

## 5. 脳動静脈奇形

脳動静脈奇形は比較的まれな疾患にも関わらず多様性に富むため、現在までのところの治療に関するClass I, IIのクリニカルエビデンスはない。そのため本指針における推奨およびその解説は、エビデンスレベルがⅢ以下の文献レビューによるExpert consensusである。

### ◆ 推 奨

#### 1. 適応

脳動静脈奇形に対する塞栓術の適応は、症候、血管構築（流入動脈・ナイダス・導出静脈の状態など）、部位、年齢などを考慮し判断する（#1）。（グレードC）

#### 2. 術前

脳動静脈奇形に対する塞栓術は、単独での根治治療、定位的放射線治療前、開頭摘出前、あるいは計画的な部分閉塞治療として施行されるが、塞栓術の前に治療戦略（#2-1）の検討が必要である。また医学的情報に基づいた正確かつ詳細な説明が必要である（#2-2）。（グレードC）

#### 3. 治療手技（術中管理を含む）

開頭手術の実施可能な施設で、血管内治療が実施可能な血管撮影装置を使用して実施する。治療にあたっては、適切な麻酔と生体モニター下に（#3-1）、経皮的にガイディングシステムを挿入し、術前に計画した治療戦略に適合したマイクロカテーテル（#3-2）および塞栓材料（#3-3）を使用して治療する。（グレードC）

#### 4. 術後管理と経過観察

塞栓術後は、血行動態の変化により出血の危険が一時的に高まる可能性があり、バイタルサインと症候の注意深い観察が必要である（#4）。（グレードC）

#### 5. 合併症

生じうる合併症を理解し、その予防と適切な対処法を準備する（#5）。（グレードC）

### ◆ 解 説

#### <#1>適応

脳動静脈奇形（BAVM）に対する塞栓術の適応は、保存治療、外科治療、定位放射線治療を含めた検討により決定されるべきである。

BAVMの年間出血率は2-4%程度と報告されている<sup>1,2,3,4,5,6)</sup>。また発症年齢とその後の

生涯にわたる出血の可能性は（105-年齢）%で近似される<sup>7)</sup>。出血で発症するとその後しばらくの期間は再出血の可能性が高くなり、徐々にもとの出血率にもどる<sup>1,5,8,9)</sup>。また出血により5-10%が死亡し、30-50%で障害を残す<sup>10)</sup>。出血後の転帰は動脈瘤破裂によるものと比較しやや良好である<sup>11)</sup>。

BAVMの治療の目的は、完全閉塞あるいは全摘出で、部分的な治療の出血予防効果は明らかではなく、むしろ出血率を高める可能性もある<sup>12,13)</sup>。治療の有効性あるいは有益性を明らかにしたクリニカルエビデンスはなく、治療適応に関しては症例ごとの十分な検討が必要である。小さいもの、表在性のもの、Non-eloquentな部位にあるもの、出血の既往があるもの、若年者、症候性のものに関しては積極的な治療を考慮し、大きなもの、深部のもの、Eloquentな部位にあるもの、無症候なものに関しては慎重になるべきである。

治療法としては開頭摘出術、定位的放射線治療、塞栓術がある。しかし経過観察を含め、これらの治療法による効果を直接比較した研究はない。開頭摘出術のメリットは、根治が即時に得られることであり、問題点は手術侵襲による正常脳組織の障害の可能性にあることである。出血の既往があり、Non-eloquentで表在性のものには、まず考慮すべきである。Spetzler-Martin Scaleのgrade IからIIIまたはgrade I, II, IIIには手術が推奨されており、grade IIIでは術前塞栓術が併用されることも多いが、grade IV, Vには開頭摘出術は推奨されていない<sup>12,14,15)</sup>。

定位放射線治療のメリットは、周術期合併症が少なく、深部のBAVMも治療可能であることであるが、問題点は大きなものは根治が困難であること、根治までに数年を要したそれが不確実であること、遅発性の放射線障害が起こりうることである<sup>16)</sup>。深部あるいはEloquent areaの3 cm以下のBAVMで出血の既往がないものに考慮すべきである<sup>12)</sup>。また塞栓術の併用が有用なことがあるが<sup>17,18)</sup>、難しくするという報告もあり利点と欠点を考慮して適応を決定する<sup>19,20)</sup>。

塞栓術のメリットは、即時にBAVMの流入動脈とナイダスの一部を低侵襲的に閉塞可能であることである。しかしBAVMの塞栓術の効果に関する高いクリニカルエビデンスはなく、その適応も明らかではない。単独治療における根治率は低く<sup>21)</sup>、部分塞栓術の効果は明らかではないため単独治療の適応は限られている。しかし低侵襲的にBAVMの一部分を閉塞することは可能であり、開頭摘出術前処置と定位的放射線治療との組み合わせとして有用である。

#### <#2-1>治療戦略

BAVM治療における塞栓術の目的は、①塞栓術単独による完全閉塞、②開頭摘出術前処置、③定位的放射線治療前処置、④出血源である動脈瘤や症候性High flow fistulaに対する計画的な部分閉塞（標的部分塞栓術：Targeted partial embolization）である。

塞栓術単独による完全閉塞は、N-butyl cyanoacrylate (NBCA) を用いた場合10%程度しかえられず限定的である<sup>18,21,22,23)</sup>。完全閉塞が得られやすいBAVMは、1 cm以下で流入動脈が1本のもの<sup>24)</sup>、小型で流入動脈が4本以下<sup>25)</sup>という報告がある。また新しい塞栓物質であるOnyx<sup>®</sup>による塞栓術では、より高い完全閉塞率が報告されている<sup>26,27)</sup>。

開頭術前塞栓術の目的は、手術中に処置が困難な流入動脈の閉塞と、一期的な摘出による過灌流やNormal perfusion pressure breakthrough現象の予防である<sup>25)</sup>。前者のためには、深部からの流入動脈を閉塞すべきであり、円蓋部の中大脳動脈より半球間にある前大脳動脈や後大脳動脈、穿通枝や脈絡叢動脈の閉塞が有効なことがある<sup>14)</sup>。後者に対しては

流量の多いHigh flow fistulaの閉塞が有効であると思われる。

定位的放射線治療前塞栓術は、効果の増強のための容積縮小、治療後の観察期間中における出血予防のために出血源である動脈瘤の閉塞、放射線治療に抵抗すると考えられるHigh flow fistulaの閉塞である<sup>14,15)</sup>。固体塞栓物質であるPVA particleでは再開通が生じ得るため<sup>29)</sup>、液体塞栓物質による永続的な閉塞が必要である。その有用性を示す報告もあるが<sup>30)</sup>、むしろ塞栓術を併用した場合閉塞率が低くなるという報告もある<sup>31)</sup>。

BAVMの治療の基本は完全閉塞あるいは全摘出であるが、塞栓術、開頭摘出術、定位的放射線治療などの集学的治療でもそれが困難な例で、BAVMの脆弱部分である動脈瘤や静脈圧亢進やSteal現象による症候がある場合、標的部分閉塞治療が考慮される<sup>32)</sup>。出血で発症したBAVMのナイダス内の仮性動脈瘤は出血源であり、これを認めた場合再出血率が高く、その領域のナイダスの塞栓術が有効である<sup>33)</sup>。流入動脈上の動脈瘤は、出血のリスクとなるという報告と<sup>34)</sup>、ナイダスの閉塞により縮小するという報告がある<sup>33)</sup>。しかし部分閉塞が長期にわたり出血のリスクを下げるというエビデンスはなく<sup>14)</sup>、むしろ計画的でない部分塞栓術では出血のリスクを高めるという報告もある<sup>12,13)</sup>。

#### <#2-2>説明

BAVMの自然歴と各種治療法のメリットおよびデメリットについて説明する必要があるのは言うまでもないが、多くの塞栓物質は本邦では未承認物質であり、それに関する説明も必要である。

#### <#3-1>麻酔と生体モニター

麻酔は全身麻酔と覚醒下の局所麻酔があるが、どちらかの優位性を示すエビデンスはない<sup>35)</sup>。全身麻酔のメリットは、完全に無動化できるため、詳細で正確な造影所見が得られ、血管造影装置のロードマップ機能が有効で、脳血管の伸展による疼痛がないことなどである。また血圧の管理も容易で、High flow fistulaの血流をコントロールするためや、塞栓物質の流出静脈側への逸脱を防ぐことなどである。覚醒下の塞栓術のメリットは、誘発試験が施行できることである。誘発試験は、塞栓物質の注入の直前にアモバルビタール(現在は入手不能) 30mg-50mgを動注し、神経学的所見やEEG所見を検討するものである<sup>36,37)</sup>。他のバルビタール、リドカイン<sup>38,39)</sup>、プロポフォールを用いた誘発試験が行われているが、安全性や有効性は確認されていない。また、薬剤と実際の塞栓物質の血管内での分布は異なり、False negativeやFalse positiveの問題があると思われる、誘発試験の有用性に関しては明らかではない。

#### <#3-2>マイクロカテーテルおよびその誘導

未出血のBAVMの塞栓術では、術中にヘパリンを投与しACTを200から250秒に延長させることが多いが、出血例では症例ごとの判断が必要である<sup>15)</sup>。

BAVMの安全な塞栓にはマイクロカテーテルをナイダス直前まで誘導する必要があるが、その血管構築と塞栓物質により、ガイドワイヤー誘導型または血流誘導型が選択される。ガイドワイヤー誘導型は選択性に優れるが、やや到達性に劣る場合がある。血流誘導型は細く柔軟なため到達性に優れ、血流の多い流入動脈ではナイダス直前まで容易に到達可能であり<sup>14)</sup>、液体塞栓物質による塞栓術では好まれる傾向があるが、血管の選択性に劣り、使用可能な塞栓物質に制限がある。いずれにせよ、BAVMの塞栓術では通常の脳血管内治療に比べより遠位にマイクロカテーテルを誘導することが多く、血管損傷、攣縮、抜去困難などに注意を要する。

### <#3-3>塞栓物質とその注入

BAVMの塞栓術には、固体塞栓物質であるPVA particleおよびコイル、液体塞栓物質であるNBCAが用いられることが多い。PVA particleは再開通する可能性が高く<sup>30,40)</sup>、開頭摘出術前塞栓術には使用できるが、定位的放射線治療前塞栓術には不向きである。コイルはHigh flow fistulaの閉塞や流入動脈上の動脈瘤の閉塞に用いる。流入動脈やナイダスの永続的な閉塞にはNBCAやOnyxのような液体塞栓物質が必要である。NBCAは術前塞栓術用の塞栓物質としてPVA particleとのランダム化比較試験の結果、同等の効果と安全性が証明された<sup>41)</sup>。液体塞栓物質は、到達性に優れた血流誘導型カテーテルや、きわめて細径のガイドワイヤー誘導型カテーテルが使用できるため、末梢にあるBAVMでも安全に閉塞できる可能性が高いが、流出静脈を閉塞し出血を招く危険性があることに注意を要する。

現在最もよく利用される液体塞栓物質はNBCAである。マイナスイオンと接触することにより直ちに重合し、固体化し接着する。重合時間の調節とX線による視認性を得るため、油性造影剤であるリピオドールと混合し使用する。NBCAの割合が多いほど重合時間は短くなり、静脈への逸脱の可能性は低くなるが、近位血管閉塞とカテーテルの接着の可能性が高くなり、視認性も悪くなる。NBCAの割合が減ると重合時間が長くなり、カテーテルの接着の危険性が減り、ナイダスを閉塞できる可能性が高くなるが、静脈への逸脱の可能性が高くなる。実際は20から66%程度の濃度で使用されることが多い。

Onyx<sup>®</sup>は高分子化合物 (ethylene vinyl alcohol copolymer) を有機溶媒 (DMSO) に溶解した液体塞栓物質で、血管内に注入するとDMSOが拡散し高分子化合物が析出する。Onyx<sup>®</sup>のメリットは、接着性が低いため1本の流入動脈からゆっくり注入することによりナイダスの大きな部分を閉塞できること、治療中に血管造影を施行できるためナイダスの閉塞の程度と流出静脈の状態を確認できることなどである。問題点は、溶媒であるDMSOは基本的に血管毒性がありDMSOの注入量と時間をモニターする必要があること、DMSO compatible catheterしか使用できないこと、Onyx<sup>®</sup>には接着性はないがカテーテル先端付近での逆流が強いと抜去困難となることなどである<sup>15,42)</sup>。本邦では外科的摘出前の塞栓物質として承認された。

### <#4-1>術後管理

術中にヘパリン化した場合、術後はそれを中和することが多い。しかし流出静脈が停滞している場合、ヘパリンを中和しなかったり、持続投与することがある<sup>15)</sup>。術後は出血を予防するために血圧をモニターする必要がある。High flow fistulaの閉塞やナイダスの多くの部分を閉塞した場合や、静脈を閉塞した場合には十分な注意が必要で、収縮期血圧を90mmHgから120mmHgに低下させることを推奨する報告もある<sup>15)</sup>。また鎮静や全身麻酔の継続が有用な場合もある。その場合治療後早期にCTで出血の有無を確認すべきである<sup>15)</sup>。

### <#5>合併症

BAVMの塞栓術に伴う合併症の主なものは、正常脳血管の閉塞による脳梗塞と出血である。脳梗塞の予防には、カテーテルをナイダス直前まで進め、正常血管が造影されないことを確認し、塞栓物質を逆流させることなく注入する必要がある。ナイダスだけに血流を送る流入動脈からの塞栓は比較的安全であり、二次的に発達したleptomeningeal feederや正常脳への血流があるいわゆるen passage feederからの塞栓では脳梗塞を誘発する危険が高い。出血の予防には、塞栓物質を流出静脈へ逸脱させないことと、それを認めた場

合、術後の血圧管理と早期の外科的摘出が必要である。BAVM塞栓術では、マイクロカテーテルやその他の原因により出血性合併症が生じるため、一般的に塞栓術後のMorbidityとMortalityは併せて10%程度であると報告されている<sup>12,18,26,43,44,45</sup>。

## ◆ JR-NETの集積 DATA 解析結果

424件のBAVM塞栓術が登録された。出血発症は249（うち出血当日治療は16，1から7日が37，それ以降が196）で，非出血症候性は75，非出血無症候は57であった。出血例の慢性期治療が多かった。

サイズは3 cm以内137，3-6 cm196，6 cm以上27で，6 cm以上の大型BAVMに対する塞栓術は積極的に施行されていない。動脈瘤の合併は82（19%）で，流入動脈上が41で最も多く，ナイダス内21，無関係16，その他3であった。Eloquent areaにあったものは244で，Eloquent areaではなかったものは134であり，Eloquent areaのBAVMに対しても積極的に塞栓術が施行されていた。

Spetzler gradeはIが36，IIが100，IIIが112，IVが89，Vが15であった。治療戦略は，根治治療が46，部分塞栓が54，開頭摘出前が160，定位放射線治療前が112であった。開頭摘出前では，Spetzler gradeがIは16，IIは57，IIIは46，IVが33であった。治療回数は1回が257，2回が71，3回以上が53であった。塞栓物質としては，液体塞栓物質が310，コイル60，粒状塞栓物質が6であった。マイクロカテーテルは血流誘導型が261，ガイドワイヤー誘導型が90であった。血流誘導型マイクロカテーテルと液体塞栓物質が多く使用されており，そのほとんどはNBCAであった。

麻酔は全身麻酔が109であった。誘発試験を行ったものは116，行わなかったものは265であった。誘発試験の薬剤は，キシロカイン20，バルビタール38，併用が51であった。治療血管数は1本が2，2本が126，3本が153，4本が64，5本以上が36であり，1回の治療では平均3本が塞栓されていた。

治療結果は100%閉塞が44，80-100%が78，50-80%が107，50%未満が149であった。完全閉塞も10%に認められるが，33%は50%未満の閉塞であった。

合併症は32で7.5%に認められた。その内容は，破裂が7，血管穿孔が4，塞栓症が7，正常血管閉塞が4で，出血性のものと虚血性のものが同程度認められた。

本邦でのBAVMに対する塞栓術は，出血で発症した中型のものに，摘出前あるいは定位放射線治療前の処置として施行されることが多い。治療は局所麻酔で，血流誘導型カテーテルとNBCAを用い，誘発試験を施行せず，1回の治療で3本程度の血管を閉塞することが多い。その結果10%で完全閉塞が得られるが，7.5%で出血性あるいは虚血性合併症を生じる。

### ● 文 献

- 1) Graf CJ, Perrett GE, Torner JC: Bleeding from cerebral arteriovenous malformations as part of their natural history. J Neurosurg 58:331-337, 1983.
- 2) Crawford PM, West CR, Chadwick DW, et al: Arteriovenous malformations of the brain. Natural history in unoperated patients. J Neurol Neurosurg Psychiatry 49:1-10, 1986.
- 3) Brown RD Jr, Wiebers DO, Forbes GS: Unruptured intracranial aneurysms and arteriovenous

- malformations: frequency of intracranial hemorrhage and relationship of lesions. *J Neurosurg* 73:859- 63, 1990.
- 4) Ondra SL, Troupp H, George ED, et al: The natural history of symptomatic arteriovenous malformations of the brain: a 24-year follow-up assessment. *J Neurosurg* 73:387-391, 1990.
  - 5) Mast H, Young WL, Koennecke HC, et al: Risk of spontaneous hemorrhage after diagnosis of cerebral arteriovenous malformation. *Lancet* 350:1065-1068, 1997.
  - 6) Stapf C, Mast H, Sciacca RR, et al: Predictors of hemorrhage in patients with untreated brain arteriovenous malformation. *Neurology* 66:1350-1355, 2006.
  - 7) Kondziolka D, McLaughlin MR, Kestle JR: Simple risk predictions for arteriovenous malformation hemorrhage. *Neurosurgery* 37:851-855, 1995.
  - 8) Itoyama Y, Uemura S, Ushio Y, et al: Natural course of unoperated arteriovenous malformations: Study of 50 cases. *J Neurosurg* 71:805-809, 1989.
  - 9) Jane JA, Kassell NF, Torner JC, et al: The natural history of aneurysms and arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 62:321-323, 1985.
  - 10) ApSimon HT, Reef H, Phadke RV, et al: A population-based study of brain arteriovenous malformation: longterm treatment outcomes. *Stroke* 33:2794-2800, 2002.
  - 11) Choi JH, Mast H, Sciacca RR, et al: Clinical outcome after first and recurrent hemorrhage in patients with untreated brain arteriovenous malformation. *Stroke* 37:1243-1247, 2006.
  - 12) Friedlander RM: Arteriovenous malformation of the brain. *N Engl J Med* 356:2704-2712, 2007.
  - 13) Miyamoto S, Hashimoto N, Nagata I, et al: Posttreatment sequelae of palliatively treated cerebral arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 46:589-594, 2000.
  - 14) Ogilvy CS, Stieg PE, Awad I et al: Recommendation 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.
  - 15) Fiorella D, Albuquerque FC, Woo HH, et al: The role of neuroendovascular therapy for the treatment of brain arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 59(5 Supple 3):163-177, 2006.
  - 16) Flickinger JC, Kondziolka D, Lunsford LD, et al: Development of a model to predict permanent symptomatic postradiosurgery injury for arteriovenous malformation patients. Arteriovenous Malformation Radiosurgery Study Group. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 46:1143-1148, 2000.
  - 17) Henkes H, Nasher HC, Berg-Dammer E, et al: Endovascular therapy of brain AVMs prior to radiosurgery. *Neurol Res* 20:479-492, 1998.
  - 18) Gobin YP, Laurent A, Merienne L, et al: Treatment of brain arteriovenous malformations by embolization and radiosurgery. *J Neurosurg* 85:19-28, 1996.
  - 19) Andrade-Souza YM, Ramani M, Scora D, et al: Embolization before radiosurgery reduces the obliteration rate of arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 60:443-451, 2007.
  - 20) Flickinger JC, Kondziolka D, Maitz AH, et al: Embolization before radiosurgery reduces the obliteration rate of arteriovenous malformations. *Radiother Oncol* 63:347-354, 2002.
  - 21) Wikholm G: Occlusion of cerebral arteriovenous malformations with N-butyl cyano-acrylate is permanent. *AJNR* 16:479-482, 1995.
  - 22) Vinuela F, Duckwiler G, Guglielmi G: Contribution of interventional neuroradiology in the therapeutic management of brain arteriovenous malformations. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 4:268-271, 1997.
  - 23) Fournier D, TerBrugge KG, Willinsky R, et al: Endovascular treatment of intracerebral arteriovenous malformations: Experience in 49 cases. *J Neurosurg* 75:228-233, 1991.
  - 24) Soderman M, Andersson T, Karlsson B, et al: Management of patients with brain

- arteriovenous malformations. *Eur J Radiol* 46:195-205, 2003.
- 25) Vinuela F, Dion JE, Duckwiler G et al: Combined endovascular embolization and surgery in the management of cerebral arteriovenous malformations: experience with 101 cases. *J Neurosurg* 75:856-864, 1991.
  - 26) Weber W, Kis B, Siekmann R, et al: Endovascular treatment of intracranial arteriovenous malformations with onyx: technical aspects. *AJNR* 28:371-377, 2007.
  - 27) Mounayer C, Hammami N, Piotin M, et al: Nidal embolization of brain arteriovenous malformations using Onyx in 94 patients. *AJNR* 28:518-523, 2007.
  - 28) Jafar JJ, Davis AJ, Berenstein A, et al: The effect of embolization with N-butyl cyanoacrylate prior to surgical resection of cerebral arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 78:60-69, 1993.
  - 29) Pollack BE, Kondziolka D, Lunsford LD, et al: Repeat stereotactic radiosurgery of arteriovenous malformations: factors associated incomplete obliteration. *Neurosurgery* 38:318-324, 1996.
  - 30) Mathis JA, Barr JD, Horton JA, et al: The efficacy of particulate embolization combined with stereotactic radiosurgery for treatment of large arteriovenous malformations of the brain. *AJNR* 16:299-306, 1995.
  - 31) Andrade-Souza YM, Ramani M, Scora D, et al: Embolization before radiosurgery reduces the obliteration rate of arteriovenous malformations. *Neurosurgery* 60:443-451, 2007.
  - 32) Meisel HJ, Mansmann U, Alvarez H, et al: Effect of partial targeted N-butyl-cyano-acrylate embolization in brain AVM. *Acta Neurochir (Wien)* 144:879-887, 2002.
  - 33) Meisel HJ, Mansmann U, Alvarez H, et al: Cerebral arteriovenous malformations and associated aneurysms: analysis of 305 cases from a series of 662 patients. *Neurosurgery* 46:793-800, 2000.
  - 34) Brown RD Jr, Wiebers DO, Forbes GS: Unruptured intracranial aneurysms and arteriovenous malformations: Frequency of intracranial hemorrhage and relationship of lesions. *J Neurosurg* 73:859-863, 1990.
  - 35) Manninen PH, Gignac EM, Gelb AW, et al: Anesthesia for interventional neuroradiology. *J Clin Anesth* 7:448-452, 1995.
  - 36) Han MH, Chang KH, Han DH, et al: Preembolization functional evaluation in supratentorial cerebral arteriovenous malformations with superselective intraarterial injection of thiopental sodium solution. *Acta Radiol* 35:212-216, 1994.
  - 37) Rauch RA, Vinuela F, Dion J, et al: Preembolization functional evaluation in brain arteriovenous malformations: the superselective Amytal test. *AJNR* 13:303-308, 1992.
  - 38) Sadato A, Taki W, Nakahara I, et al: Improved provocative test for the embolization of arteriovenous malformations – technical note. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 34:187-190, 1994.
  - 39) Neuroprotective role of neurophysiological monitoring during endovascular procedures in the brain and spinal cord. *Neurophysiol Clin* 37:415-421, 2007
  - 40) Sorimachi T, Koike T, Takeuchi S, et al: Embolization of cerebral arteriovenous malformations achieved with polyvinyl alcohol particles: Angiographic reappearance and complications. *AJNR* 20:1323-1328, 1999
  - 41) The n-BCA Trial Investigators: N-Butyl Cyanoacrylate Embolization of Cerebral Arteriovenous Malformations: Results of a Prospective, Randomized, Multi-center Trial. *AJNR* 23:748-755, 2002.
  - 42) Linfante I, Wakhloo AJ: Brain aneurysms and arteriovenous malformations: advancements and emerging treatments in endovascular embolization. *Stroke* 38:1411-1417, 2007.
  - 43) Vinuela F, Dion JE, Duckwiler GR, et al: Combined endovascular embolization and surgery in

- the management of cerebral arteriovenous malformations. Experience with 101 cases. J Neurosurg 75:856-864, 1991.
- 44) Debrun GM, Aletich V, Ausman JI, et al: Embolization of nidus of brain arteriovenous malformations with n-butylcyanoacrylate. Neurosurgery 40:112-121, 1997.
  - 45) Taylor CL, Dutton K, Rappard G, et al: Complications of preoperative embolization of cerebral arteriovenous malformations. J Neurosurg 100:810-812, 2004.

(担当：松丸祐司，宮地 茂)