

脳動静脈奇形直達術の治療判断と合併症回避のための手術手技

栗田 浩樹, 吉川 雄一郎, 池田 俊貴, 竹田 理々子, 中島 弘之, 山口 陽平

埼玉医科大学国際医療センター脳卒中外科

Current Treatment Strategies and Neurosurgical Practice for Cerebral AVMs

Hiroki Kurita, M.D., Ph.D., Yuichiro Kikkawa, M.D., Ph.D., Toshiki Ikeda, M.D., Ph.D.,
Ririko Takeda, M.D., Ph.D., Hiroyuki Nakajima, M.D., Ph.D., and Yohei Yamaguchi, M.D.

Department of Cerebrovascular Surgery, International Medical Center, Saitama Medical University

Management strategies for cerebral arteriovenous malformations (AVM) have undergone considerable evolution with the advent of advance in surgical, endovascular, and radiosurgical technologies. However, controversy still remains regarding the indications for invasive treatment, especially for unruptured lesions as demonstrated by the results of a randomized trial of unruptured brain arteriovenous malformation (ARUBA) study. Similarly, the role of acute craniotomy remains to be elucidated. This article describes our current strategy for those complex lesions and illustrates recent futuristic technologies and techniques aiming to improve outcomes in AVM surgeries. Particularly, the significance of patient selection, and the choice of preoperative and intraoperative endovascular treatment (hybrid surgery) are discussed.

(Received September 28, 2015; accepted September 30, 2015)

Key words : cerebral arteriovenous malformation, acute surgery, hybrid surgery, surgical technique, preoperative endovascular therapy

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 25 : 33-41, 2016

はじめに

血管内塞栓術や定位的放射線治療の進歩により、脳動静脈奇形 (cerebral arteriovenous malformation : AVM) に対する治療戦略は多様化し、各治療 modality の役割とその適応に関しても一定のコンセンサスが得られつつある⁶⁾⁹⁾¹²⁾¹⁴⁾¹⁸⁾²⁰⁾²¹⁾²³⁾。一方、最近の ARUBA study¹⁴⁾の結果や、日本における新しい塞栓物質 (Onyx) の認可⁴⁾、hybrid 手術室の急速な普及⁸⁾¹⁰⁾などにより、非出血例の治療適応をはじめ、各種の先行治療を受けた病変の外科

治療に関する新たな controversy も生じている。また、AVM は出血急性期に高度な臨床判断を求められる神経救急疾患の側面もあるが¹⁾²⁵⁾、急性期マネジメントに関する evidence は現在まで確立しておらず、各施設により治療方針が異なるのが現状と思われる。本稿では、当科における現在の AVM に対する外科治療の適応と、それぞれの病態における合併症回避のための手術手技について、具体的症例を提示しながら報告する。

連絡先: 栗田浩樹, 〒350-1298 日高市山根 1397-1 埼玉医科大学国際医療センター脳卒中外科

Address reprint requests to: Hiroki Kurita, M.D., Ph.D., Department of Cerebrovascular Surgery, International Medical Center, Saitama Medical University, 1397-1 Yamane, Hidaka-shi, Saitama 350-1298, Japan

当科における AVM の基本治療戦略

当科では現在でも原則的に 2001 年の AHA のガイドライン¹⁹⁾ (Table 1) に準拠した治療戦略をとっている。具体的には Spetzler-Martin grade²⁴⁾ (SMG) I, II の low-grade AVM に対しては手術摘出を中心とし, grade III, IV の high-grade AVM に対しては段階的血管内塞栓術 (transarterial embolization: TAE) と直達術や定位放射線治療 (stereotactic radiotherapy: SRT) を組み合わせた multimodal treatment を第 1 選択とするものである (Table 2)。また low grade AVM の患者に対しても, 安全に塞栓が可能と考えられるものに関しては hybrid surgery として積極的に開頭術中の塞栓術を併用しているのが特徴である^{10)~13)}。外科治療の適応に関しては, すべての症例が脳血管内治療科との合同カンファレンスに提示され, intranidal aneurysm などの易出血因子の存在を含めた AVM の topography や発症形式, 患者の年齢や神経学的症状, 治療に伴う risk などが, 職業や家族構成などの社

会的背景を含めて評価され, 脳血管外科医, 脳血管内治療医, 放射線治療医の合意のもと, 保存的加療を含めた治療方針が決定される (AVM board system)。その後, 自然歴⁵⁾とわれわれの proposed treatment の内容, 予想される治療効果と risk が主治医より患者・家族に提示され, 複数回の話し合いで治療の希望・同意が得られた症例のみを治療対象としている。特に ARUBA study の結果が公表されてからは, 必ずその結果を含めて informed consent を得ている。最近は無出血例や無症候性ものは原則として保存的加療の方針としている施設もあるが, このような治療戦略のもと, 当科では紹介患者の増加もあり, 直達術の件数は年々増加傾向にある (Fig. 1)。

出血急性期の AVM 手術適応と合併症回避のための手術手技

出血量が少ない場合は, 急性期は厳密な降圧による保存的加療を行い, 患者の年齢や神経症状, 血腫部位, AVM の topography から慢性期に治療戦略を検討することは論をまたないが¹⁾²⁵⁾, 出血量が 30 cc を超え, 意識障害があり, 切迫脳ヘルニアが示唆される場合, われわれは low grade (SMG-I, II) で表在性の AVM では血腫除去と AVM の摘出を同時に, それ以外では急性期には血

Table 1 AHA recommendations for the management of intracranial AVMs (2001) (excerpt)

1. Surgery is strongly considered for SMG-I, II lesions.
2. SRT is considered for SMG-I, II lesions with increasing surgical risk.
3. Combined approach (TAE+surgery) is feasible for SMG-III lesions.
4. Surgery only is not recommend for SMG-IV, V lesions.
5. Multimodal treatment seems helpful for SMG-III, IV, V lesions.

SMG: Spetzler-Martin grade, SRT: stereotactic radiotherapy, TAE: transarterial embolization

Table 2 First-line treatment for brain AVMs in International Medical Center, Saitama Medical University

SMG-I, II	(TAE+) microsurgery
SMG-III, IV	TAE+microsurgery (or SRT)

SMG: Spetzler-Martin grade, TAE: transarterial embolization, SRT: stereotactic radiotherapy

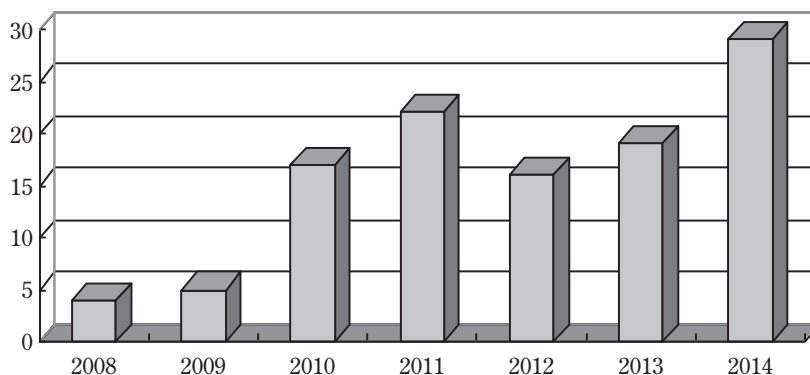


Fig. 1 Number of direct AVM surgeries in the Department of Cerebrovascular Surgery, Saitama Medical University International Medical Center

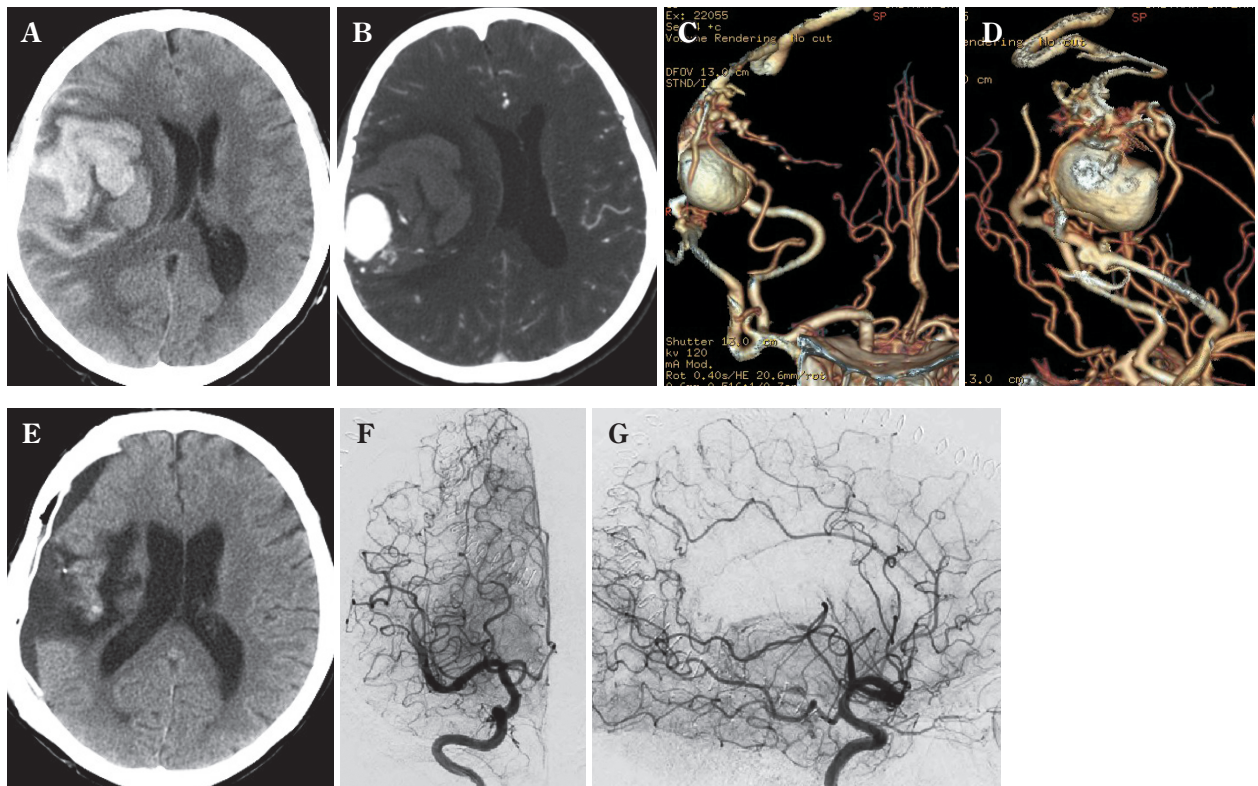


Fig. 2 A : CT scan on admission showing a huge intracerebral hematoma in association with severe midline shift.
 B : CT scan with contrast enhancement showing localization of the AVM.
 C, D : Preoperative 3-D CT angiograms showing the vascular structure of a ruptured right parietal AVM.
 E : Postoperative CT showing total removal of the hematoma.
 F, G : Postoperative right internal carotidograms showing total elimination of the AVM.

腫除去のみを行い、待機的に AVM の治療を行うことを原則としている。

そのような急性期手術では、術前に AVM と血腫との位置関係を把握しておくことが必須である。減圧までに時間的余裕がある時は脳血管撮影を行うが、切迫脳ヘルニアと判断される場合は迅速な減圧のために 3D-CTA の元画像から最低限 nidus と血腫の関係を把握し、そのまま手術室に搬入する。手術の原則は、AVM と離れた部分から血腫に到達し、術中に破綻した nidus に二次的 insult を与えずに血腫除去を行い、まず頭蓋内圧を制御することである。続いて AVM 摘出の原則¹¹⁾ に則って、主要な feeder を処理していくが、AVM の解剖学的構造の評価が不十分な緊急手術では、必ず nidus に入る直前で feeder を遮断することにより、周囲の正常な passing artery を温存することがきわめて重要である。Nidus の剝離自体は、多くの場合すでに血腫により周囲脳より部分的に剝離されているため、このスペースを利用することにより操作は容易である。最終的に drainer を切断して nidus を一塊として摘出する。各種モニタリングや術中脳血管撮影な

どの術中支援に限りがある緊急手術では、AVM を摘出することによって二次的な脳損傷を増長する可能性も指摘されているが、nidus と血腫の位置関係や AVM の血管構造をリアルタイムに何度も把握できる術中 echo を積極的に使用すること¹⁰⁾、また上記の適応を厳密に順守することにより、われわれは現在まで手術に起因する morbidity を経験しておらず、同様の治療戦略による良好な成績も他施設より報告されている⁷⁾¹⁵⁾。

1 代表的症例 1

60 代女性、数年前に頭痛の精査で右前頭葉に AVM が指摘されていたが、無症候性であるため他院で経過観察されていた。自宅で突発する意識障害があり救急搬送された。来院時意識レベルは Japan Coma Scale (JCS) : II-30, Glasgow Coma Scale (GCS) E2V1M3 で、CT 上右前頭葉から頭頂葉に巨大な脳内出血を認め (Fig. 2A), 3D-CTA で中大脳動脈頭頂枝より feeding され、cortical vein へ drainage し、大きな varix を伴う 2 cm 大の high-flow AVM を右の Rolandic area に認めた (SMG-II) (Fig. 2C,

D). CT施行中にさらに意識レベルの低下(JCS: III-200, GCS: E1V1M2)があり, 切迫脳ヘルニアの診断でそのまま手術室に搬入した. 手術では3D-CTAの元画像(Fig. 2B)からnidusと血腫の位置関係を把握し, 術中echoにより最も血腫が浅く, nidusから離れたmiddle parietal lobuleにcorticotomyをおき, nidus周囲を残して血腫の垂全摘を行って脳の腫脹を解除した. 続いてechoと術中indocyanine green (ICG) videoangiographyを行って再度AVMのtopographyを確認し, 中大脳動脈からのfeederを処理すると, drainerが静脈色に変色した. nidusのmedial側はほぼ血腫腔であり, その剥離は容易であった. 最後にmain drainerを結紮して手術を終了した. 術後患者の神経症状は徐々に改善し, 頭部CTで手術の合併症を認めず(Fig. 2E), 脳血管撮影でAVMの消失が確認された(Fig. 2F, G). 左の片麻痺と半側空間無視は後遺したが, 意識清明で食事も自立し, 回復期リハビリテーション病院に転院となった(術後1カ月後のmRS=3).

Multimodal treatmentの核としてのAVM手術適応と合併症回避のための手術手技

High-grade AVMに対してmultimodal treatmentを選択する場合, 不完全な治療は自然歴に増して出血率を高める¹⁶⁾ため, 最終的に手術で完全に摘出することを前提に治療計画を立てる必要がある. 多くの場合, われわれは, 摘出に伴うdrasticな血流変化を抑えるためにfeederのstaged TAEを併用しているが, どの血管をどの順番で塞栓するかを脳血管外科医と脳血管内治療医の間でよく話し合っておくことが重要である. 一方low grade AVMは直達術単独でも良好な成績が報告されているが¹⁸⁾, 術中の出血量や手術時間の軽減を目的に, われわれは血管内塞栓術を積極的に併用しており, high-grade AVMに対するstaged TAEの最終sessionを, またlow grade AVMに対してはstrategic feederの塞栓術を開頭術と同時にhybrid surgeryとして施行している^{10)~13)}.

このような塞栓術後の摘出術では, 術中にfeederの見極めが容易となり, 特に術野で直視下に確認しづらいnidusの裏面から入るfeederが処理されていると, 手術の難度が確実に下がる. 術前の塞栓術を併用することのもう1つの利点は, flow reductionによりnidus内の圧が下がり手術操作の安全度が増すことと, 従来high-flow AVMの摘出の際に問題となった周囲の「赤虫血管」の発達が少ないことである. Nidusの減圧により, nidus自体を吸引管で牽引することが可能となり, それによって可

動性のあるnidusのloopingと可動性のない細かいfeederが容易に鑑別できるようになるため, nidus表面を凝固することなく後者のみを凝固・切断する操作が可能となる. 剥離面からfragileな赤虫血管からの出血もないため, その処理のために剥離面が外側に大きくなることなく, nidus表面ぎりぎりのplane(いわゆるperinidal gliosis内)で最小限の出血で摘出できる. このことは特にeloquent areaの病変で重要である. 最終的にdrainerを切断してnidusを一塊として摘出するが, drainerの周囲は手術の比較的早期に周囲から剥離して可動性を持たせ, またdrainerに周囲の血管から直接短絡して流入するshuntを遮断したり, 裏に隠れているfeederを処置しておくことも重要である. また, AVMに対する手術approachの原則は, 複雑な血管構造を術中にできるだけ直視下に把握するために, nidusに対して“perpendicular”であるべきだが, 本法によりAVMの構造をより単純化できれば, より“tangential”なapproachでも安全に摘出が可能となり, 小さなcorticotomyで摘出可能となるため, 低侵襲化にも寄与し得る. この点で, low grade AVMでも多方向からのfeederを有する症例では有用と思われる.

① 代表的症例 2

60代女性. 数年前より右視野のscotomaと引き続く強い頭痛があり, migraine with auraとして他院で加療されていたが, 最近頻度が増悪し, MRIでAVMが指摘されて当科へ紹介となった. 来院時自覚症状はなかったが, 眼科的検査で右上1/4半盲を認めた. MRI(Fig. 3A, B)では左後頭葉に4cm大のAVMを認め, 脳血管撮影(Fig. 3C, D)では左MCA, PCA, MMA, OAの多数のfeeding arteriesを持ち, SSSおよびstraight sinusにdrainageするhigh-flow AVMが確認された(SMG-IV). 血管内塞栓術でmain feederであるPCAをNBCAおよびOnyxで塞栓してflow reductionを図った(Fig. 3E, F)1カ月後に, MCA, MMA, OAの術中塞栓術を併用した摘出術(hybrid surgery)を施行した. ほぼすべてのfeederが塞栓されていたため, nidusの摘出は容易であり, 術中の出血もminimalに抑えられた. 術後経過は良好で, 術前の視野欠損の拡大なく, scotomaや頭痛は消失し, 画像上も手術の合併症なくAVMの全摘出が確認され(Fig. 3G-J), 自宅に独歩退院された.

② 代表的症例 3

40代女性, 3カ月前より数回, 一過性の失語症を伴うepisodicな強い頭痛発作があり, MRIでAVMと周囲のわ

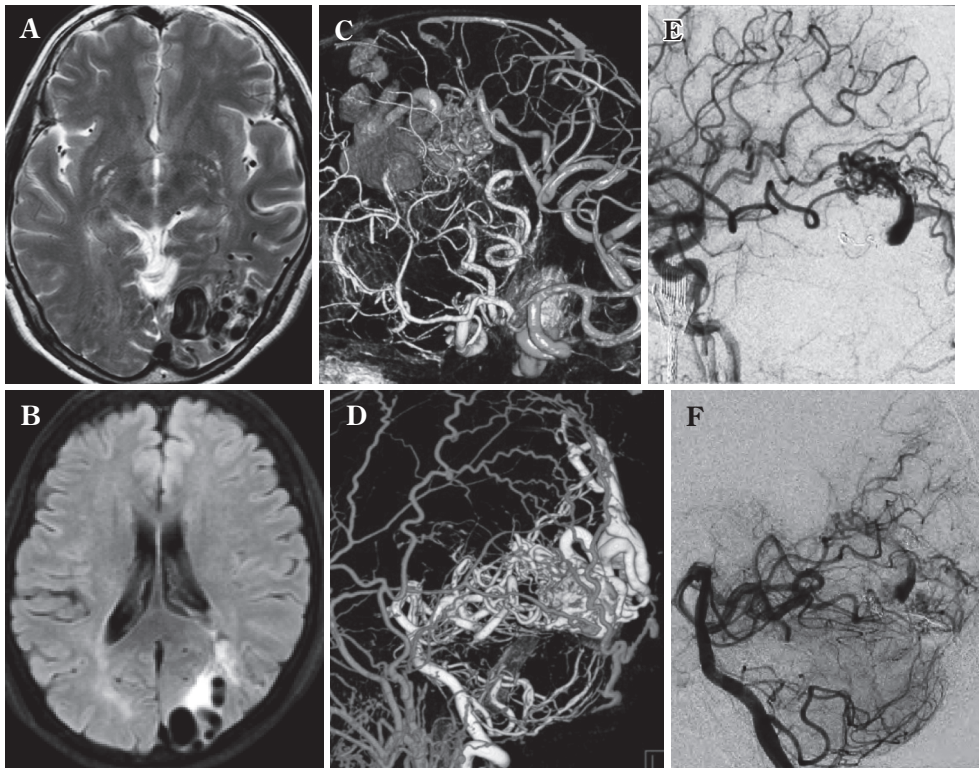


Fig. 3 A, B: Preoperative T2 (A) and FLAIR (B) MR images showing the localization of the AVM.
 C, D: Preoperative 3-D left internal carotid/vertebral (C) and external carotid/vertebral angiograms (D) showing a high-flow left occipital AVM with multiple feeders.
 E, F: Left internal carotid (E) and vertebral (F) angiograms after transarterial embolization showing remarkable flow reduction.
 G, H: Postoperative T2 (G) and FLAIR (H) MR images showing the disappearance of abnormal flow voids.
 I, J: Postoperative left internal carotid (I) and vertebral (J) images showing total elimination of the AVM.

ずかな脳内出血が指摘され、当科へ紹介となった。来院時神経学的に右の同名半盲と軽度の感覚性失語、失書・失読を認めた。MRI (Fig. 4A) では左後頭葉から頭頂葉に5 cm大のAVMを認め、脳血管撮影 (Fig. 4B-D) では左MCA, PCA, MMA, OAからの多系統のfeeding arteriesを持ち、SSSおよびstraight sinusにdrainageするhigh-flow AVMが確認された (SMG-IV)。血管内塞栓術でPCAとMMA, OAをNBCAおよびOnyxで塞栓してflow reductionを図った (Fig. 4E, F) 1ヵ月後に、MCA, PCAの術中塞栓術を併用した摘出術 (hybrid surgery) を施行した。術中は塞栓されたfeederとpassing arteryの見極めは容易であり (Fig. 4G)、nidusが十分減圧されていたため、剥離に伴う出血はわずかに抑えられた (Fig. 4H)。術後は、画像上手術の合併症なくAVMの全摘出が確認され (Fig. 4I-K)。神経学的には感覚性失語は改善したが、失書・失読は遷延し、社会復帰を視野に入れて回

復期病院に転院後、事務職として復職した。

考 察

AVMに対するmultimodal treatmentが定着しつつある現在⁽⁶⁾⁹⁾¹²⁾¹⁴⁾¹⁸⁾²⁰⁾²¹⁾²³⁾、その直達術は年々減少しており、特に2014年にARUBA study¹⁴⁾が発表されてからは、未出血例に対する積極的治療自体に疑問が投げかけられている。ARUBA studyでは、primary endpoint (死亡または脳卒中) に達したのは外科的治療群で30.7%、内科的治療群で10.1%と有意に外科的治療群が高かった。この結果は外科医として厳正に受け止めねばならないが、平均追跡期間が3年以内と短いこと、high-grade AVMやeloquent areaの病変の比率が高いことなどに加え、外科的治療群114例のうち、直達術はわずか18例しか施行されておらず (手術単独5例、他治療との併用13例)、TAE

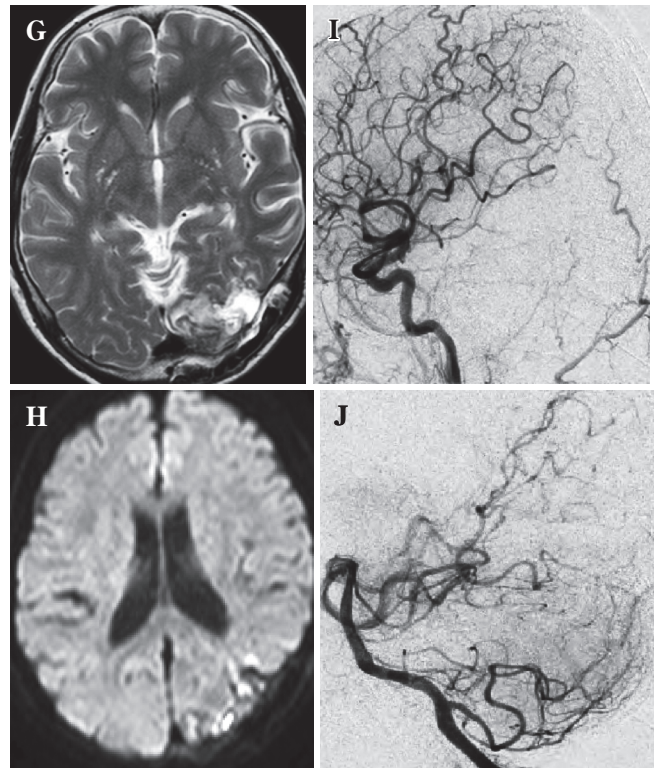


Fig. 3 (Cont'd)

やSRSの単独治療が多いこと、またそれらの群で完全閉塞がどのくらいで達成されているのかが不明であることに強い違和感を覚えざるを得ない。この研究は、神経症状により治療の必要度が、またgradeにより治療riskが異なるAVMを病態や難易度に関係なくrandomized化したstudy designに加えて、参加した施設間で治療strategyに統一性がなく、palliative treatmentに留まった症例が少なからずある可能性があることが大きな問題であり、明確なstrategyを持つ施設の手術成績はARUBAの内科的治療群をしのぐものであることは心に留めておく必要がある³⁾²²⁾。

一方で最近ではradiosurgery後長期間を経て生じる遅発性合併症が注目されており、また新しい塞栓物質であるOnyxの本邦での認可に伴い、術前塞栓術と直達術の有効性が見直されつつある^{6)12)~14)20)21)}。従来手術成績に比べ、最近では3D-angiography, CT, MRI, ultrasound, ICG videoangiographyなどの術中画像手術支援に加え、MEP/SEP/ABRなどの電気生理学的monitoringの普及により、high-gradeの症例でも直達術の成績は向上しており²⁾⁶⁾⁸⁾¹⁰⁾¹⁴⁾、また安全で適確な術前塞栓術により、術中の出血やNPPB, occlusive hyperemiaなどのhemodynamic complicationもきわめて減少している¹²⁾²⁰⁾。われわれは過去5年間、上述の同じ治療戦略で103例の直達術

を経験したが、術前のmRSは97例(94.2%)で維持されており、このような最近の集学的手術支援下のAVMの直達術の成績が蓄積されれば、治療戦略が今後大きく手術へ再シフトする可能性があると思われる。

今後AVMの外科治療の有効性を証明していくためには、病態に応じた詳細なinclusion criteriaの設定によるrandomized studyが必要と思われるが、必要な症例数を集めるのはかなり難しいと思われる。各施設が一貫した治療戦略で治療を継続し、その結果を常に世に問うていくことが重要であろう。そのためにも外科治療の適応に関するより具体的なgrading scaleが必要であり、それには現在のSMGにあるAVMのtopographyに加え、出血例では既存の神経学的症状や血腫腔の部位や大きさ¹⁵⁾、術前・術中の画像支援の進歩⁸⁾や脳血管内手術や直達術自身の最近の治療成績の向上²⁾⁶⁾などが反映されなければならない。

まとめ

当科ではAVMに対してSMG-I, IIに関しては手術摘出を、SMG-III, IVに対してはmultimodal treatmentを第1選択とする一貫した治療戦略をとってきた。また出血急性期に迅速な減圧が必要と判断される場合は、表在性

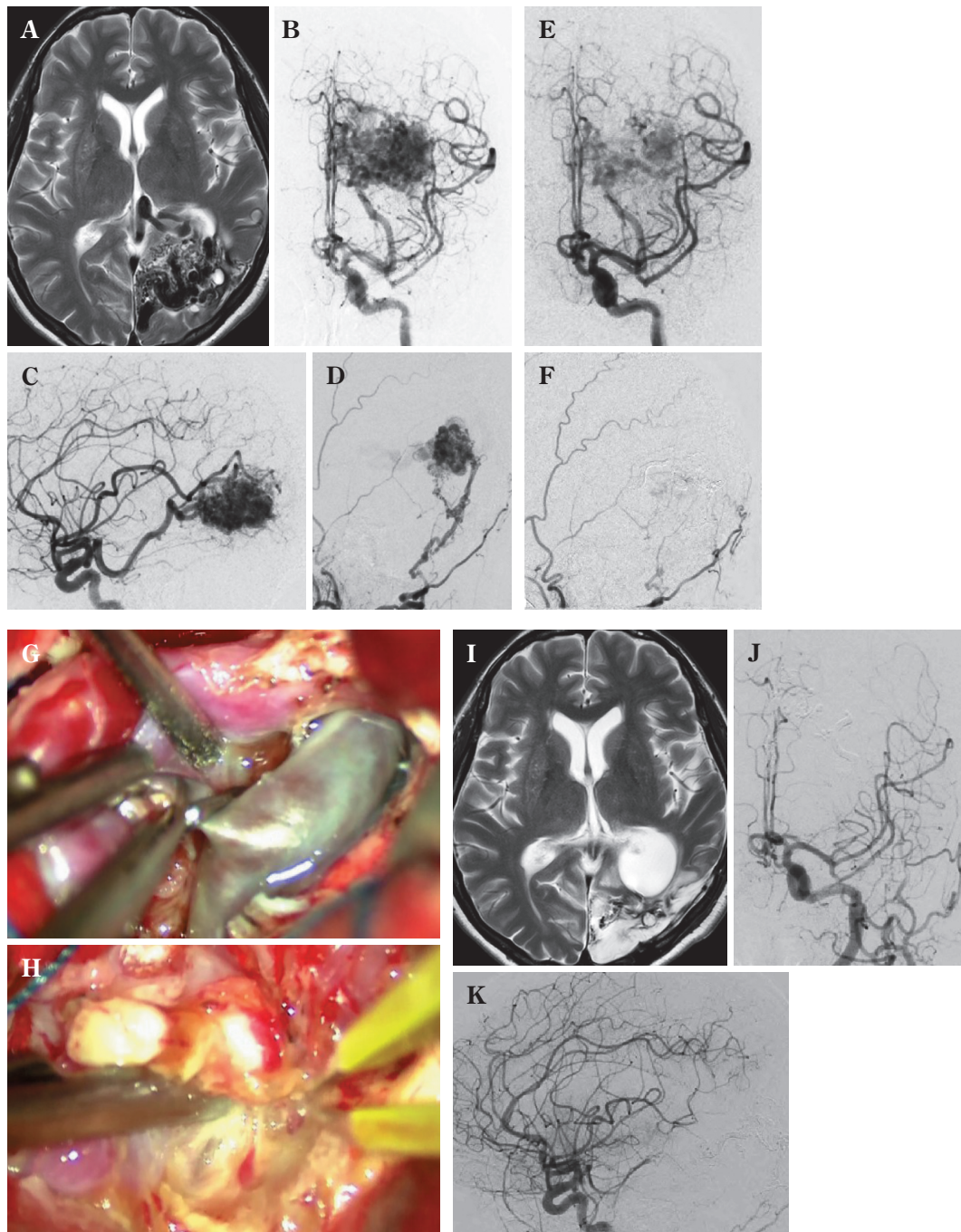


Fig. 4 **A** : Preoperative T2-weighted MR image showing the localization of the AVM.
B, C : Preoperative left internal (**B, C**) and external carotid (**D**) angiograms showing a high-flow left parieto-occipital AVM with multiple feeders.
E, F : Left internal (**E**) and external carotid (**F**) angiograms after transarterial embolization showing remarkable flow reduction.
G : Intraoperative photograph demonstrating an embolized feeder.
H : Intraoperative photograph demonstrating minimal bleeding in association with the nidus dissection.
I : Postoperative T2-weighted MR image showing the disappearance of abnormal flow voids.
J, K : Postoperative left internal carotid (**J**) and vertebral (**K**) angiograms showing total elimination of the AVM.

のSMG-I, IIに対してはAVMの摘出も同時に施行している。ARUBA studyの結果もあり、最近では特に未破裂AVMでは積極的治療の適応自体が問題視されているが、最近では術中画像手術支援や、電気生理学的 monitoringの普及により、直達術の成績は向上しており、術前塞栓術の併用によりhemodynamic complicationもきわめて減少している。今後は既存の神経学的症状、血腫腔の部位や大きさ、最近の治療成績の向上などが反映された新たな手術適応基準の確立が望まれる。

COI

本論文の要旨は、第35回日本脳神経外科コンgres・プレナリーセッション「出血性脳血管障害」(平成27年5月8日、横浜)において発表した。筆頭著者および共著者は日本脳神経外科学会会員であり、同学会へのCOI自己申告を完了している。本論文に関して開示すべきCOIはない。

文献

- 1) Aoun SG, Bendok BR, Batjer HH: Acute management of ruptured arteriovenous malformations and dural arteriovenous fistulas. *Neurosurg Clin N Am* 23: 87-103, 2012.
- 2) Bendok BR, El Teclé NE, Ahmadieh TY, Koht A, Gallagher TA, Carroll TJ, Markl M, Sabbagha R, Sabbagha A, Cella D, Nowinski C, Dewald JP, Meade TJ, Samson D, Batjer HH: Advances and innovations in brain arteriovenous malformation surgery. *Neurosurgery* 74 Suppl 1: S60-S73, 2014.
- 3) Bervini D, Morgan MK, Ritson EA, Heller G: Surgery for unruptured arteriovenous malformations of the brain is better than conservative management for selected cases: a prospective cohort study. *J Neurosurg* 121: 878-890, 2014.
- 4) Crowley RW, Ducruet AF, Kalani MY, Kim LJ, Albuquerque FC, McDougall CG: Neurological morbidity and mortality associated with the endovascular treatment of cerebral arteriovenous malformations before and during the Onyx era. *J Neurosurg* 122: 1492-1497, 2015.
- 5) Gross BA, Du R: Natural history of cerebral arteriovenous malformations: a meta-analysis. *J Neurosurg* 118: 437-443, 2013.
- 6) Hernesniemi J, Romani R, Lehecka M, Isarakul P, Dashti R, Celik O, Navratil O, Niemelä M, Laakso A: Present state of microneurosurgery of cerebral arteriovenous malformations. *Acta Neurochir Suppl* 107: 71-76, 2010.
- 7) Jafer JJ, Rezaei AR: Acute surgical management of intracranial arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 34: 8-12, 1994.
- 8) Kotowski M, Sarrafzadeh A, Schatlo B, Boex C, Narata AP, Pereira VM, Bijlenga P, Schaller K: Intraoperative angiography reloaded: a new hybrid operating theater for combined endovascular and surgical treatment of cerebral arteriovenous malformations: a pilot study on 25 patients. *Acta Neurochir (Wien)* 155: 2071-2078, 2013.
- 9) Kurita H, Kawamoto S, Sasaki T, Shin M, Tago M, Terahara A, Ueki K, Kirino T: Results of radiosurgery for brain stem arteriovenous malformations. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 68: 563-570, 2000.
- 10) 栗田浩樹, 石原正一郎, 大井川秀聡, 小倉丈司, 竹田理々子, 伏原豪司, 吉川信一郎, 大塚宗廣, 岡田大輔, 鈴木海馬, 柳川太郎, 佐藤大樹: AVM直達術の術中画像支援—hybrid手術室(BRAIN OR)の有用性. *Mt. Fuji Workshop on CVD* 30: 122-127, 2012.
- 11) 栗田浩樹, 大井川秀聡, 竹田理々子, 中島弘之, 小倉丈司, 池田俊貴, 吉川信一郎, 大塚宗廣, 鈴木海馬, 佐藤大樹, 柳川太郎, 柴田碧人, 池田峻介: 脳動静脈奇形と硬膜動静脈瘻の直達術: なにか同じでなにか異なるのか? *脳外誌* 22: 904-910, 2013.
- 12) 栗田浩樹, 大井川秀聡, 竹田理々子, 池田俊貴, 吉川雄一郎, 伏原豪司, 石原正一郎: Multimodal treatment時代のAVM直達術—technical considerations. *Mt. Fuji Workshop on CVD* 32: 19-23, 2014.
- 13) 栗田浩樹, 竹田理々子, 池田俊貴, 吉川雄一郎, 伏原豪司, 大井川秀聡, 小倉丈司, 石原正一郎: 脳動脈瘤・脳動静脈奇形に対するhybrid手術の現状と展望—直達術の立場より. *脳外誌* 24: 173-179, 2015.
- 14) Lawton MT; UCSF Brain Arteriovenous Malformation Study Project: Spetzler-Martin grade III arteriovenous malformations: surgical results and a modification of grading scale. *Neurosurgery* 52: 740-748, 2003.
- 15) Lawton MT, Du R, Tran MN, Achrol AS, McCulloch CE, Johnston SC, Quinone NJ, Young WL: Effect of presenting hemorrhage on outcome after microsurgical resection of brain arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 56: 485-493, 2005.
- 16) Miyamoto S, Hashimoto N, Nagata I, Nozaki K, Morimoto M, Taki W, Kikuchi H: Posttreatment sequelae of palliatively treated cerebral arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 46: 589-594, 2000.
- 17) Mohr JP, Parides MK, Stapf C, Moquete E, Moy CS, Overbey JR, Al-Shahi Salman R, Vicaut E, Young WL, Houdart E, Cordonnier C, Stefani MA, Hartmann A, von Kummer R, Biondi A, Berkefeld J, Klijn CJ, Harkness K, Libman R, Barreau X, Moskowitz AJ; international ARUBA investigators: Medical management with or without interventional therapy for unruptured brain arteriovenous malformations (ARUBA): a multicentre, non-blinded, randomised trial. *Lancet* 383: 614-621, 2014.
- 18) Morgan MK, Rochford AM, Tsahtsalis A, Little N, Faulder KC: Surgical risks associated with the management of Grade I and II brain arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 61: 417-422, 2007.
- 19) Ogilvy CS, Stieg PE, Awad I, Brown RD Jr, Kondziolka D, Rosenwasser R, Young WL, Hademenos G; Special Writing Group of the Stroke Council, American Stroke Association: AHA Scientific Statement: Recommendations for the management of intracranial arteriovenous malformations: a statement for healthcare professionals from a special writing group of the Stroke Council, American Stroke Association. *Stroke* 32: 1458-1471, 2001.
- 20) Pandey P, Marks MP, Harraher CD, Westbroek EM, Chang SD, Do HM, Levy RP, Dodd RL, Steinberg GK: Multimodality management of Spetzler-Martin Grade III arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 116: 1279-1288, 2012.
- 21) Potts MB, Jahangiri A, Jen M, Sneed PK, McDermott MW, Gupta N, Hetts SW, Young WL, Lawton MT; UCSF Brain AVM Study Project: Deep arteriovenous malformations in the basal ganglia, thalamus, and insula: multimodality management, patient selection, and results. *World Neurosurg* 82: 386-394, 2014.

- 22) Rutledge WC, Abla AA, Nelson J, Halbach VV, Kim H, Lawton MT : Treatment and outcomes of ARUBA-eligible patients with unruptured brain arteriovenous malformations at a single institution. *Neurosurg Focus* 37 : E8, 2014.
- 23) Sasaki T, Kurita H, Saito I, Kawamoto S, Nemoto S, Terahara A, Kirino T, Takakura K : Arteriovenous malformation in the basal ganglia and thalamus : treatment and results in 101 cases. *J Neurosurg* 88 : 285-292, 1998.
- 24) Spetzler RF, Martin MA : A proposed grading system for arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 65 : 476-483, 1986.
- 25) Zacharia BE, Vaughan KA, Jacoby A, Hickman ZL, Bodmer D, Connolly ES : Management of ruptured brain arteriovenous malformations. *Curr Atheroscler Rep* 14 : 335-342, 2012.

要 旨

脳動静脈奇形直達術の治療判断と合併症回避のための手術手技

栗田 浩樹 吉川雄一郎 池田 俊貴 竹田理々子 中島 弘之 山口 陽平

血管内塞栓術や定位的放射線治療の進歩，また術中のモニタリングや各種画像支援の普及により，脳動静脈奇形に対する治療成績は近年飛躍的に向上した。しかし最近の ARUBA study の結果から，非出血例の治療適応に新たな議論が生じており，また各種の先行治療を受けた病変や出血急性期の外科治療など，現在でも種々の controversy が存在する。本稿では，当科における現在の AVM に対する基本的な治療戦略と，それぞれの病態における直達術の適応，および合併症回避のための手術手技について，具体的症例を提示して報告した。

脳外誌 25 : 33-41, 2016