

3. 脳動脈瘤

◆推 奨

1. 適応

破裂脳動脈瘤は、再出血を防ぐために（#1-1）、未破裂脳動脈瘤は、出血の予防と症候の改善又は進展防止を目的として（#1-2）治療を行う。（グレードC）
アクセスが可能で（#1-3）、Working projectionが得られ（#1-3）、カテーテルの誘導が容易で（#1-4）、大きさが3mmから10mm程度、ドーム径に比しネック径が小さな動脈瘤は瘤内塞栓術に向き（#1-5）、破裂急性期例ではまず考慮してよい（#1-6）。（グレードB）

また、開頭クリッピングが困難な後頭蓋窩や内頸動脈傍鞍部の動脈瘤、高齢者、全身疾患合併例、破裂例における重症者や脳血管攣縮合併例でも血管内治療が考慮される（#1-7）。（グレードC）

瘤内塞栓術が困難な場合には、母血管閉塞術を考慮する（#1-8）。（グレードC）

2. 術前検査

血管内治療の術前には、合併する脳病変、全身の評価を行う（#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（#3-1）、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（#3-2）。

治療にあたっては、適切な麻酔と生体モニター下に、経皮的にガイディングシステムを挿入し、適切なワーキングアングルを確保した上で、マイクロカテーテルと離脱型コイル、必要に応じてバルーンなどの支援機器を使用し脳動脈瘤を塞栓する（#3-3）。（グレードC）

4. 術後管理と経過観察

破裂脳動脈瘤では、水頭症、血管攣縮および全身合併症なども膜下出血に続発する病態に適切に対処する（#4-1）。脳動脈瘤塞栓術後は、画像診断による経過観察が必要で（#4-2）、再開通を確認した場合は必要な措置を講じる（#4-3）。（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

<#1-1>

破裂脳動脈瘤を保存的に治療すると最初の1ヵ月で20～30%が再出血し転帰を悪化させ

るため、再出血の予防は極めて重要である¹⁾。再出血予防処置としては開頭による外科的治療と開頭を要しない血管内治療（塞栓術）があり、これらにより脳動脈瘤の再出血を防ぐ必要がある^{2,3,4)}。

<#1-2>

未破裂脳動脈瘤塞栓術における根治的予防効果は明らかではないが⁵⁾、いくつかの中長期の結果報告があり^{6,7)}、またmass effectを呈したものに対する一定の効果を示す報告も見られる⁸⁾。

<#1-3>

Working projectionとは、動脈瘤のネックと母血管との境界が明瞭になる透視（撮影）角度のことである。コイルの母血管への逸脱に伴う虚血性合併症を防ぐために重要である。脳動脈瘤のprojectionの方向によっては、working projectionの確保が実質的に困難なことがある。

<#1-4>

過去に塞栓術が困難な症例の検討において、コイル塞栓術が不成功に終わった症例の約半数がマイクロカテーテルの瘤内留置が困難であったものであり、その半数以上が前交通動脈瘤であったと報告されている⁹⁾。

<#1-5>

離脱型コイルの最小径は2 mmであり、2,350件のメタアナリシスでは、コイル塞栓術中の出血性合併症は2.5%、その関連する因子としてsmall aneurysmという報告がある¹⁰⁾。

動脈瘤が小さい（15 mm以下）、neck径が小さい（4 mm以下）、Dome/Neck ratioが2以上では、瘤内塞栓に適している¹¹⁻¹⁴⁾。逆に、頸部の広い動脈瘤や大型および巨大脳動脈瘤では不完全閉塞や再開通率が高く、血管内治療には不向きであるとされており、保存的治療および外科的治療との比較の中で治療法を決定する¹³⁻¹⁷⁾。

<#1-6>

開頭clippingと血管内coilingを比較した欧州を中心とした大規模試験では、clippingとcoilingのいずれも可能とされた破裂脳動脈瘤患者における治療後1年の転帰はcoiling群で有意に良好であった（Ib）^{2,3)}。また、外科的治療・血管内治療の選択に関するメタアナリシスでも、治療1年後の転帰が血管内治療群で有意に良好であったという結果が得られた（Ia）¹⁸⁾。したがって血管内治療が可能と判断された場合には、再出血予防処置として血管内治療を考慮する必要がある。

しかし、治療した動脈瘤の長期再出血率は血管内治療群でやや高いことや、術中の再出血が約4%に見られ、再出血例での死亡もしくは有障害率が38%だったとの報告¹¹⁾、あるいは両者の短期治療成績には差がないとの報告¹⁹⁻²¹⁾、動脈瘤の形態によって治療法を選択すべきとの報告もあり²²⁾、治療法の選択には両治療の利点欠点を考慮して個別に判断する必要がある。

なお、治療後再出血に関する近年の報告（The Cerebral Aneurysm Rupture After Treatment study：CARAT study）では、血管内治療群のほうが再治療必要例が多いものの、治療1年後までの再出血率に有意差は認められなかった⁴⁾。

<#1-7>

一般的に、脳底動脈などの後方循環^{11,23-29)}や前床突起近傍³⁰⁾の内頸動脈に生じた瘤に対する瘤内塞栓術は、外科治療と同等以上の治療成績が得られると報告されてい

る^{23-27,29,31-35)}。その他の部位の外科的治療と血管内治療の適応は、個々の症例毎に十分に検討した上で選択する必要がある³⁶⁻³⁹⁾。また、1回の治療で複数の動脈瘤を治療できるため、多発性動脈瘤患者で有利なことがある⁴⁰⁾。

手術あるいは全身麻酔のリスクが高い全身疾患合併例や高齢者では血管内治療を考慮する^{23,41-43)}。

くも膜下出血の重症度は治療方針の決定に重要であり、一般的な重症度分類として Hunt and Hessの分類、Hunt and Kosnikの分類および世界脳神経外科学会連合(WFNS)による分類がある。ISAT報告以後、Grade I-IIIの中等症でも血管内治療により根治的治療が可能と判断できる症例では、血管内治療を考慮する必要がある¹⁾。比較的重症例(Grade IV)では、外科的治療より低侵襲である利点を考慮し、積極的に血管内治療を考慮する。ただし合併する頭蓋内病態(急性水頭症、脳内血腫など)を同時に治療することにより状態の改善が見込める場合には外科的治療が選択されることが多い²⁰⁾。最重症例(Grade V)でも、脳幹反射が保たれ全身状態が安定しているものについては、外科的治療より低侵襲である利点を考慮し血管内治療を考慮してもよい。脳内血腫や急性水頭症などの病態を合併する場合は、外科的治療を併用することが必要である⁴⁴⁾。重症例(Grade IV, V)では急性期の再出血が軽症例より明らかに多いことから、急性期の再出血予防のため根治的治療を勧める報告がある⁴⁵⁾。

血管内治療では、血管攣縮の時期であっても経皮的血管形成術や血管拡張術(動注)を行うことにより、塞栓術が可能という報告があり⁴⁶⁻⁴⁸⁾、早期治療が可能な場合は実施することが望ましい。

<#1-8>母血管閉塞

瘤内塞栓術が困難な場合には親動脈近位部閉塞術や瘤ごと母血管を閉塞するinternal trappingを行うことがある。大きな内頸動脈瘤や椎骨動脈瘤、解離性動脈瘤などが対象となる⁴⁹⁻⁵⁴⁾。閉塞術に先立って、親動脈閉塞試験を行い、神経症候、脳波、聴覚誘発電位、体性感覚誘発電位、脳血流測定、副血行の確認などを評価して虚血耐性を確認する。耐性があると判断された場合、コイルや離脱式バルーンを用いて親動脈の閉塞を行う⁴⁹⁾。ただし、閉塞試験を経ずにバイパスを行って母血管閉塞を行うこともあり、また破裂急性期には耐性の有無を正確に判断することが難しい場合も多い。親動脈閉塞試験で虚血所見・症状が見られた場合には、あらかじめバイパス術による側副血行路作成を検討する⁵⁰⁾。

<#2>

脳動静脈奇形⁵⁴⁾、モヤモヤ病⁵⁵⁾などの合併脳血管疾患や、その他の脳病変を治療前に確認された場合は、脳動脈瘤に対する血管内治療の適応や治療戦略に影響する場合がある。

<#3-1>

塞栓術に起因する頭蓋内合併症への対応のために、開頭手術が実施可能な施設で行う必要がある。

<#3-2>

回転血管撮影に基づく三次元画像診断機能を有する高機能血管撮影装置は脳動脈瘤塞栓術に有用である^{56,57)}。

<#3-3>

麻酔：脳動脈瘤塞栓術は全身麻酔下に行われることが多いが、局所麻酔下に行っても問題ないという報告もあり⁵⁸⁾、症例と環境に応じて個別に判断する。

抗凝固療法：エビデンスに基づいたデータはないが、これまでの脳血管内治療のガイドラインで抗凝固療法の必要性が記述されており^{59,60}、多くの施設では術中にヘパリンを用いた抗凝固療法下に塞栓術が行われている。ただし、破裂急性期の脳動脈瘤塞栓術では、ガイディングカテーテルの持続灌流だけを行う場合や、ヘパリン投与をコイル留置後に行う場合がある。

抗血小板薬：抗血小板薬の投与により、出血性合併症の危険がやや増加するが、それを上回る虚血性合併症の減少が得られ、有用という報告がある⁶¹。

内頸動脈（総頸動脈）、椎骨動脈にガイディングシステムを誘導留置し、適切なワーキングアングルを確保した後⁶²、脳動脈瘤の径と形状に合わせて適切な離脱型コイルを選択し、できるだけタイトに塞栓する⁶³。Wide neck aneurysmではballoon remodeling techniqueがコイルの母血管への逸脱を防ぎ十分な塞栓効果を得るのに有効である^{64,65}。虚血性合併症が増加するとの報告もあり注意が必要であるが^{66,67}、balloon使用による合併症は見られないとする報告も多い^{66,68}。本邦では未承認であるが、脳動脈瘤塞栓術支援用ステントが開発され臨床応用が開始されている⁶⁹。機器の開発や手技の改良の変化が著しく、標準的手技に関してエビデンスに基づいた記述は見られない。

<#4-1>

水頭症に対しては必要に応じて髄液ドレナージを行う。抗凝固・抗血小板薬投与時には出血性合併症の発生に注意が必要である⁷⁰。

◆脳血管攣縮に対する処置

血管内治療では開頭手術に比べ脳血管攣縮および脳梗塞の発生頻度が少ないという報告があるが、差はないという報告もある⁷¹⁻⁷⁴。脳血管攣縮に対する脳血管内治療として、血管拡張薬の選択的動注療法と経皮的血管形成術(PTA)がある。血管拡張薬の動注療法は、攣縮血管の拡張に有効であるが⁷⁵、効果時間が短いため、繰り返す必要があることが指摘されている^{76,77}。薬剤としては、塩酸パパペリンが使用されてきたが、最近ではミルリノンや塩酸ファスジルによる動注療法が有効であるとの報告がある^{78,79}。副作用として、一過性の脳神経麻痺、意識障害、脳圧亢進、けいれんなどの報告があるので慎重に投与する。PTAは、バルーンカテーテルを使用して機械的に攣縮血管を拡張することから、薬剤動注療法と比較して、より効果的かつ持続的であるが、PTA手技には動注療法よりも熟練を要し、血管破裂等の重篤な合併症などの問題もあるため、注意して行う必要がある⁸⁰。

<#4-2>

脳動脈瘤塞栓術の塞栓状態は、血管撮影、MRI/MRA、単純X線撮影で評価する。脳血管撮影所見により、一般的にComplete Obliteration (Complete Occlusion : CO), Residual Neck (Neck Remnant : NR), Residual Aneurysm (Dome Filling : DF) に分類する⁷。CO, NRを得ても術後時間の経過とともに、再開通や再増大、時に血栓化などの変化が起こり得るので定期的な画像診断による追跡が必要である^{2,40,81-83}。なお3年程度で安定した閉塞状態になるという報告があるが⁶、長期にわたる詳細な治療結果は未だ不明である。追跡には、単純X線撮影やMRI/MRA⁸⁵なども用いられているが、標準的な画像診断法は確立されていない^{81,82,87}。Neckの広いもの、10mm以上の動脈瘤、不完全閉塞などが再開通に関与する因子とされており注意を要する^{39,81,87}。一般的に、治療後6ヵ月以内に初回

の画像検査による追跡を行うが、破裂動脈瘤では早期の再出血の報告もあり^{2,4)}、より早い段階で追跡を実施する場合がある。その後の追跡間隔、追跡期間に関する標準的な基準は確立されていない^{83,88)}。

<#4-3>

再発を認めた場合には、必要に応じて血管内治療と外科治療を含め再治療が行われる。治療法の選択は個々の症例で慎重に判断する^{2,89-91)}。

<#5>合併症：種類、頻度、対策など

#5-1：穿孔，穿孔部に関連した合併症

止血不全，血腫形成，動静脈瘻，仮性動脈瘤，感染，止血デバイスに関する事故

#5-2：術中破裂

脳動脈瘤塞栓術では塞栓術中の破裂に最も注意すべきである^{92,93)}。術中破裂は破裂動脈瘤の方が未破裂脳動脈瘤より有意に多く、重篤になる可能性が高い⁹⁴⁾。術中破裂時には、バルーンを併用していれば、バルーンによる止血を行い、またヘパリンの中和や降圧をはかる。穿通した場合は慎重に対応し、瘤内の塞栓を続行するか、母血管閉塞を行うか、緊急開頭術を行うなど適切な処置をとる。

#5-3：血栓塞栓症

他の脳血管内治療と同様、脳動脈瘤塞栓術においても血栓塞栓症の発生には注意を要する。特に、破裂急性期の塞栓術では、塞栓症が生じやすく、過剰な血栓化により親動脈閉塞に至ったという報告もある⁴⁾。塞栓症の合併時にウロキナーゼや組織プラスミノゲンアクチベーターの投与などが欧米などから報告されているが、破裂急性期においては、安易な線溶療法は動脈瘤の再破裂につながるため慎重な姿勢が必要である^{2,95-97)}。

#5-4：分枝閉塞

瘤内塞栓術に際して、動脈瘤または近傍から起始する分枝が閉塞することがあり注意を要する。

#5-5：コイルアンラベル，コイル迷入

現在用いられている離脱型コイルでは、無理な伸張によりコイルがアンラベルすることが知られており、注意を要する。また母血管に逸脱したコイルの迷入も生じうる。グースネックスネアによる回収を試みる場合、抗血栓療法の強化で対処する場合などがある。

#5-6：アクセスルートトラブル（解離，攣縮など），その他，血管内治療に起因する一般的合併症にも注意を要する。

◆ JR-NET の集積 DATA 解析結果

4,145件の脳動脈瘤塞栓術が登録され、これはJR-NETに登録された治療11,114件の37.3%に相当し、解離性動脈瘤塞栓術326件と合わせると40.3%に達する。技術的成功は3,951 (95.3%)、合併症は出血性118 (2.8%)、虚血性223 (5.4%)、穿孔部合併症とその他を合わせて389 (9.4%)で、出血性合併症に関連する死亡20 (0.48%)、重度障害17 (0.41%)、軽度障害5 (0.12%)、虚血性合併症に関連する死亡5 (0.12%)、重度障害34 (0.82%)、軽度障害52 (1.25%)であった。

詳細情報は約3,710件に登録された。治療は破裂急性期に1,558 (42.0%)、破裂慢性期に156 (4.2%)が行われ、症候性未破裂202 (5.5%)、無症候性未破裂脳動脈瘤塞栓術は1,786

(44.9%)であった。破裂例のWFNS SAH GradeはI-20.1%, II-30.1%, III-16.0%, IV-18.3%, V-14.0%, 治療日は破裂当日48.9%, 翌日 (Day1) 27.5%, Day2 7.5%とDay0-2に84%が行われている。血管攣縮は一過性の症候9.0%, 永続性症候7.8%である。

脳動脈瘤の部位はICA 45.3%, ACA 21.6%, BA 16.9%, MCA 6.7%だが、破裂ではICA-Pcomが26.0%, Acomが24.8%, 未破裂ではICA paraclinoidが26.4%, ICA-Pcom 15.3%, Acom 12.0%, BA-tip 11.0%となっている。麻酔は破裂例では80.3%が全身麻酔であるのに対し、未破裂では局所麻酔33.7%, 局所麻酔+鎮静が5.1%であった。治療戦略は、破裂例はシンプルテクニックが81.4%, バルーンアシストが12.3%, ダブルカテーテルが2.7%であるのに対し、未破裂例ではシンプルテクニックが52.7%, バルーンアシストが35.5%, ダブルカテーテルが3.8%, バルーンアシスト+ダブルカテーテルが1.3%, ステントアシストが0.9%であった。治療環境はsingle planeで47.4%, bi-planeで52.6%が行われ、回転撮影は31.1%で行われている。

術中のヘパリン投与は、未破裂ではシース留置後に92.1%が実施されているが、破裂例では58.3%に留まり、マイクロカテーテル誘導後6.5%, コイル留置後25.4%であった。また術前の抗血小板療法は、破裂例では95.6%が実施していないのに比較して、未破裂では28.9%のみ実施せず、アスピリン単独39.6%, アスピリン+チクロピジン12.7%, アスピリン+シロスタゾール8.7%と続く。術前の抗血小板薬は単剤が46.2%, 2剤が24.0%, 3剤が0.1%である。一方、術後の抗血栓療法は、破裂例では、43.9%が施行されていないのに対し、未破裂例では非実施は16.0%に留まる。破裂例ではヘパリン13.6%, アルガトロバン19.0%, オザグレール17.0%となっており、抗血小板薬はアスピリン37.2%, チクロピジン4.1%, シロスタゾール5.3%, 2剤または3剤投与は1.8%しかない。それに対して、未破裂例ではヘパリン48.1%, アルガトロバン36.2%, オザグレール6.0%となっており、抗血小板薬はアスピリン70.8%, チクロピジン18.6%, シロスタゾール18.2%, 2剤投与28.0%, 3剤投与4.7%である。合併症は破裂では脳動脈瘤破裂が5.0%に、塞栓症3.9%, 分枝閉塞2.4%と続く。未破裂では脳動脈瘤破裂1.2%, 塞栓症3.2%, 分枝閉塞1.0%であった。破裂例の術後再出血は2.7%, 再開通は0.5%で、再治療はコイル塞栓術0.8%, 開頭clipping 1.0%, 未破裂例では出血は0.5%, 再開通0.1%, 再治療はそれぞれ0.2%であった。

●文 献

- 1) Mayberg MR, Batjer HH, Dacey R, et al: Guidelines for the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage. A statement for healthcare professionals from a special writing group of the Stroke Council, American Heart Association. *Stroke* 25:2315-2328, 1994.
- 2) Molyneux A, Kerr R, Stratton I, et al: International Subarachnoid Aneurysm Trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised trial. *Lancet* 360:1267-1274, 2002.
- 3) Molyneux AJ, Kerr RS, Yu LM, et al: International subarachnoid aneurysm trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomised comparison of effects on survival, dependency, seizures, rebleeding, subgroups, and aneurysm occlusion. *Lancet* 366:809-817, 2005.
- 4) Johnston SC, Dowd CF, Higashida RT, et al: Predictors of rehemorrhage after treatment of ruptured intracranial aneurysms: the Cerebral Aneurysm Rerupture After Treatment (CARAT) study. *Stroke* 39:120-125, 2008.
- 5) Raymond J, Meder JF, Molyneux AJ, et al: Trial on endovascular treatment of unruptured

- aneurysms (TEAM): study monitoring and rationale for trial interruption or continuation. *J Neuroradiol* 34:33-41, 2007.
- 6) Ng P, Khangure MS, Phatouros CC, et al: Endovascular treatment of intracranial aneurysms with Guglielmi detachable coils: analysis of midterm angiographic and clinical outcomes. *Stroke* 33:210-217, 2002.
 - 7) Roy D, Milot G, Raymond J: Endovascular treatment of unruptured aneurysms. *Stroke* 32:1998-2004, 2001.
 - 8) Malisch TW, Guglielmi G, Vinuela F, et al: Unruptured aneurysms presenting with mass effect symptoms: response to endosaccular treatment with Guglielmi detachable coils. Part I. Symptoms of cranial nerve dysfunction. *J Neurosurg* 89:956-961, 1998.
 - 9) Shanno GB, Armonda RA, Benitez RP, et al: Assessment of acutely unsuccessful attempts at detachable coiling in intracranial aneurysms. *Neurosurgery* 48:1066-1072, 2001.
 - 10) Sluzewski M, Bosch JA, van Rooij WJ, et al: Rupture of intracranial aneurysms during treatment with Guglielmi detachable coils: incidence, outcome, and risk factors. *J Neurosurg* 94:238-240, 2001.
 - 11) Vinuela F, Duckwiler G, Mawad M: Guglielmi detachable coil embolization of acute intracranial aneurysm: perioperative anatomical and clinical outcome in 403 patients. *J Neurosurg* 86:475-482, 1997.
 - 12) Debrun GM, Aletich VA, Kehrli P, et al: Selection of cerebral aneurysms for treatment using Guglielmi detachable coils: the preliminary University of Illinois at Chicago experience. *Neurosurgery* 43:1281-1295, 1998.
 - 13) Hayakawa M, Murayama Y, Duckwiler GR, et al: Natural history of the neck remnant of a cerebral aneurysm treated with the Guglielmi detachable coil system. *J Neurosurg* 93:561-568, 2000.
 - 14) Malisch TW, Guglielmi G, Vinuela F, et al: Intracranial aneurysms treated with the Guglielmi detachable coil: midterm clinical results in a consecutive series of 100 patients. *J Neurosurg* 87:176-183, 1997.
 - 15) Miyaoka M, Sato K, Ishii S: A clinical study of the relationship of timing to outcome of surgery for ruptured cerebral aneurysms. A retrospective analysis of 1622 cases. *J Neurosurg* 79:373-378, 1993.
 - 16) Thornton J, Aletich VA, Debrun GM, et al: Endovascular treatment of paraclinoid aneurysms. *Surg Neurol* 54:288-299, 2000.
 - 17) Solander S, Ulhoa A, Vinuela F, et al: Endovascular treatment of multiple intracranial aneurysms by using Guglielmi detachable coils. *J Neurosurg* 90:857-864, 1999.
 - 18) van der Schaaf I, Algra A, Wermer M, et al: Endovascular coiling versus neurosurgical clipping for patients with aneurysmal subarachnoid haemorrhage. *Cochrane Database Syst Rev* 2005(4):CD003085.
 - 19) Klein GE, Szolar DH, Leber KA, et al: Basilar tip aneurysm: endovascular treatment with Guglielmi detachable coils—midterm results. *Radiology* 205:191-196, 1997.
 - 20) Goddard AJ, Raju PP, Gholkar A: Does the method of treatment of acutely ruptured intracranial aneurysms influence the incidence and duration of cerebral vasospasm and clinical outcome? *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 75:868-872, 2004.
 - 21) Lanzino G, Fraser K, Kanaan Y, et al: Treatment of ruptured intracranial aneurysms since the International Subarachnoid Aneurysm Trial: practice utilizing clip ligation and coil embolization as individual or complementary therapies. *J Neurosurg* 104:344-349, 2006.
 - 22) 里字明元 : 【脳血管障害の臨床】 脳血管障害患者の介護 脳血管障害患者の介護. *日本医師会雑誌* 125:S306-S315, 2001.

- 23) Eskridge JM, Song JK: Endovascular embolization of 150 basilar tip aneurysms with Guglielmi detachable coils: results of the Food and Drug Administration multicenter clinical trial. *J Neurosurg* 89:81-86, 1998.
- 24) Bavinzski G, Killer M, Gruber A, et al: Treatment of basilar artery bifurcation aneurysms by using Guglielmi detachable coils: a 6-year experience. *J Neurosurg* 90:843-852, 1999.
- 25) Byrne JV, Molyneux AJ, Brennan RP, et al: Embolisation of recently ruptured intracranial aneurysms. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 59:616-620, 1995.
- 26) Casasco AE, Aymard A, Gobin YP, et al: Selective endovascular treatment of 71 intracranial aneurysms with platinum coils. *J Neurosurg* 79:3-10, 1993.
- 27) Lempert TE, Malek AM, Halbach VV, et al: Endovascular treatment of ruptured posterior circulation cerebral aneurysms. Clinical and angiographic outcomes. *Stroke* 31:100-110, 2000.
- 28) Malisch TW, Guglielmi G, Vinuela F, et al: Intracranial aneurysms treated with the Guglielmi detachable coil: midterm clinical results in a consecutive series of 100 patients. *J Neurosurg* 87:176-183, 1997.
- 29) Nichols DA, Brown RD Jr, Thielen KR, et al: Endovascular treatment of ruptured posterior circulation aneurysms using electrolytically detachable coils. *J Neurosurg* 87:374-380, 1997.
- 30) Thornton J, Aletich VA, Debrun GM, et al: Endovascular treatment of paraclinoid aneurysms. *Surg Neurol* 54:288-299, 2000.
- 31) Klein GE, Szolar DH, Leber KA, et al: Basilar tip aneurysm: endovascular treatment with Guglielmi detachable coils—midterm results. *Radiology* 1997; 205:191-196.
- 32) Pierot L, Boulin A, Castaings L, et al: Selective occlusion of basilar artery aneurysms using controlled detachable coils: report of 35 cases. *Neurosurgery* 38:948-954, 1996.
- 33) Tateshima S, Murayama Y, Gobin YP, et al: Endovascular treatment of basilar tip aneurysms using Guglielmi detachable coils: anatomic and clinical outcomes in 73 patients from a single institution. *Neurosurgery* 47:1332-1339, 2000.
- 34) Lozier AP, Connolly ES Jr, Lavine SD, et al: Guglielmi detachable coil embolization of posterior circulation aneurysms: a systematic review of the literature. *Stroke* 33:2509-2518, 2002.
- 35) Uda K, Murayama Y, Gobin YP, et al: Endovascular treatment of basilar artery trunk aneurysms with Guglielmi detachable coils: clinical experience with 41 aneurysms in 39 patients. *J Neurosurg* 95:624-632, 2001.
- 36) Hope JK, Byrne JV, Molyneux AJ: Factors influencing successful angiographic occlusion of aneurysms treated by coil embolization. *AJNR* 20:391-399, 1999.
- 37) Vanninen R, Koivisto T, Saari T, et al: Ruptured intracranial aneurysms: acute endovascular treatment with electrolytically detachable coils – a prospective randomized study. *Radiology* 211:325-336, 1999.
- 38) Elias T, Ogunbo B, Connolly D, et al: Endovascular treatment of anterior communicating artery aneurysms: results of clinical and radiological outcome in Newcastle. *Br J Neurosurg* 17:278-286, 2003.
- 39) Fontanella M, Perozzo P, Ursone R, et al: Neuropsychological assessment after microsurgical clipping or endovascular treatment for anterior communicating artery aneurysm. *Acta Neurochir (Wien)* 145:867-872, 2003.
- 40) Solander S, Ulhoa A, Vinuela F, et al: Endovascular treatment of multiple intracranial aneurysms by using Guglielmi detachable coils. *J Neurosurg* 90:857-864, 1999.
- 41) Lubicz B, Leclerc X, Gauvrit JY, et al: Endovascular treatment of ruptured intracranial aneurysms in elderly people. *AJNR* 25:592-595, 2004.
- 42) Gruber A, Killer M, Bavinzski G, et al: Clinical and angiographic results of endosaccular

- coiling treatment of giant and very large intracranial aneurysms: a 7-year, single-center experience. *Neurosurgery* 45:793-803, 1999.
- 43) McDougall CG, Halbach VV, Dowd CF, et al: Endovascular treatment of basilar tip aneurysms using electrolytically detachable coils. *J Neurosurg* 84:393-399, 1996.
 - 44) Niemann DB, Wills AD, Maartens NF, et al: Treatment of intracerebral hematomas caused by aneurysm rupture: coil placement followed by clot evacuation. *J Neurosurg* 99:843-847, 2003.
 - 45) Laidlaw JD, Siu KH: Poor-grade aneurysmal subarachnoid hemorrhage: outcome after treatment with urgent surgery. *Neurosurgery* 53:1275-1282, 2003.
 - 46) Kimura T, Shinoda J, Funakoshi T: Prediction of cerebral infarction due to vasospasm following aneurysmal subarachnoid haemorrhage using acetazolamide-activated 123I-IMP SPECT. *Acta Neurochirurgica* 123:125-128, 1993.
 - 47) Weir B, Macdonald RL, Stoodley M: Etiology of cerebral vasospasm. *Acta Neurochirurgica Suppl (Wien)* 72:27-46, 1999.
 - 48) Sen J, Belli A, Albon H, et al: Triple-H therapy in the management of aneurysmal subarachnoid haemorrhage. *Lancet Neurol* 2:614-621, 2003.
 - 49) Graves VB, Perl J 2nd, Strother CM, et al: Endovascular occlusion of the carotid or vertebral artery with temporary proximal flow arrest and microcoils: clinical results. *AJNR* 18:1201-1206, 1997.
 - 50) Hacein-Bey L, Connolly ES Jr, Duong H, et al: Treatment of inoperable carotid aneurysms with endovascular carotid occlusion after extracranial-intracranial bypass surgery. *Neurosurgery* 41:1225-1231, 1997.
 - 51) Kurata A, Ohmomo T, Miyasaka Y, et al: Coil embolization for the treatment of ruptured dissecting vertebral aneurysms. *AJNR* 22:11-18, 2001.
 - 52) Yamaura I, Tani E, Yokota M, et al: Endovascular treatment of ruptured dissecting aneurysms aimed at occlusion of the dissected site by using Guglielmi detachable coils. *J Neurosurg* 90:853-6, 1999.
 - 53) Drake CG, Peerless SJ, Ferguson GG: Hunterian proximal arterial occlusion for giant aneurysms of the carotid circulation. *J Neurosurg* 81:656-665, 1994.
 - 54) Ezura M, Takahashi A, Jokura H, et al: Endovascular treatment of aneurysms associated with cerebral arteriovenous malformations: experiences after the introduction of Guglielmi detachable coils. *J Clin Neurosci* 1:14-18, 2000.
 - 55) Nishio A, Hara M, Otsuka Y, et al: Endovascular treatment of posterior cerebral aneurysm associated with Moyamoya disease. *J Neuroradiol* 31:60-62, 2004.
 - 56) Kiyosue H, Tanoue S, Okahara M, et al: Anatomic features predictive of complete aneurysm occlusion can be determined with three-dimensional digital subtraction angiography. *AJNR* 23:1206-1213, 2002.
 - 57) Missler U, Hundt C, Wiesmann M, et al: Three-dimensional reconstructed rotational digital subtraction angiography in planning treatment of intracranial aneurysms. *Eur Radiol* 10:564-568, 2000.
 - 58) Qureshi AI, Suri MF, Khan J, et al: Endovascular treatment of intracranial aneurysms by using Guglielmi detachable coils in awake patients: safety and feasibility. *J Neurosurg* 94:880-885, 2001.
 - 59) Education ACoGM: Aneurysm endovascular therapy. *AJNR* 22:S4-7, 2001.
 - 60) Qureshi AI, Luft AR, Sharma M, et al: Prevention and treatment of thromboembolic and ischemic complications associated with endovascular procedures: Part II – Clinical aspects and recommendations. *Neurosurgery* 46:1360-1375, 2000.

- 61) Yamada NK, Cross DT 3rd, Pilgram TK, et al: Effect of antiplatelet therapy on thromboembolic complications of elective coil embolization of cerebral aneurysms. *AJNR* 28:1778-1782, 2007.
- 62) Anxionnat R, Bracard S, Macho J, et al: 3D angiography. Clinical interest. First applications in interventional neuroradiology. *J Neuroradiol* 25:251-62, 1998.
- 63) Sluzewski M, van Rooij WJ, Slob MJ, et al: Relation between aneurysm volume, packing, and compaction in 145 cerebral aneurysms treated with coils. *Radiology* 231:653-8, 2004.
- 64) Moret J, Cognard C, Weill A, et al: Reconstruction technic in the treatment of wide-neck intracranial aneurysms. Long-term angiographic and clinical results. Apropos of 56 cases. *J Neuroradiol* 24:30-44, 1997.
- 65) Ross IB, Dhillon GS: Balloon assistance as a routine adjunct to the endovascular treatment of cerebral aneurysms. *Surg Neurol* 66:593-601, 2006.
- 66) Nelson PK, Levy DI: Balloon-assisted coil embolization of wide-necked aneurysms of the internal carotid artery: medium-term angiographic and clinical follow-up in 22 patients. *AJNR* 22:19-26, 2001.
- 67) Soeda A, Sakai N, Murao K, et al: Thromboembolic events associated with Guglielmi detachable coil embolization with use of diffusion-weighted MR imaging. Part II. Detection of the microemboli proximal to cerebral aneurysm. *AJNR* 24:2035-2038, 2003.
- 68) Albayram S, Selcuk H, Kara B, et al: Thromboembolic events associated with balloon-assisted coil embolization: evaluation with diffusion-weighted MR imaging. *AJNR* 25:1768-1777, 2004.
- 69) Lylyk P, Ferrario A, Pasbon B, et al: Buenos Aires experience with the Neuroform self-expanding stent for the treatment of intracranial aneurysms. *J Neurosurg* 102:235-241, 2005.
- 70) Ross IB, Dhillon GS: Ventriculostomy-related cerebral hemorrhages after endovascular aneurysm treatment. *AJNR* 24:1528-1531, 2003.
- 71) Rabinstein AA, Pichelmann MA, Friedman JA, et al: Symptomatic vasospasm and outcomes following aneurysmal subarachnoid hemorrhage: a comparison between surgical repair and endovascular coil occlusion. *J Neurosurg* 98:319-325, 2003.
- 72) Hohlrieder M, Spiegel M, Hinterhoelzl J, et al: Cerebral vasospasm and ischaemic infarction in clipped and coiled intracranial aneurysm patients. *Eur J Neurol* 9:389-399, 2002.
- 73) Dehdashti AR, Mermillod B, Rufenacht DA, et al: Does treatment modality of intracranial ruptured aneurysms influence the incidence of cerebral vasospasm and clinical outcome?. *Cerebrovasc Dis* 17:53-60, 2004.
- 74) Goddard AJ, Raju PP, Gholkar A: Does the method of treatment of acutely ruptured intracranial aneurysms influence the incidence and duration of cerebral vasospasm and clinical outcome?. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 75:868-872, 2004.
- 75) Sawada M, Hashimoto N, Tsukahara T, et al: Effectiveness of intra-arterial infused papaverine solutions of various concentrations for the treatment of cerebral vasospasm. *Acta Neurochirurgica* 139:706-711, 1997.
- 76) Numaguchi Y, Zoarski GH, Clouston JE, et al: Report intra-arterial papaverine for recurrent cerebral vasospasm after subarachnoid haemorrhage. *Neuroradiology* 39:751-759, 1997.
- 77) Vajkoczy P, Horn P, Bauhof C, et al: Effect of intra-arterial papaverine on regional cerebral blood flow in hemodynamically relevant cerebral vasospasm. *Stroke* 32:498-505, 2001.
- 78) Arakawa Y, Kikuta K, Hojo M, et al: Milrinone for the treatment of cerebral vasospasm after subarachnoid hemorrhage: report of seven cases. *Neurosurgery* 48:723-728, 2001.
- 79) Tachibana E, Harada T, Shibuya M, et al: Intra-arterial infusion of Fasudil Hydrochloride for treating vasospasm following subarachnoid hemorrhage. *Acta Neurochirurgica (Wien)*

- 141:13-16, 1999.
- 80) Elliott JP, Newell DW, Lam DJ, et al: Comparison of balloon angioplasty and papaverine infusion for the treatment of vasospasm following aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg* 88:277-284, 1998.
 - 81) Thornton J, Debrun GM, Aletich VA, et al: Follow-up angiography of intracranial aneurysms treated with endovascular placement of Guglielmi detachable coils. *Neurosurgery* 50:239-249, 2002.
 - 82) Cottier JP, Bleuzen-Couthon A, Gallas S, et al: Intracranial aneurysms treated with Guglielmi detachable coils: is contrast material necessary in the follow-up with 3D time-of-flight MR angiography?. *AJNR* 24:1797-1803, 2003.
 - 83) Molyneux AJ, Cekirge S, Saatci I, et al: Cerebral Aneurysm Multicenter European Onyx (CAMEO) trial: results of a prospective observational study in 20 European centers. *AJNR* 25:39-51, 2004.
 - 84) Raabe A, Schmiedek P, Seifert V, et al: German Society of Neurosurgery Section on Vascular Neurosurgery: Position Statement on the International Subarachnoid Hemorrhage Trial (ISAT). *Zentralbl Neurochir* 64:99-103, 2003.
 - 85) Westerlaan HE, van der Vliet AM, Hew JM, et al: Time-of-flight magnetic resonance angiography in the follow-up of intracranial aneurysms treated with Guglielmi detachable coils. *Neuroradiology* 47:622-629, 2005.
 - 86) Cottier JP, Bleuzen-Couthon A, Gallas S, et al: Follow-up of intracranial aneurysms treated with detachable coils: comparison of plain radiographs, 3D time-of-flight MRA and digital subtraction angiography. *Neuroradiology* 45:818-824, 2003.
 - 87) Raymond J, Guilbert F, Weill A, et al: Long-term angiographic recurrences after selective endovascular treatment of aneurysms with detachable coils. *Stroke* 34:1398-1403, 2003.
 - 88) van Rooij WJ, Sprengers ME, Sluzewski M, et al: Intracranial aneurysms that repeatedly reopen over time after coiling: imaging characteristics and treatment outcome. *Neuroradiology* 49:343-349, 2007.
 - 89) Henkes H, Fischer S, Liebig T, et al: Repeated endovascular coil occlusion in 350 of 2759 intracranial aneurysms: safety and effectiveness aspects. *Neurosurgery* 58:224-232, 2006.
 - 90) Tirakotai W, Sure U, Yin Y, et al: Surgery of intracranial aneurysms previously treated endovascularly. *Clin Neurol Neurosurg* 109:744-752, 2007.
 - 91) Zhang YJ, Barrow DL, Cawley CM, et al: Neurosurgical management of intracranial aneurysms previously treated with endovascular therapy. *Neurosurgery* 52:283-293, 2003.
 - 92) McDougall CG, Halbach VV, Dowd CF, et al: Causes and management of aneurysmal hemorrhage occurring during embolization with Guglielmi detachable coils. *J Neurosurg* 89:87-92, 1998.
 - 93) Sluzewski M, Bosch JA, van Rooij WJ, et al: Rupture of intracranial aneurysms during treatment with Guglielmi detachable coils: incidence, outcome, and risk factors. *J Neurosurg* 94:238-240, 2001.
 - 94) Cloft HJ, Kallmes DF: Cerebral aneurysm perforations complicating therapy with Guglielmi detachable coils: a meta-analysis. *AJNR* 23:1706-1709, 2002.
 - 95) Cronqvist M, Pierot L, Boulin A, et al: Local intraarterial fibrinolysis of thromboemboli occurring during endovascular treatment of intracerebral aneurysm: a comparison of anatomic results and clinical outcome. *AJNR* 19:157-165, 1998.
 - 96) Pelz DM, Lownie SP, Fox AJ: Thromboembolic events associated with the treatment of cerebral aneurysms with Guglielmi detachable coils. *AJNR* 19:1541-1547, 1998.
 - 97) Hamada J, Kai Y, Morioka M, et al: Effect on cerebral vasospasm of coil embolization

followed by microcatheter intrathecal urokinase infusion into the cisterna magna: a prospective randomized study. *Stroke* 34:2549-2554, 2003.

(担当：藤中俊之，坂井信幸，吉村紳一)