脳動静脈奇形に対する血管内および直達併用手術の経験

榊 寿右¹, 宮本 和典¹, 竹嶋 俊一¹, 黒川紳一郎¹
富永 正夫¹, 西谷 昌也¹, 森本 哲也¹, 角田 茂¹
岩崎 聖², 中川 裕之², 田岡 俊昭², 滝 和郎³
岩田 博夫⁴

Direct Surgery for Cerebral Arteriovenous Malformation After Superselective Intravascular Embolization

Toshisuke SAKAKI, M.D.,¹ Kazunori MIYAMOTO, M.D.,¹ Toshikazu TAKESHIMA, M.D.,¹
Shinichiro KUROKAWA, M.D.,¹ Masao TOMINAGA, M.D.,¹ Masaya NISHITANI, M.D.,¹
Tetsuya Morimoto, M.D.,¹ Shigeru TSUNODA, M.D.,¹ Satoshi IWASAKI, M.D.,²
Hiroyuki NAKAGAWA, M.D.,² Toshiaki TAOKA, M.D.,² Waro TAKI, M.D.,³
and Hiroo IWATA, M.D.⁴

¹Departments of Neurosurgery and ²Radiology, Nara Medical University, Kashihara,

³Department of Neurosurgery, Kyoto University, Kyoto, and ⁴Department of
Surgical Research, National Cardiovascular Center, Suita, Japan

Summary : Embolization is used as a radical therapy, as well as an adjunctive therapy with surgery for cerebral arteriovenous malformations (AVM). Eight patients underwent endovascular embolization and then surgical resection for cerebral AVM. In two cases, although AVM was embolized completely on the digital subtraction angiographical (DSA) evaluation, slight arterial blood filling into the nidus of AVM was observed on the surgical exploration. Postoperative computerized tomography (CT) demonstrated extent infarction area which was seemed secondary to occlusion of feeding arterial trunk due to retrograde thrombosis from nidus, although new neurological deficits were not recognized because of infarction in the non-dominant temporal lobe. In three cases, embolization of AVM was partial, because catheterization into the all feeding arteries was difficult. But, in two cases who had AVM in the right temporal and in the left occipital lobe respectively, surgical removal of AVM was performed completely without excessive hemorrhage. In another case who had AVM in the corpus callosum, although AVM was smoothly removed, the patient died of postoperative pulmonary embolism. In three cases, AVM could not be embolized at all because of impossible catheterization into feeding arteries. Histological findings of removed AVM which was completely embolized angiographically demonstrated that embolus mainly existed in the nidus and draining veins, and existence of blood around the embolus in these vessels.

These histological findings and the our intraoperative obseravation of slight arterial blood inflow into the nidus in the angiographically complete embolized AVMs imply that AVM should be removed surgically, even if it is embolized sufficiently. We must not forget that angiographical complete embolization of AVMs may provoke infarction of the normal brain around them, although they can be removed surgically without difficulty by the embolization.

Key words :

- cerebral arteriovenous malformation
- intravascular surgery
- surgical treatment
- iatrogenic cerebral infarction

¹奈良県立医科大学 脳神経外科, ²同 放射線科, ³京都大学 脳神経外科, ⁴国立循環器病センター 実験治療開発部

(受稿日 1992.8.24) [連絡先: 〒634 橿原市四条町 840 奈良県立医科大学 脳神経外科 榊 寿右]

はじめに

脳動静脈奇形(以下 AVM と略す)の手術を安全に行うため種々の方法が試みられているが、その方法の一つとして血管内から栄養動脈を塞栓物により閉塞し、奇形を摘出する方法がある²⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾。われわれは、AVM の栄養動脈が導出静脈より深部にあり太いもの、年齢的要素や血管撮影所見から血管内手術操作が可能と判断された8症例に対して術直前に塞栓術を施行し、引き続いて開頭術による観血的摘出を行った。術前の塞栓術の利点ならびに問題点について、われわれの症例結果から検討し、また塞栓術と観血的手術までの期間についても考察する。

対象および方法

16歳から72歳までの8症例が今回の検討の対象である。男性5例、女性3例であり、AVM の存在部位は側頭部2例、シルビウス裂部2例、頭頂部1例、後頭部1例、頭頂後頭部1例、そして脳梁部が1例である。また AVM の臨床的分類を Spetzler の分類⁷⁾に従って分けると、Grade 1が1例、2が4例、4が2例、そして5が1例であった(Table 1)。これら症例に対してまず塞栓術を施行、それに引き続いて開頭術による観血的 AVM 摘出を行う方針をとった。塞栓術は、放射線科の神経放射線グループが施行し、観血的摘出はわれわれ脳神経外科医が対応した。

塞栓術については Target Therapeutics 社製 Tracker infusion catheter を使用。塞栓物質としては滝らの開発した ethylene-vinyl-alcohol-copolymer (以下 EVAL と略す)を用いた¹¹⁾。塞栓術操作中は局所麻酔下に行われ、神経学的所見の頻回の観察のほか、脳波、体性感覚脳幹反射のモニターを施行した。また塞栓物を注入する前に必ずアミタール注入試験を行って神経症状の欠損状況を確認したが当然予測される症状以外の症状発現時には、EVAL による塞栓は中止することとした。塞栓術によって AVM が脳血管撮影上完全に消えるのを目標としたが、アミタール注入試験で重大な症状(麻痺および言語障害)が出たものはその時点で中断、また塞栓術手術の時間が6時間以上になったもの、さらに操作中 AVM より出血を併発したものはその時点で中止し直達手術へと移行した。これらの塞栓術の時間は2時間から6時間、平均4.8時間であった。塞栓術の方法は、AVM の大きさにもよるが、一本の栄養動脈に対し EVAL 0.5 ml を使用。その後造影し AVM の状況を確認、もし造影されれば再び 0.5 ml 注入し再度確認しその栄養動脈からの造影が90%以上消失すれば次の栄養動脈に対し同様の操作をすることとした。なお直達手術は従来の方針どおり、AVM を栄養動脈から切り離し、nidus を剥離、最後に導出静脈を切って摘出することとした。

ているが、十分に栄養動脈の塞栓ができたものでは直接 nidus に至り、また部分的塞栓の場合でもすでに塞栓されている栄養血管に対しては、あえて初めに露出することなく nidus を剥離、摘出することとした。

結 果

まず塞栓術の結果であるが、脳血管撮影(digital subtraction angiography—以下 DSA と略す)上、AVM が全く造影されなくなったものは2例(Case No. 1, 7)であり、また3例は数本の栄養動脈のうちの1~2本が閉塞されたが、このうち2例ではカテーテルの導入が困難であったため(Case No. 4, 8)、他の1例はアミタール注入により症状が発現(Case No. 5)したために塞栓化しえなかった。残りの3例も1例(Case No. 3)はカテーテル導入不能、2例(Case No. 2, 6)はアミタールテスト陽性のため塞栓術はできていない。なお出血合併をみたのは2例(Case No. 1, 6)であるが、Case No. 6では操作中にワイヤーにて AVM を損傷し、急性硬膜下血腫を併発したため、直ちに直達手術に移った。Case No. 1では十分な塞栓が行われたが、その確認のため DSA 下に栄養動脈内から造影剤を注入したところ、造影剤の血管外漏出が見られたものである。しかしこの症例では、このとき中等度の頭痛と嘔気を訴えたがそれ以外の神経学的変化はなく、直達手術時でもわずかな出血が EVAL で硬化した AVM 上に認められた(Table 1)。

なお、EVAL による塞栓術にて AVM が DSA 上全く見られなくなった2例と、栄養血管2本のうちの1本が完全に塞栓された症例(Case No. 4)では、EVAL 注入直後に施行された DSA では栄養血管は nidus の直前まで造影が見られていたが、直達手術後数日して施行された術後の脳血管撮影で栄養動脈は起始部まで閉塞しており、また CT でも AVM の摘出部とは別に新たな脳梗塞発生の所見を呈していた。幸いにして、これらの症例は梗塞部が無症状領域であったため、大事には至らなかった。

塞栓術がうまく行われた症例の直達手術は出血も少なく容易であり、部分的閉塞に終わった症例でも導出静脈より深部で nidus の内側部から栄養動脈が塞栓化されていれば、脳表から入る栄養動脈の処理でほぼ無血的に nidus を摘出することができた。ただ直達手術の際、脳表に存在する nidus ならびに導出静脈を手術用顕微鏡下に観察すると、DSA 上全く AVM の造影が見られなかった2例でも、黒変した nidus に動脈血が周辺部より注ぎ込んでいるのが認められ、また nidus を剥離し、かつ導出静脈を切離すると栄養動脈が拍動しているのが Case No. 7で認められた。そして、摘出した AVM を触診してみると、EVAL は nidus の導出静脈側で主に塞栓化している印象を与えた。

Table 1

Case No.	Age Sex	Location	Grade (Spetzler)	Embolization				Surgery	Outcome
				C	P	N	H		
1	16 M	R-parietal	2	○			●	yes	excellent
2	37 F	R-Sylvian	4			○		yes	good
3	72 M	R-occipito-parietal	1			○		yes	excellent
4	37 M	R-temporal	2		○			yes	excellent
5	44 F	corpus callosum	5		○			yes	died
6	59 F	L-Sylvian	4			○	●	yes	poor
7	47 M	R-temporal	2	○				yes	excellent
8	45 M	L-occipital	2		○			yes	excellent

C: angiographically complete, P: partial, N: not capable, H: hemorrhage

Fig. 1 Histological findings of surgically removed AVM which was completely embolized angiographically demonstrated that embolus (arrow) existed mainly in the nidus and draining veins (B), but there were no emboli in the feeding arteries (A). × 40, HE stain.

特にこのわずかな動脈血の nidus への流入所見は、直達手術で nidus を摘出しておかなければ将来再び大きな AVM へと発展する可能性を示した。

摘出された AVM の組織学的所見では、EVAL が nidus 内を充填している症例はなく、DSA 上全く AVM の造影がなかった 2 例でも血液と EVAL が混在し、中心部から導出静脈側にかけて EVAL が認められるが、その nidus の周辺部は血液で充満した状態となっていた (Fig. 1)。

〈症例 1〉 16歳, 男性.

野球の練習中に突然頭痛および嘔気が生じた。その後も頭痛が存在するために近位を受診し、そこで CT スキャンを受けたところ、右脳室内に出血の生じていることが判明し紹介を受けて来院した。脳血管撮影を施行したところ、右後大脳動脈の頭頂後頭枝より栄養される AVM (Fig.

2A) が認められた。入院 10 日後に、AVM に対し塞栓術を施行しその後直達手術で摘出することとした。まず DSA の誘導下にカテーテルを栄養動脈の直前まで入れ、造影を行った。AVM の nidus が造影されすぐ脳底静脈に流出するのが認められた (Fig. 2B)。引き続き (アミタールテストで半盲などの神経欠損症状が出ないことを確認後) EVAL を注入し、nidus の塞栓化を行った。そして再び造影剤により AVM の消失状況を確認した。AVM はかなり消失するもなお、排出静脈の一部が造影されていたため (Fig. 2C)、再度 EVAL を注入し、そして造影を行ったところ、突然患者は頭痛を訴えた。その時の造影所見では、AVM は全く消失していたが、造影剤の血管外漏出を認めた (Fig. 2D)。CT 施行したところ、AVM の存在したところに血腫が生じているのが判明 (Fig. 3A)、直ちに開頭術を施行し硬化した AVM と共に血腫も除去した。術後経

Fig. 2 AVM of Case No. 1 was mainly nourished from the parietooccipital branch of the right posterior cerebral artery (A). Catheterization into the feeding artery was performed and nidus of AVM was visualized by the injection of contrast material (B). After the injection of 0.5 ml of EVAL, AVM was partially embolized (C). Although AVM was disappeared by the injection of more 0.5 ml of EVAL, extravasation was confirmed with angiography (D).

Fig. 4 AVM of Case No. 5 existed in the corpus callosum and was nourished mainly from the anterior cerebral artery (A). Because the AVM was not almost disappeared by the injection of EVAL, it was removed surgically and postoperative angiography showed no AVM (B).

Fig. 3 CT scan performed after the extravasation of contrast material showed new intracerebral hematoma in the posterior parietal region (A). This hematoma was completely removed with AVM by the surgical procedure (B).

過は良好で CT 上わずかに同部位に低吸収域を残したが (Fig. 3B), 神経学的には問題なく, 3 週間後に退院した。

〈症例 5〉 44 歳, 女性.

7 年前, 5 年前, 2 年前の 3 回にわたってクモ膜下出血, 脳室内出血の既往があり, 水頭症も生じて VP シャントも施行されている。出血のたびに手術の検討がなされたが, 患者自身の希望もあり, 保存的に処置されてきた。しかし平成 2 年 11 月に再度出血を起こし救急入院となった。CT 上は脳室内出血となり急性水頭症を起こしていた。脳血管撮影では前大脳動脈から大量に AVM に流入し, また中大脳動脈の穿通枝からも栄養されている high flow type (Fig. 4A) であった。これに対し塞栓術を試みたが, 前大脳動脈より EVAL を注入 (0.5 ml, 0.5 ml, 1 ml の 3 回) するも, AVM はわずかに縮小したのみであり, また栄養動脈枝への選択的カテーテル誘導をはかったが不能に終わった。そのため開頭術を施行, AVM を摘出した。術直後

Fig. 5 CT scan performed on the next day of surgery demonstrated intracerebral hematoma (A, B) due to the suspect of normal perfusion pressure breakthrough after removal of high flow AVM.

は意識も明瞭であったが、翌日になって急速に意識が低下 CT を施行すると AVM 摘出部に出血が認められた (Fig. 5). 引き続いて脳血管撮影を施行したが AVM は全く消失しているのが確認された (Fig. 4B). 再度血腫除去のため開頭したが脳全体は hyperemic となっており術後も脳の腫脹が強く、9 日目に死亡した。

＜症例 7＞ 47 歳、男性。

1990 年 10 月、全身痙攣を起こし、某病院に入院した。入院時、左半身麻痺が見られたが、その後徐々に回復した。CT にて明白な出血や梗塞の所見はないが、造影 CT にて左側頭部に異常所見が見られるとのことで 11 月に紹介されてきた。脳血管撮影にて右後側頭動脈および中側頭動脈を栄養動脈とする直径 3.5 cm 大の AVM であることが判明した (Fig. 6A, B). 明白な出血の既往はないが AVM の部位から考えて摘出可能と判断、まず栄養動脈からの塞栓術を計画した。初めに後側頭動脈に tracker 10 カテーテルを入れ、nidus 直前でアミタール注入試験後に EVAL で塞栓化し、続いて中側頭動脈にも同様の操作で EVAL による塞栓術を施行した。術中は全くトラブルなく、塞栓術後の DSA では AVM は全く消失しているのが確認され (Fig. 6C), また後側頭動脈も filling は遅くなっているものの造影されていることが確認された (Fig. 6D).

当初の方針どおり、この塞栓化した AVM を観血的に摘出することとした。開頭し硬膜を切開すると導出静脈、nidus が見られ、さらに栄養動脈も認められたが、本来の AVM の色彩は失われ黒赤色に変化していた。しかしよく観察してみると、静脈と同様の色に変化した nidus に周囲

Fig. 6 AVM of Case No. 7 was feeded from the middle and posterior temporal arteries (A, B). By the superselective injection of EVAL into these arteries, AVM was angiographically embolized completely (C) and a filling of the posterior temporal artery was confirmed (D).

Fig. 7 Postoperative angiography demonstrated disappearance of AVM and occlusion of the right posterior temporal artery (A, B). Postoperative CT demonstrated large infarction in the right temporal lobe and indicated that this infarction was secondary, to occlusion of the right posterior temporal artery (C).

からわずかな動脈血の流入が観察された。血流速度が遅いため、血管撮影上 AVM は造影されなかったものと考えられた。この AVM を nidus から導出静脈切除し、閉塞された栄養動脈に向かって剥離、摘出した。

術後の CT では、摘出された AVM から遠く離れた領域にまで低吸収値域が出現しているのが確認された (Fig. 7A, B)。また栄養動脈も術直前では nidus 直前に閉塞していたが、術後の撮影ではその起始部まで閉塞しており (Fig. 7C)、明らかに脳を栄養する細小動脈まで血栓化が逆行性に進行し、その結果、広範な側頭葉の梗塞を招いたと思われる。患者は幸いにして神経学的に異常を示さず退院した。

考 察

AVM に対する外科的治療を容易なものとするための補助的手段として、あるいは根本的な治療を目的とした方法として、AVM の栄養動脈からの塞栓術が行われるようになった²⁾⁸⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹³⁾¹⁴⁾。かつて、この目的として使用される塞栓物質として silicone ball, poly-vinyl alcohol particle などの固体を用いるものと isobuthyl-2-cyanoacrylate (IBCA), normobuthyl-cyanoacrylate (NBCA) などの液状

塞栓物が用いられていた¹⁾⁵⁾⁸⁾。しかし血管手術用カテーテルやガイドワイヤーなどが非常に発達し、それに伴って血管内操作技術も向上、脳内の動脈にまで誘導できるようになったことから、安全に使用できる塞栓物質の開発が望まれていたが、滝ら¹¹⁾の手によって EVAL が開発された。これは従来の液体塞栓物に比し、カテーテルを血管壁に接着したり、カテーテルを閉塞する危険性が少なく、熟練を要する素早い血管内操作を必要とせず、さらに治療対象となる AVM は栄養動脈内にカテーテルを留置したまま必要に要じて塞栓物質を注入でき、そして硬化しても柔らかいなどの利点を有する¹¹⁾¹⁴⁾。われわれも、この EVAL を塞栓物質として用いた。

この EVAL による AVM の塞栓術の最大の利点は栄養動脈のみならず nidus そのものが塞栓化されることであろう。EVAL によって塞栓された AVM の手術は極めて容易なものであった。つまり多くの AVM で導出静脈が栄養動脈よりも表面にあるため、太い導出静脈を温存しながらの nidus の剥離には困難を伴うが、十分に塞栓されていれば導出静脈を最初に処理して nidus を摘出することも容易である。さらに nidus を摘出しても白質周囲に動脈とも静脈ともつかない小さな血管から出血し、これの止血に困

難を感じる場合が多いが、十分に塞栓化された AVM ではこれらの血管も塞栓により充填されており、この血管からの出血もほとんど見ることはなかった。手術によって摘出するという観点からのみみれば、EVAL による塞栓術は非常に有用なものであった。

しかし、合併症という点からみると問題がある、というのがわれわれの少ない経験からの結論である。塞栓術操作中の出血は技術的な問題であるが、予期した範囲よりも広い領域で脳梗塞が生じたのは極めて重大な問題点といわざるをえない。今回、われわれはアミタール注入試験で症状の出現のないことを確認の上 EVAL を注入しているが、術後 CT では広範に低吸収値域が広がり、また塞栓術中の血管撮影では栄養動脈は nidus の所まで造影されていたのが、術後 follow-up の造影では起始部まで閉塞し血栓が逆行性に生じてきたことを示していた。そのためその動脈によって栄養されていた領域が梗塞に陥ったものである。われわれの症例では、栄養動脈の閉塞が非優位脳のしかも無症状領域に局限していたため大きな症状は出現しなかった。だが、AVM の塞栓術が最も期待されるのは優位脳の eloquent area に存在するものや、深部の大きな AVM である。定藤ら⁶⁾はアミタール注入試験を行って症状発現がなくても 27% に EVAL 注入後に症状発現をみた報告しているし、兵藤ら⁴⁾も 10 例の AVM に対し 21 回の塞栓術を施行しているが、5 回の合併症のあったことを報告している。栄養動脈といっても、nidus に至るまで無数の枝を出して脳を栄養し、nidus を越えてからも脳を栄養する動脈となる。ただ AVM による盗血のために血管造影上、これらの脳を栄養する細動脈部分が写らないだけであり、skillful に AVM を外科的に摘出された症例の術後血管撮影では、栄養動脈になっていた血管が本来の脳を栄養する動脈に変わっていることを考えると、この栄養動脈を閉塞することは危険性が高く、現時点では非優位脳の non-eloquent area に局限したもののみ安全に行うという印象である。またどの程度の大きさの AVM にどれだけの量の EVAL を注入したらよいかという問題がある。多すぎれば当然梗塞を誘発するし、少なすぎれば、AVM は閉塞されない。われわれは 0.5 ml を注入し、造影を施行、AVM の消失程度をみていくという方法をとったが、多くの使用者も同様の方法をとっており、決まったものはない状況である¹²⁾。

次に、この塞栓術後のどの時期に AVM を摘出するかという問題がある。これには塞栓術を AVM 手術のための術前処置として行うのか、あるいは AVM に対する非観血的手術としてなされるのかによって根本的に異なる。前者の場合、なお定まった意見はない。われわれは、この塞栓術後すぐに観血的に AVM 摘出を行う方針をとって

きた。その理由の一つに、不十分な塞栓術の後、大出血をきたしたという過去の経験(この症例は塞栓物としてスポンゼル[®]を使用した)がある。同様の経験は多いものと思われるが、それに関するまとまった報告はない。

Spetzler ら⁹⁾は、transfemoral embolization によって大きな AVM を小さなものにした後、数日から数週間後に破裂した経験について述べ、AVM の治療の目標は完全な閉塞であるべきであると強調している。部分的に閉塞させ hemodynamic stress に変化の生じた AVM は非常に破裂しやすい環境にあると言わねばならず、もし保存的に経過を見るなら徹底した血圧の管理など、残存 AVM に対する hemodynamic stress を軽減させるような努力が極めて重要であろう。

nidus が造影されなくなった場合、観血的に摘出する必要があるか否かという問題がある。われわれはわずか 2 例しか経験がないがその時の印象では、やはり観血的に摘出した方が良く、というものであった。つまり 2 例ともに手術用顕微鏡下に AVM の nidus を見ると、周囲からわずかではあるが、動脈血が nidus 内へ流れ込んでいるのが観察され、後日再び AVM が造影されるようになってくるという印象を与えた。塞栓の永続性について、AVM が完全に閉塞されたものでは経過を見るという意見⁴⁾¹²⁾¹⁴⁾も多いが、ほとんど消失した AVM が再開通を起こしてきたという報告³⁾も見られ、観血的摘出が患者にとって大きな負担とならない部位の AVM ならば、血管撮影で消失していても摘出しておくのが最良の方法と考える。

文 献

- 1) Bernstein A, Kricheff II: Catheter and material selection for transarterial embolization; Technical consideration. II. Materials. Radiology 132: 631-639, 1979
- 2) Debrun G, Vinuela F, Fox A, et al: Embolization of cerebral arteriovenous malformations with bucrylate. Experience in 46 cases. J Neurosurg 56: 615-627, 1982
- 3) 米田 隆, 根来 真, 宮地 茂, ほか: 脳動静脈奇形の血管内手術—塞栓材料の比較検討. 脳卒中の外科 20: 319-322, 1992
- 4) 兵藤 明夫, 上村 和也, 樋口 修, ほか: Intravascular surgery を応用した脳動静脈奇形の治療—術前導入動脈閉塞術と塞栓術の有用性と問題点—。脳卒中の外科 20: 301-307, 1992
- 5) Pelz DM, Fox AJ, Vinuela E, et al: Preoperative embolization of brain, AVMs with isobutyl-2-cyanoacrylate. AJNR 9: 757-764, 1988
- 6) 定藤章代, 滝 和郎, 西 正吾, ほか: 血管内手術法における誘発試験の有用性とその問題点. 第 6 回日本脳神経血管内手術研究会演題抄録集, 1990, p 33
- 7) Spetzler RF, Martin NA: A proposed grading system for arteriovenous malformations. J Neurosurg 65: 476-483, 1986
- 8) Spetzler RF, Martin NA, Carter LP, et al: Surgical management of large AVMs by staged embolization and operative

- excision. J Neurosurg **67**: 17–28, 1987
- 9) Spetzler RF, Hargraves RW, McCormick PW, *et al*: Relationship of perfusion pressure and size to risk of hemorrhage from arteriovenous malformations. J Neurosurg **76**: 918–923, 1992
 - 10) 高橋 明, 吉本高志, 菅原孝行, ほか: 脳動静脈奇形に対する新しい液体塞栓療法の経験—エストロゲンアルコールとポリ酢酸ビニール併用療法—. 脳卒中の外科 **18**: 453–457, 1990
 - 11) Taki W, Yonekawa Y, Iwata H: A new liquid material for embolization of arteriovenous malformations. AJNR **11**: 163–168, 1990
 - 12) 滝 和郎: personal communication. 1992
 - 13) Vinters HV, Lundie MJ, Kaufmann TCE: Long-term pathological treated by embolization with bucrylate. N Engl J Med **314**: 477–483, 1986
 - 14) 山下耕助, 米川泰弘, 滝 和郎, ほか: 治療困難な脳動静脈奇形に対する ethylene-vinyl-alcohol-copolymer (EVAL) による塞栓術. 脳卒中の外科 **18**: 448–452, 1990