central posible en relación al nido, ya que las embolizaciones periféricas en ocasiones dejan nidos periféricos ocultos entre los vasos embolizados con el riesgo de residuales que tendrán que ser retomarse en un segundo tiempo quirúrgico. También, la embolización preoperatoria es útil para delimitar los bordes de una malformación, ya que permite identificar con rapidez los bordes al mostrar los vasos embolizados de un color verde oscuro cuando son tratados con metacrilatos (Hystoacril®) o negros cuando se embolizan con una mezcla de alcohol con dimetilsulfóxido (Onyx®). Estos materiales permiten ser cortados con micro-tijeras, ya que su consistencia es blanda y ahulada y no dañan los microinstrumentos. Una MAV puede ser intervenida el mismo día de la embolización o de preferencia, dentro de las primeras 72 horas. A mediano y largo plazo, muchas de ellas muestran reclutamiento de pequeños vasos o degradación y desaparición del material embolizante perdiéndose el efecto inicial de la embolización.

Manejo transoperatorio de líquidos

El manejo de líquidos en el transoperatorio tiene importancia capital en el manejo quirúrgico de una MAV. En condiciones normales, existe una tendencia por parte del servicio de anestesia de restituir de inicio el volumen perdido con soluciones cristaloides, y posteriormente complementar el volumen con soluciones coloides o productos hemáticos. Esta conducta es válida en caso de pérdidas hemáticas súbitas en cirugía de tumores o inclusive en cirugía de aneurismas cerebrales. En estos casos se considera *a priori* que el control del sangrado se hará de forma rápida por el neurocirujano. Sin embargo, la estrategia en una cirugía de MAV es diferente, ya que existen numerosos vasos que deben de coagularse de forma progresiva con sangrado leve a moderado en algunos de ellos. Este sangrado produce pérdidas acumuladas que pueden cuantificar cientos de mililitros en la fase media de la cirugía o en las etapas finales de la misma. Si se recurre a la restitución agresiva con soluciones, se

produce un balance positivo con hemodilución. Si además se incluyen paquetes globulares en exceso, el anticoagulante empleado para conservar la sangre de banco producirá un trastorno de la coagulación sanguínea. En algunos casos extremos, hemos confrontado estados de hipocoagulabilidad con serias dificultades para la hemostasia en el lecho quirúrgico. Por supuesto esto incrementa la posibilidad de hematomas posoperatorios o la necesidad de emplear maniobras de empacamiento como las descritas con anterioridad. Para prevenir el problema derivado del recambio hemático e hídrico agresivo, se debe hablar previo a la cirugía con el equipo de anestesia para acordar la velocidad de restitución de líquidos, tratando de mantener al paciente en balance neutro y empleando de preferencia como expansores soluciones coloides (albúmina, penta-almidón, dextrán), plasma rico en plaquetas, y considerar la administración de paquetes globulares en base a los valores transoperatorios de hemoglobina más que a la consideración intuitiva y práctica del anestesiólogo. Con este método se evitarán al máximo los problemas de coagulación al final de la cirugía.

Manejo posoperatorio

El manejo posoperatorio se basa en el mantenimiento de los requerimientos hídricos, empleo de analgésicos, antibióticos profilácticos, uso de anticonvulsivantes y la vigilancia del estado neurológico detectando signos tempranos de focalización o datos de deterioro neurológico. La mayor parte de complicaciones en cirugía de MAVs son del tipo hemorrágico a expensas de hematomas en el lecho quirúrgico producidos por la reapertura espontánea de vasos previamente coagulados, resangrado a partir de nidos residuales, o fenómenos de redistribución de flujo en la corteza adyacente al nido malformativo²³. Es mandatorio por tanto hacer una hemostasia meticulosa en los bordes quirúrgicos, colocando una capa de material hemostático (vg. *surgicel*, o *gelfoam*) para incrementar el efecto hemostático. Adicionalmente, al finalizar la cirugía se solicita al anestesiólogo que proceda a efectuar maniobras de valsalva para verificar que los bordes quirúrgicos estén libres de sangrado. Se debe realizar una tomografía axial computarizada de cráneo simple dentro de las primeras 24 horas si el paciente se encuentra estable, y en cualquier momento en caso de deterioro neurológico. En la experiencia personal del autor, los pacientes posoperados de malformaciones grado 1 y 2 de Spetzler, por lo general requieren vigilancia estrecha en una unidad de cuida-

dos intermedios, mientras que aquellos posoperados de malformaciones grados 3 a 5, o con recambio hemático importante, requieren pasar intubados y sedados a la unidad de cuidados intensivos, y proceder a extubarlos si la tomografía tomada entre las 12 a 24 hs posterior a la cirugía nos muestra un lecho quirúrgico sin sangrado. En estos pacientes es importante evitar las maniobras espontáneas de valsalva asociadas a vómito posoperatorio o bien al estar luchando contra el ventilador, de aquí la importancia de la sedación a un punto en el que ambas respuestas se encuentren inhibidas.

Finalmente, debe señalarse que la angiografía de control posoperatoria debe ser un estudio obligado, ya que es el único medio diagnóstico con la sensibilidad suficiente para demostrar la obliteración total de la malformación (figura 9), a menos que se haya empleado angiografía transoperatoria confirmatoria²⁴⁻²⁶. Los estudios de control basados en tomografía o RM pueden ser insuficientes para demostrar pequeños residuales que confieren un riesgo elevado de resangrado y por lo tanto, no deben de considerarse como estudios de comprobación de éxeresis total de una malformación.

RESULTADOS

Mediante la utilización del método con antelación descritos se trataron 172 MAVs cerebrales. Cuando se consideró el grado de la MAV de acuerdo a la clasificación de Spetzler y Martin (tabla 1), 14% (24 casos) correspondieron al grado I, 36% (62 casos) al grado 2; 30% (52 casos) al grado 3; 16% (27 casos) al grado 4 y 4% (7 casos) al grado 5. La morbilidad asociada al procedimiento quirúrgico fue de 4.7% para los grados 1 y 2, 8.5% para el grado 3 y 23.5% para los grados 4 y 5. La mortalidad global fue de 3% (5 casos), de los cuales un paciente tuvo una MAV grado 5, 2 pacientes una MAV grado 4 y 2 pacientes con MAV grado 3. No hubo mortalidad en pacientes con MAV grado 1 ó 2. En tres pacientes la mortalidad estuvo en relación directa a problemas de coagulación al final de la cirugía. Otro paciente desarrolló sangrado intraventricular inadvertido a partir de ramos ependimarios remanentes y otro paciente desarrolló un edema posoperatorio severo sin evidencia de sangrado.

CONCLUSIONES

La resección microquirúrgica de una MAV ofrece un reto especial para el neurocirujano. En primer

lugar, se confronta el hecho de la poca frecuencia de las MAVs dentro de la población general, y en consecuencia, la poca experiencia práctica esperada de un neurocirujano estándar para resolver efectivamente estos casos desde el punto de vista quirúrgico. Si bien existen en la actualidad modalidades adicionales para tratar una MAV tales como la terapia endovascular adyuvante o la radiocirugía²⁷⁻³², no debemos olvidar que la microcirugía continua siendo el estándar de oro para malformaciones corticales grados 1 a 3, ya que ofrece índices de morbilidad menores a 10% y una resolución inmediata del problema, eliminando así el riesgo principal de una malformación arteriovenosa, que es el sangrado a partir de la misma^{33-36,39}. Si bien la técnica microquirúrgica ha sido descrita extensamente en la literatura internacional, es difícil encontrar un artículo en donde se sistematicen los pasos quirúrgicos necesarios para llevar a cabo un tratamiento exitoso³⁹⁻⁴⁵. En este trabajo se intenta hacer un ejercicio de síntesis acoplado a un acrónimo que puede emplearse por el neurocirujano como guía quirúrgica, matizada por las recomendaciones basadas en la experiencia obtenida en el Instituto en el tratamiento quirúrgico de las malformaciones arteriovenosas encefálicas.

REFERENCIAS

1. Zhao J, Wang S, Li J, Qi W, Sui D, Zhao Y. Clinical characteristics and surgical results of patients with cerebral arteriovenous malformations. *Surg Neurol* 2005;63:156-61; discussion 161.
2. Wallace RC, Bourekas EC. Brain arteriovenous malformations. *Neuroimaging Clin N Am* 1998;8:383-99.
3. Kubalek R, Moghtaderi A, Klisch J, Berlis A, Quiske A, Schumacher M. Cerebral arteriovenous malformations: influence of angioarchitecture on bleeding risk. *Acta Neurochir (Wien)* 2003;145:1045-52; discussion 1052.
4. Todaka T, Hamada J, Kai Y, Morioka M, Ushio Y. Analysis of mean transit time of contrast medium in ruptured and unruptured arteriovenous malformations: a digital subtraction angiographic study. *Stroke* 2003;34:2410-4.
5. Spetzler RF, Martin NA. A proposed grading system for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 1986;65:476-83.
6. Lawton MT. Spetzler-Martin Grade III arteriovenous malformations: surgical results and a modification of the grading scale. *Neurosurgery* 2003;52:740-748; discussion 748-9.
7. De Oliveira E, Tedeschi H, Raso J. Comprehensive management of arteriovenous malformations. *Neurol Res* 1998;20:673-83.
8. Krivoshapkin AL, Melidy EG. Microsurgery for cerebral arteriovenous malformation management: a siberian experience. *Neurosurg Rev* 2005;28:124-30.
9. Morgan MK, Rochford AM, Tsahsarlis A, Little N, Faulder KC. Surgical risks associated with the management of grade I and II brain arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 2004;54:832-7; discussion 837-9.
10. Davis C. Grade IV and V arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 2000;99:440; author reply 440-1.
11. Dhandapani SS. Grade IV and V arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 2003; 99:438-9.
12. Ferch RD, Morgan MK. High-grade arteriovenous malformations and their management. *J Clin Neurosci* 2002;9:37-40.
13. Heros RC. Spetzler-Martin grades IV and V arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 2003;98:1-2.
14. Hongo K, Koike G, Isobe M, Watabe T, Morota N, Nakagawa H. Surgical resection of cerebral arteriovenous malformation combined with pre-operative embolisation. *J Clin Neurosci* 2000;7 Suppl 1:88-91.
15. Soderman M, Andersson T, Karlsson B, Wallace MC, Edner G. Management of patients with brain arteriovenous malformations. *Eur J Radiol* 2003;46:195-205.
16. Zhao J, Wang C, Wang S, Li J, Sui D, Zhao Y. Combination of intraoperative embolization with surgical resection for treatment of giant cerebral arteriovenous malformation. *Chin Med J (Engl)* 1999;112:273-7.
17. Kato Y, Sano H, Kanaoka N, Imai F, Katada K, Kanno T. Successful resection of arteriovenous malformations in eloquent areas diagnosed by surface anatomy scanning and motor evoked potential. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 1998;38 Suppl:217-21.
18. Spetzler RF, Wilson CB, Weinstein P, Mehdorn M, Townsend J, Telles D. Normal perfusion pressure breakthrough theory. *Clin Neurosurg* 1978;25:651-72.
19. Yoshimoto T, Kayama T, Suzuki J. Treatment of cerebral arteriovenous malformation. *Neurosurg Rev* 1986;9:279-85.
20. Rhoton AL Jr. Operative techniques and instrumentation for neurosurgery. *Neurosurgery* 2003;53:907-34.
21. Sugita K. *Microsurgical Atlas*. Berlin, Springer-Verlag, 1985.
22. O'Laoire SA. Microsurgical treatment of arteriovenous malformations in critical areas of the brain. *Br J Neurosurg* 1995;9:347-60.
23. Sato S, Kodama N, Sasaki T, Matsumoto M, Ishikawa T. Perinidal dilated capillary networks in cerebral arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 2004;54:163-8; discussion 168-70.
24. Hashimoto H, Iida J, Hironaka Y, Sakaki T. Surgical management of cerebral arteriovenous malformations with intraoperative digital subtraction angiography. *J Clin Neurosci* 2000;7 Suppl 1:33-5.
25. Pietila TA, Stendel R, Jansons J, Schilling A, Koch HC, Brock M. The value of intraoperative angiography for surgical treatment of cerebral arteriovenous malformations in eloquent brain areas. *Acta Neurochir (Wien)* 1998;140:1161-5.
26. Yanaka K, Matsumaru Y, Okazaki M, Noguchi S, Asakawa H, Anno I, et al. Intraoperative angiography in the surgical treatment of cerebral arteriovenous malformations and fistulas. *Acta Neurochir (Wien)* 2003;145:377-82; discussion 382-3.
27. Gaspar L. Radiosurgery for AVMs: evaluating the risks and benefits. *J Neurosurg* 1995;83:381-2.
28. Lasjaunias P, Manelfe C, Terbrugge K, Lopez Ibor L. Endovascular treatment of cerebral arteriovenous malformations. *Neurosurg Rev* 1986;9:265-75.
29. Nataf F, Merienne L, Schlienger M. Radiosurgery for large cerebral arteriovenous malformations. *Neurochirurgie* 2001;47:298-303.
30. Pollock BE, Gorman DA, Brown PD. Radiosurgery for arteriovenous malformations of the basal ganglia, thalamus, and brainstem. *J Neurosurg* 2004;100:210-4.
31. Pollock BE, Meyer FB. Radiosurgery for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 2004;101:390-2.
32. Valavanis A, Yasargil MG. The endovascular treatment of brain arteriovenous malformations. *Adv Tech Stand Neurosurg* 1998;24:131-214.
33. Heros RC, Korosue K, Diebold PM. Surgical excision of cerebral arteriovenous malformations: late results. *Neurosurgery* 1990;26:570-7; discussion 577-8.
34. Kiris T, Sencer A, Sahinbas M, Sencer S, Imer M, Izgi N. Surgical

- results in pediatric Spetzler-Martin grades I-III intracranial arteriovenous malformations. *Childs Nerv Syst* 2005;21:69-74.
35. Nussbaum ES, Heros RC, Camarata PJ. Surgical treatment of intracranial arteriovenous malformations with an analysis of cost-effectiveness. *Clin Neurosurg* 1995;42:348-69.
36. Pikus HJ, Beach ML, Harbaugh RE. Microsurgical treatment of arteriovenous malformations: analysis and comparison with stereotactic radiosurgery. *J Neurosurg* 1998;88:641-6.
37. Da Pian R, Pasqualin A, Scienza R. Surgical treatment of supratentorial arteriovenous malformations. *Minerva Med* 1986;77:1175-85.
38. Hashimoto N. Microsurgery for cerebral arteriovenous malformations: a dissection technique and its theoretical implications. *Neurosurgery* 2001;48:1278-81.
39. Stein BM, Solomon RA. Surgical approaches to posterior fossa arteriovenous malformations. *Clin Neurosurg* 1991;37:353-71.
40. Stein BM, Wolpert SM. Arteriovenous malformations of the brain. II: Current concepts and treatment. *Arch Neurol* 1980;37:69-75.
41. Suzuki J, Onuma T, Kayama T. Surgical treatment of intracranial arteriovenous malformation. *Neurol Res* 1982;4:191-207.
42. Yamada S, Brauer F, Dayes L, Yamada S. Surgical techniques for arteriovenous malformations in functional areas: focus on the superior temporal gyrus. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 1998;38 Suppl:222-6.
43. Yamada S, Brauer FS, Knierim DS. Direct approach to arteriovenous malformations in functional areas of the cerebral hemisphere. *J Neurosurg* 1990;72:418-25.
44. Yasargil MG, Jain KK, Antic J, Laciga R. Arteriovenous malformations of the splenium of the corpus callosum: microsurgical treatment. *Surg Neurol* 1976;5:5-14.
45. Yasargil MG, Jain KK, Antic J, Laciga R, Kletter G. Arteriovenous malformations of the anterior and the middle portions of the corpus callosum: microsurgical treatment. *Surg Neurol* 1976;5:67-80.