種々の術中モニタリングを用いた脳動脈瘤術後の虚血合併症の予防

佐々木達也¹, 鈴木 恭一², 佐久間 潤¹, 佐藤 拓¹
粕谷 泰道¹, 安藤 等¹, 松本 由香¹, 板倉 毅¹

Prevention of Ischemic Complications after Aneurysm Surgery Using Various Monitoring Methods

Tatsuya SASAKI, M.D.,¹ Kyouichi SUZUKI, M.D.,² Jun SAKUMA, M.D.,¹ Taku SATO, M.D.,¹
Hiromichi KASUYA, M.D.,¹ Hitoshi ANDO, M.D.,¹ Yuka MATSUMOTO, M.D.,¹ and
Takeshi ITAKURA, M.D.¹

¹Department of Neurosurgery, Fukushima Medical University, and ²Department of Neurosurgery, Fukushima Red Cross Hospital, Fukushima, Japan

Summary: Postoperative ischemic sequelae are the most frequent complication of aneurysm surgery. We have performed various types of intraoperative monitoring to prevent postoperative ischemic complications. In this manuscript, we report methods and results of motor evoked potential (MEP), visual evoked potential (VEP) and fluorescence angiography (FAG) with representative cases. MEP monitoring enables us to predict the blood flow insufficiency of arteries that supply the corticospinal tract. We can detect the blood flow insufficiency of not only the perforating artery, such as the anterior choroidal artery or lenticulostriate artery, but also the cortical artery of the middle cerebral artery. VEP monitoring enabled us to detect the ischemia and mechanical damage of the visual pathway from the optic nerve to the occipital lobe. FAG by intravenous administration of fluorescein sodium made it possible to detect the patency of the arteries, such as the hypothalamic artery or posterior thalamoperforating artery, which could not be detected by various electrophysiological monitoring methods. Ischemic complications after aneurysm surgery were markedly reduced after introduction of these monitoring methods. We discuss the usefulness and limitation of these methods.

Key words:

- aneurysm surgery
- motor evoked potential
- visual evoked potential
- fluorescence angiography
- ischemic complication

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 37: 79–86, 2009

はじめに

脳動脈瘤術後の虚血合併症は最も頻度の高い合併症である。その予防のために重要なのは手術戦略や手術手技そのものであるが、血流不全の有無を術中に把握できれば手術

に feed back し虚血合併症を予防できる可能性がある。そこでわれわれは種々の術中モニタリングを用い、虚血合併症の発生を減少させる工夫を行ってきた。脳動脈瘤手術時の血流不全探知の方法は運動誘発電位 (motor evoked potential, MEP)²⁾⁹⁾¹²⁾¹⁴⁾¹⁵⁾、体性感覚誘発電位 (somato-

¹福島県立医科大学 脳神経外科, ²福島赤十字病院 脳神経外科 (受稿日 2008. 11. 28) (脱稿日 2009. 1. 8) [連絡先: 〒960-1295 福島市光が丘1番地 福島県立医科大学 脳神経外科 佐々木達也] [Address correspondence: Tatsuya SASAKI, M.D., Department of Neurosurgery, Fukushima Medical University, 1 Hikarigaoka, Fukushima 960-1295, Japan]

sensory evoked potential, SEP), 視覚誘発電位 (visual evoked potential, VEP)¹¹⁾¹³⁾, 蛍光血管撮影 (fluorescence angiography, FAG)¹⁶⁾¹⁷⁾ の4つである。SEPには正中神経刺激による上肢SEP⁴⁾⁵⁾と後脛骨神経刺激による下肢SEP⁸⁾¹⁰⁾があるが、本稿では紙面の関係でSEPを省略し、MEP, VEP, FAGについて方法を概説し、代表症例を提

示しモニタリングの有用性と限界について報告する。

モニタリングの方法

各モニタリング法の詳細な方法についてはすでに報告している²⁾⁸⁻¹⁷⁾ので、本稿では要点に関して記載する。

MEP²⁾⁹⁾¹⁴⁾¹⁵⁾

麻酔は propofol を用いた完全静脈麻酔で、筋弛緩レベルを麻酔科医にコントロールしてもらう。手術前に頭皮上に手指の運動領野に相当する部位をマッピングし、マーキングしておく。刺激の陰極として用いる針電極を frontal pole zero (Fpz) に刺入しておく。筋電図用の針電極は、脳刺激側と反対側の拇指球筋に2本刺入しておく。開頭は脳動脈瘤手術で行う通常の前頭側頭開頭で、開頭部位を拡げる必要はない。硬膜切開後、マーキングしておいた手指の運動領野に向けて刺激電極を硬膜下腔に挿入する。刺激電極は16極のグリッド電極(ユニークメディカル, 東京)で、16極のうちの最も刺激閾値の小さい電極を用い、定電流陽極(単極)刺激を行う。刺激は持続時間0.2msecの矩形波を2msecの間隔で5発連続する short train を用いる。band-pass filter は20-3,000 Hz, 分析時間は70msecの条件下で、加算の必要がなくほぼリアルタイムに筋電図が得られる。刺激の強度はMEPが得られる刺激閾値より2mA強い刺激強度を用いる。術者への警告はMEPが消失、または3回連続して50%以上の振幅低下を認めたときに行う。

VEP¹¹⁾¹³⁾

麻酔は propofol を用いた完全静脈麻酔を用いる。麻酔

Fig. 1 upper: Preoperative angiography (upper) of Case 1 revealed an internal carotid-ophthalmic artery aneurysm (maximum diameter 16 mm). lower: Preoperative visual acuities and visual fields of Case 1.

Fig. 2 Findings of intraoperative monitoring in Case 1 are revealed. MEP disappeared and upper extremity SEP decreased after ICA trapping. After release of ICA trapping, MEP and SEP recovered completely. VEP remained unchanged after drilling, trapping and clipping.

Fig. 3 upper: Postoperative angiography revealed the disappearance of the aneurysm. The ophthalmic artery was preserved.
lower: Postoperatively left visual acuity and left quadrant upper temporal visual field disturbance were improved.

Fig. 4 upper: Preoperative 3-dimensional CT angiography showed a large right internal carotid-posterior communicating artery aneurysm.
lower: The anterior choroidal artery was preserved after neck clipping.

導入後に両側の眼瞼を閉じ透明な eye patch を貼り、その上に発光ダイオードの光刺激装置 (照度可変式 500-20,000 Lx, シリコン製, 直径約 2cm, ユニークメディカル, 東京) を装着し、さらに透明なシールで密閉する。両側外眼角皮下に網膜電図 (Electroretinogram: ERG) 記録用の針電極を設置する。VEP の記録電極は外後頭隆起より 4cm 上方, 4cm 外側の両側後頭部の皮下に針電極を刺入し、基準電極は両側乳様突起部の皮下に針電極を刺入する。刺激の持続時間は 20 msec で、刺激頻度は 1 Hz, 加算回数は 100 回で、1 回の記録には 1 分 40 秒を要する。分析時間は 200 msec で、band-pass filter は 20-500 Hz とする。VEP 振幅が 50% 以下に低下した場合に術者に警告する。

FAG¹⁶⁾¹⁷⁾

励起光を照射するために青色発光ダイオードを用いたペンシル型の励起光照射プローブを用いる。顕微鏡に蛍光のみを通過させるバリアフィルターを装着した段階で、手術用顕微鏡の光源を落とし、手術室の明かりも消す。その後、fluorescein sodium 2.5-5 ml を静注し、観察しながらビデオにも記録する。可視光なので赤外線カメラは不要で、通常のビデオカメラで記録可能である。蛍光物質は眼科領域

で蛍光眼底撮影に用いる量と同じで安全性に問題はない。

症例提示

〈症例 1〉45 歳, 女性。未破裂内頸動脈眼動脈分岐部動脈瘤の症例 (Fig. 1 upper) で、主訴は左の視力視野障害 (Fig. 1 lower) であった。術前に左頸部内頸動脈の balloon test occlusion (BTO) を施行し、血圧 130/70 mmHg の条件下で 20 分間 tolerable であることを確認した。手術は左頸部内頸動脈を確保したのちに、左の前頭側頭開頭を施行した。まず、前床突起と視神経の drilling を行い、proximal neck を確認した。その後内頸動脈を trapping し、suction decompression 下に clipping を行い、dome を穿刺し視神経の圧迫を解除した。MEP は内頸動脈の trapping 後 7 分で振幅が低下し、10 分で消失した。上肢 SEP もほぼ消失した (Fig. 2)。この時の血圧は 110/60 mmHg で、BTO 時よりも低かった。遮断解除後に MEP も上肢 SEP も回復し、VEP は drilling 後も clipping 後も変化を認めなかった (Fig. 2)。FAG にて頭蓋内内頸動脈とその分枝および眼動脈の血流を確認し手術を終了した。術後には運動麻痺もなく、眼動脈の血流も温存され (Fig. 3 upper)、左眼の視力視野障害は回復し (Fig. 3 lower)、眼底動脈圧も術

Fig. 5 Findings of intraoperative monitoring in Case 2 are revealed. MEP disappeared and right stimulating VEP aggravated after intermittent compression of the ICA. After release of the compression, MEP recovered completely, but the amplitudes of both VEPs remained below 50% of the control level.

前 88/55 mmHg, 術後 80/50 mmHg と変化を認めなかった。

〈症例 2〉72 歳, 女性。破裂右内頸動脈後交通動脈分岐部動脈瘤の症例で, 後交通動脈は embryonic type であった (Fig. 4 upper)。clipping に際して, 頸部内頸動脈を用手的に約 2 分間, intermittent に 3 回圧迫したのちに MEP が消失し, VEP の振幅が低下した (Fig. 5)。内頸動脈の圧迫解除により MEP は完全に回復したが, VEP 振幅の回復は不良であり, 手術側の VEP ばかりでなく対側の VEP 振幅も低下したままの状態動脈瘤を clipping した。clipping 後にモニタリングの悪化はみられなかった (Fig. 5)。術後に一過性の軽度の片麻痺 (MMT 4/5) を認めたが, 翌日には改善した。CT では内包膝部から内包後脚前半部に低吸収域が出現した (Fig. 6 upper)。DSA では眼動脈, 後交通動脈, 前脈絡叢動脈は温存されていた (Fig. 6 middle)。術後の視野検査で中心視野を含む上 1/4 左同名半盲を認めた (Fig. 6 lower)。

〈症例 3〉48 歳, 女性。無症候性右内頸動脈上下垂体動脈 (superior hypophyseal artery, SHA) 分岐部動脈瘤の症例 (Fig. 7) である。前床突起および視神経管の骨削除後に, encircle clip にて clipping したところ, 直後の記録で VEP が消失した。ただちに clip をはずし VEP を連続的に記録したところ, 約 10 分後に再現性のある VEP が記録できた (Fig. 7)。右視神経の内側からミラーにて, SHA を閉塞しないように弱湾の clip にて clipping し, VEP に変化を認めず手術を終了した (Fig. 7)。術後に視力視野ともに異常を認めなかった。

〈症例 4〉74 歳, 男性。未破裂巨大血栓化前交通動脈瘤の症例 (Fig. 8) で, 主訴は右視力視野障害であった。矯正視力, 右 0.2, 左 1.5 で, 右鼻側の半盲を呈していた。動脈瘤は左前大脳動脈から造影され, 最大径は 33 mm で neck 周囲には石灰化も伴っており (Fig. 8 upper), DSA では内腔は 16 mm であった (Fig. 8 middle)。interhemispheric approach にて動脈瘤に到達し, 左 A1 と両側の A2 を血流一時遮断し, neck から少し離れた部分で動脈瘤壁に切開を加え, neck 近傍の瘤内血栓を可及的に除去し, 30 mm の Sugita の long clip で clipping した (Fig. 9)。動脈瘤は視交叉の右側に強く癒着しており, 無理な剥離操作は危険と判断し, 血栓除去による減圧にとどめた。FAG で両側 A1, A2, 前交通動脈, hypothalamic artery の血流を確認し手術を終了した (Fig. 9)。瘤内血栓が硬くその除去に手間取り, 遮断時間は 25 分間に及んだが, 両側下肢 SEP に変化を認めなかった (Fig. 10)。右眼の鼻側半盲に対応する右刺激右記録 VEP はコントロールから低振幅であったが, 術中に変化を認めなかった (Fig. 10)。術後の脳血管撮影で両側 A2 の血流は保たれており, 下肢運動麻痺は認めなかった (Fig. 11 upper)。しかし, hypothalamic artery の灌流領域である前脳基底部に梗塞を認め (Fig. 11 lower), 軽度の近時記憶障害が出現した。FAG にて hypothalamic artery の血流は確認したが, 遮断時間が長かったためにすでに不可逆的な変化をきたしていたものと考えられた。術後に右矯正視力は 0.5 に改善したが, 鼻側の半盲は不変で, 左の視力視野にも変化を認めなかった。

Fig. 6 *upper:* Postoperative CT scan revealed the low density area in the anterior limb of the right internal capsule.
middle: Postoperative angiography showed preservation of the ophthalmic, posterior communicating and anterior choroidal arteries (arrowheads).
lower: Postoperative visual field test revealed an upper temporal quadrant hemianopsia.

Fig. 7 *upper:* Preoperative 3-dimensional CT angiography of Case 3 showed a right internal carotid-superior hypophyseal artery aneurysm.
lower: The right stimulating VEP suddenly disappeared just after clipping using a fenestrated clip. Ten minutes later the VEP recovered. The right VEP remained unchanged after clipping using a slightly bended clip.

Fig. 8 *upper:* Preoperative 3-dimensional CT angiography of Case 4 showed a giant (maximum diameter 33 mm) thrombosed aneurysm in the anterior communicating artery (*left*). Maximum intensity projection image revealed multiple calcifications near the aneurysmal neck (*right*).
lower: Preoperative angiography showed the anterior communicating artery aneurysm (maximum diameter 16 mm).

Fig. 9 The aneurysm was obliterated by 30-mm Sugita straight clip. FAG revealed the preservation of the anterior communicating artery, bilateral anterior cerebral arteries and hypothalamic artery.

Fig. 10 Findings of intraoperative monitoring in Case 4 are revealed. Lower extremity SEP and VEP remained unchanged throughout surgery. Right stimulating and rt. recording VEP revealed low amplitude throughout the surgery due to hemianopsia.

各モニタリング法の結果

MEP (Table 1)

MEPのモニタリングを試みたもののMEPを記録できなかった症例は3例で、いずれも術前からMMT 2/5よりも高度の片麻痺を呈していた症例であった。MEPのモニタリングが可能であった脳動脈瘤症例は405例であった。MEPが術中安定して記録できれば術後に運動麻痺を呈す

ることはなく、術中一過性に消失しても硬膜閉鎖直前までに回復していれば術後に軽度の運動麻痺を呈することはあっても数日後には完全に回復した。モニタリング終了時に振幅が50%以下までしか回復しなかった症例では術後の運動麻痺が3日以降までみられた症例もあったが、最終的にはMMTで4/5以上に運動機能が回復した。MEPが消失した状態で手術を終了せざるを得なかった2例では高度の運動麻痺が出現し永続した。

Fig. 11 upper: Postoperative angiography showed the disappearance of the aneurysm. Bilateral anterior cerebral arteries were preserved.
lower: Postoperative CT scan revealed the small low density area in the basal forebrain (arrowheads).

内頸動脈瘤術後の前脈絡叢動脈領域の梗塞による片麻痺の頻度は、MEPの開発臨床応用以前には154例中8例(5.2%)であったが、MEPを施行してからは213例中1例(0.5%)で、約10分の1に減少した。

VEP (Table 2)

VEPをモニタリングした脳動脈瘤症例は45例90眼であったが、視神経が動脈瘤により分割されて術前から手動弁であった内頸動脈眼動脈分岐部動脈瘤症例の1眼で再現性のある波形を得ることができなかった¹³⁾。モニタリング可能であった89眼では、術中に変化がないか振幅が低下しても回復すれば、視機能が悪化した症例はなかった。VEPが一過性に悪化したのは3眼で、IC-SHA動脈瘤の症例でSHAの血流不全をきたしたclipping操作が2眼で、内頸動脈眼動脈分岐部動脈瘤の症例で動脈瘤と視神経の剥離操作中に振幅低下をきたしたのが1眼であった。clipをかけ直したり、剥離操作を中止することにより改善し、術後に視機能障害は認めなかった。術中に振幅の低下をきたしたまま回復しなかった1例(症例2)2眼では、術後に内包後脚前半部に梗塞巣が出現し、1/4同名半盲をきたした。頸部内頸動脈の血流一時遮断による前脈絡叢動脈の血流不全が原因と思われた。

Table 1 Intraoperative MEP findings and postoperative hemiparesis

Intraoperative MEP findings	No. of cases	Postoperative hemiparesis		
		None	Transient	Permanent
No change	353	352	1	0
Deterioration with recovery	50	30	20	0
Deterioration without recovery	2	0	0	2

Table 2 Intraoperative VEP findings and postoperative visual function

Intraoperative VEP findings	No. of eyes	Postoperative visual function		
		Improved	No change	Deteriorated
No change	84	3	81	0
Deterioration with recovery	3	0	3	0
Deterioration without recovery	2	0	0	2

FAG

FAGを施行した脳動脈瘤症例は75例で、血流を確認した74例中1例(症例4)でhypothalamic arteryの灌流領域に梗塞巣が出現した(Fig. 11 lower)。FAGによってhypothalamic arteryの血流がないことがわかり、clipをかけ直して再度施行したFAGにて血流があることを確認した症例は前交通動脈瘤の1例のみであり、術後に梗塞巣は出現しなかった。

考 察

脳動脈瘤術後の虚血合併症を回避する目的で種々の術中モニタリングが広く行われるようになり、特に動脈瘤clipping後の穿通枝の温存や血流一時遮断時のモニタリングとしてその有用性が報告されてきている¹⁻⁵⁾⁸⁻¹⁷⁾。

脳動脈瘤手術におけるMEPの有用性についてはすでに多くの報告があるが、MEPによって皮質脊髓路を灌流する動脈の血流不全の有無を探知することができる。特に前脈絡叢動脈やレンズ核線条体動脈などの穿通枝の血流不全を迅速かつ鋭敏に探知することができ、また内頸動脈や中大脳動脈の血流一時遮断時の皮質脊髓路の虚血も探知可能である。さらには術後の運動麻痺に関してfalse negativeがない点で信頼性の高いモニタリングである。以前広く行われていた上肢SEPでは、前脈絡叢動脈の血流不全はとらえることができない¹⁴⁾、中大脳動脈皮質枝、レンズ核線条体動脈の血流不全はMEPよりも探知するまで時間を要し、加算が必要でreal timeにmonitoringできないという欠点がある²⁾。紙面の関係で本稿では提示しなかったが、現段階では前大脳動脈の血流不全をMEPで探知する方法

は開発されておらず、下肢SEPによって前大脳動脈の血流不全のモニタリングを行っている⁸⁾¹⁰⁾。

VEPは吸入麻酔薬の影響を受け術中の波形の安定性が乏しかったが、propofolを用いた完全静脈麻酔により波形の再現性が著しく向上し、臨床的に有用なモニタリングとなった¹⁾³⁾¹¹⁾¹³⁾。VEPにより視神経から後頭葉に至る全視覚路の障害を探知することが可能となったが¹³⁾、血流不全としては視神経を栄養するSHA¹⁾³⁾や後大脳動脈³⁾の血流不全をとらえられることが報告されている。本稿の症例3もSHAの血流不全をとらえた症例と考えられた。また、症例2は視索の虚血をとらえた症例で、後交通動脈の穿通枝である前視床穿通動脈の閉塞を否定できないが、MEPの変化も考え合わせると頸部内頸動脈の圧迫により前脈絡叢動脈末梢部の細い枝の虚血をきたしたのではないかと考えている。

近年、脳動脈瘤手術において親動脈や分枝の血流を確認するために蛍光血管撮影が行われるようになってきている。蛍光血管撮影の方法としてはindocyanine green (ICG)を静脈注射する方法⁶⁾⁷⁾とfluorescein sodiumを静注する方法¹⁶⁻¹⁸⁾に分けられる。われわれの方法はfluorescein sodiumを静注し、青色発光ダイオードを先端に装着したペンシルタイプの励起光照射プローブを用いる方法で、ICGでは必須の赤外線カメラや励起光の光源を内蔵した手術用顕微鏡を必要としない簡便な方法である¹⁶⁾¹⁷⁾。FAGにより脳主幹動脈やその分枝、穿通枝の血流の有無を術野で確認することができ、特に誘発電位ではその血流不全を探知できない視床下部動脈や後視床穿通動脈の血流確認の際に有用であった。FAGでは術野にみえる血管であれば、その血流の有無を確認することができる。しかし、今回提示した症例4のように、遮断解除後のFAGでは血流の存在を確認しても、遮断中にすでに不可逆的変化をきたしていれば、術後に脳梗塞をきたすことも事実である。また血流が確認できても、それが脳組織の機能維持に十分な量であるか否かを判別することは困難であることにも注意なくてはならない。

結 語

種々の術中モニタリング法を組み合わせることによって術中の血流不全をある程度同定できるようになり、手術操作にfeed backすることにより手術成績は確実に向上した。しかし、いまだ血流不全を探知しえない動脈も多いため、すべての脳血管に対する信頼性のあるモニタリング法を開発することが今後の課題であると考えている。

文 献

- 1) Goto K, Tanaka Y, Kodama K, *et al*: Loss of visual evoked

- potential following temporary occlusion of the superior hypophyseal artery during aneurysm clip placement surgery. *J Neurosurg* 107: 865-867, 2007
- 2) Horiuchi K, Suzuki K, Sasaki T, *et al*: Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency during surgery of middle cerebral artery aneurysms. *J Neurosurg* 103: 275-283, 2005
- 3) 児玉邦彦, 後藤哲哉, 佐藤 篤, ほか: 脳動脈瘤クリッピング術における術中視覚誘発電位モニタリングの有用性. 脳卒中の外科 36: 350-354, 2008
- 4) Mizoi K, Yoshimoto T: Intraoperative monitoring of the somatosensory evoked potentials and cerebral blood flow during aneurysm surgery-safety evaluation for temporary vascular occlusion. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 31: 318-325, 1991
- 5) Mizoi K, Yoshimoto T: Permissible temporary occlusion time in aneurysm surgery as evaluated by evoked potential monitoring. *Neurosurgery* 33: 434-440, 1993
- 6) Raabe A, Back J, Gerlach R, *et al*: Near-infrared indocyanine green video angiography: a new method for intraoperative assessment of vascular flow. *Neurosurgery* 52: 132-139, 2003
- 7) Raabe A, Nakaji P, Back J, *et al*: Prospective evaluation of surgical microscope-integrated intraoperative near-infrared indocyanine green videoangiography during aneurysm surgery. *J Neurosurg* 103: 982-989, 2005
- 8) 佐久間 潤, 高萩周作, 板倉 毅, ほか: 後脛骨神経刺激体性感覚誘発電位を用いた前大脳動脈血流一時遮断時の術中モニタリング. 脳卒中の外科 22: 355-361, 1994
- 9) Sakuma J, Suzuki K, Sasaki T, *et al*: Monitoring and preventing blood flow insufficiency from clip rotation in the treatment of internal carotid artery aneurysms. *J Neurosurg* 100: 960-962, 2004
- 10) 佐久間 潤, 宗像良二, 紺野 豊, ほか: 後脛骨神経刺激体性感覚誘発電位を用いた前交通動脈瘤・前大脳動脈瘤手術時の術中モニタリング. 脳卒中の外科 35: 168-174, 2008
- 11) 佐々木達也, 市川 剛, 佐久間 潤, ほか: 視誘発電位. 麻酔 55: 302-313, 2006
- 12) Sasaki T, Kodama N, Matsumoto M, *et al*: Blood-flow disturbance in perforating arteries attributable to aneurysm surgery. *J Neurosurg* 107: 60-67, 2007
- 13) Sasaki T, Itakura T, Suzuki K, *et al*: Intraoperative monitoring of visual evoked potential: Introduction of a clinically useful method. *J Neurosurg* (in press)
- 14) Suzuki K, Kodama N, Sasaki T, *et al*: Intraoperative monitoring of blood flow insufficiency in the anterior choroidal artery during aneurysm surgery. *J Neurosurg* 98: 507-514, 2003
- 15) 鈴木恭一, 佐々木達也, 松本正人, ほか: 運動誘発電位モニタリングを用いた脳動脈瘤手術. 脳卒中の外科 34: 101-108, 2006
- 16) Suzuki K, Kodama N, Sasaki T, *et al*: Confirmation of the blood flow in perforating arteries using fluorescein cerebral angiography during aneurysm surgery. *J Neurosurg* 107: 68-73, 2007
- 17) 鈴木恭一, 渡部洋一, 市川 剛, ほか: 蛍光血管撮影と連続的ドップラー血流検査を用いた脳動脈瘤手術における穿通枝血流不全のモニタリング. 脳卒中の外科 36: 427-433, 2008
- 18) Wrobel CJ, Meltzer H, Lamond R, *et al*: Intraoperative assessment of aneurysm clip placement by intravenous fluorescein angiography. *Neurosurgery* 35: 970-973, 1994