

特集 動脈瘤クリッピング術

原著

前方循環未破裂脳動脈瘤クリッピング術における ‘three-hand surgery’ の実際とトラブル対処法

大井川秀聡¹, 鈴木 海馬¹, 佐藤 大樹¹, 前田 拓真¹, 古峰 弘之^{1,2}
竹田理々子^{1,3}, 吉川雄一郎^{1,4}, 小倉 丈司^{1,5}, 栗田 浩樹¹

Two-surgeon-three-hand Surgery for Unruptured Intracranial Aneurysms of Anterior Circulation: Surgical Procedure and Troubleshooting

Hidetoshi OOIGAWA, M.D., Ph.D.¹, Kaima SUZUKI, M.D., Ph.D.¹, Hiroki SATO, M.D., Ph.D.¹,
Takuma MAEDA, M.D., Ph.D.¹, Hiroyuki KOMINE, M.D., Ph.D.^{1,2}, Ririko TAKEDA, M.D., Ph.D.^{1,3},
Yuichiro KIKKAWA, M.D., Ph.D.^{1,4}, Takeshi OGURA, M.D., Ph.D.^{1,5}, and
Hiroki KURITA, M.D., Ph.D.¹

¹Department of Cerebrovascular Surgery, International Medical Center, Saitama Medical University, Hidaka, Saitama, ²Department of Endovascular Neurosurgery, JR Tokyo General Hospital, Tokyo, ³Department of Neurosurgery, Mizonokuchi Hospital, Teikyo University, Kawasaki, Kanagawa, ⁴Department of Neurosurgery, Saitama Cardiovascular and Respiratory Center, Kumagaya, Saitama, and ⁵Department of Neurosurgery, Kurosawa Hospital, Takasaki, Gunma, Japan

Summary: Background: We have been practicing the two-surgeon-three-handed surgical approach (three-hand surgery). This involves a young surgeon performing the operation and the attending surgeon supervising and assisting. The recent introduction of the 4K-three dimensional exoscope has enabled surgeons and assistants alike to access a clearer and wider surgical field. Here, we report our practice of three-hand surgery including how to avoid and deal with intraoperative difficulties during surgical clipping of the anterior circulation. Methods: The study included 965 patients who underwent surgical clipping for unruptured cerebral aneurysms in the anterior circulation between January 1, 2012 and October 31, 2021. Results: All patients underwent three-hand surgery and all operations were completed. At discharge (from the hospital), 23 (2.4%) patients decreased by 2 or more on the modified Rankin scale. The cause was stroke in 14 patients, optic neuropathy in 7 patients, and other disorders in 2 patients. Conclusions: Three-hand surgery for surgical clipping of unruptured cerebral aneurysms allows young surgeons to obtain experience and achieve appropriate outcomes, while ensuring patient safety.

Key words:

- surgical clipping
- three-hand surgery
- troubleshooting

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 51: 484-489, 2023

¹埼玉医科大学国際医療センター 脳卒中外科, ²JR 東京総合病院 脳卒中外科・脳血管内治療科, ³帝京大学医学部附属溝口病院 脳神経外科, ⁴埼玉循環器呼吸器病センター 脳神経外科, ⁵黒沢病院脳卒中センター 脳神経外科(受稿日 2022. 10. 28)(脱稿日 2023. 2. 14)〔連絡先: 〒 350-1298 埼玉県日高市山根 1397-1 埼玉医科大学国際医療センター 脳卒中外科 大井川秀聡〕[Address correspondence: Hidetoshi OOIGAWA, M.D., Ph.D., Department of Cerebrovascular Surgery, Saitama Medical University International Medical Center, 1397-1 Yamane, Hidaka, Saitama 350-1298, Japan]

はじめに

前方循環に位置する脳動脈瘤の手術は、脳神経外科医であれば誰もが経験する手術であり、若手脳神経外科が一人前になるための登竜门的要素もあった。しかしながら、昨今の動脈瘤治療では、血管内治療が広く行われるようになる一方で、開頭術による治療成績への社会的な要求も高くなり、若手脳神経外科医が執刀できる手術は限定されつつある⁹⁾。

そうした中、当科では前方循環に位置する通常サイズ未破裂脳動脈瘤の開頭術においては、積極的に若手に術者を担わせ、指導医が助手鏡から指導する体制での‘Two-Surgeon-Three-Hand Surgery’(以下、three-hand surgery)を行ってきた。近年は神経外視鏡(以下、外視鏡)を導入することで、助手も術者同様の明るく広い術野を得ることが可能となり、より助手が手術に参加しやすい環境にある。本稿では、当院における three-hand surgery の実際および術中トラブル回避と対処法について、前方循環脳動脈瘤クリッピングを対象に報告する。

Three-hand surgery の実際

前方循環に位置する脳動脈瘤の手術においては、手術用顕微鏡(以下、顕微鏡)/外視鏡どちらを用いる場合でも、

基本的に術者が術野に対して正対し、助手はその右側についてアシストを行う。助手は右手で術野の10時から2時の方向よりアシストしやすく、術者正面からは120-180度異なる方向から手が入ることで、術者の操作を補完しやすくなる(Fig. 1)。顕微鏡を使う場合と外視鏡を使う場合のセッティングを示す(Fig. 2)。外視鏡においては、場合により、術者と助手が横並びになり同一モニターを観察する

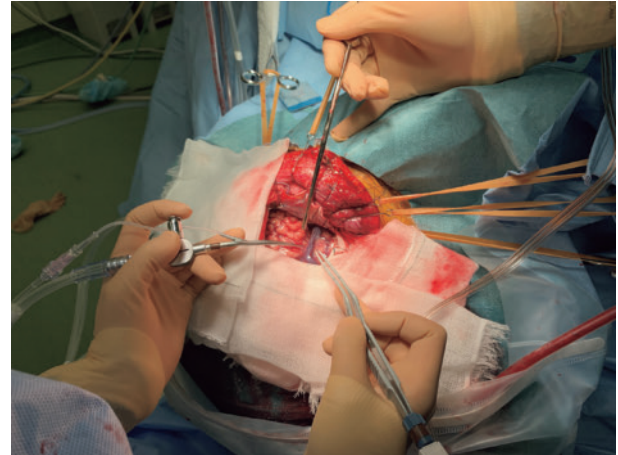


Fig. 1 Typical hand positioning during three-hand surgery. The assistant's hand contributes to the surgery mainly from 12 o'clock.

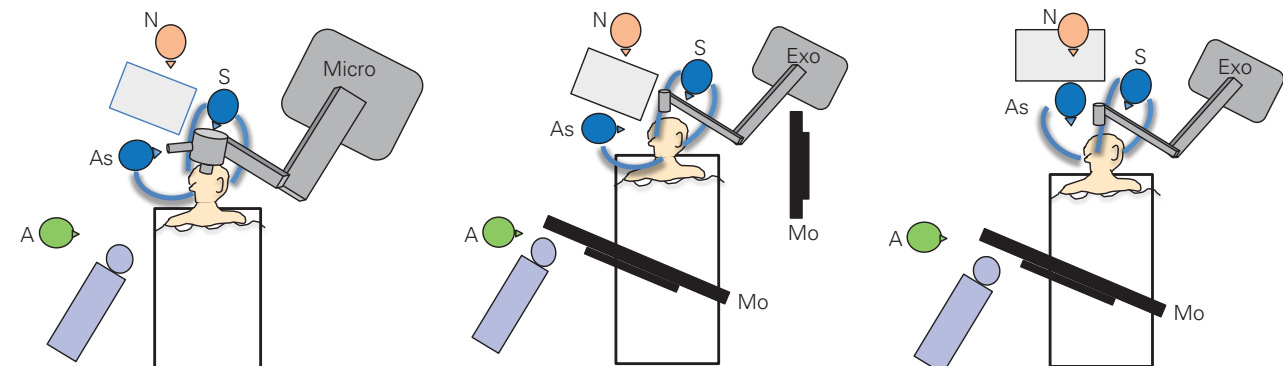
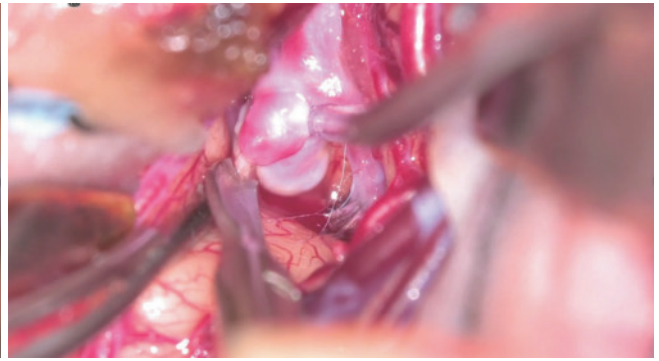
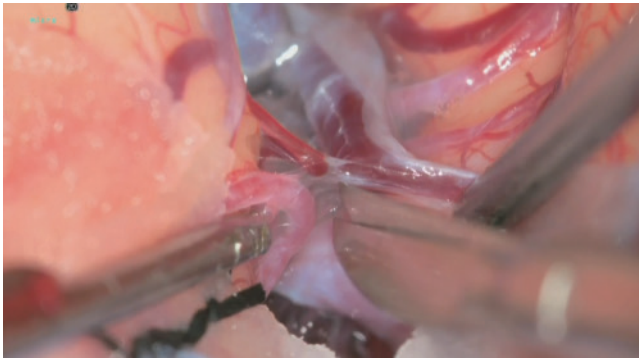


Fig. 2 Surgical setting under a microscope (A) or an exoscope (B-C). A: Anesthesiologist, As: Assistant, Exo: Exoscope, Micro: Microscope, Mo: Monitor, N: Nurse, S: Surgeon



A|B **Fig. 3** The role of the assistant during three-hand surgery for an anterior circulation unruptured cerebral aneurysm. The assistant participates in applying appropriate tension to the arachnoid (A) and aneurysm (B).

ほうが three-hand surgery を行いやすいこともある (Fig. 2C).

当院における three-hand surgery の最大の特徴は、3 番目の手が積極的に手術に参加することで、術者が硬膜内操作をより安全・確実にに行いやすくすることにある。無理な牽引や狭い術野とならないよう、助手は術者の 3 番目の手として手術操作を行う。適切な術野を確保し、剥離や切開すべき組織へ適度な緊張を与えることは術者の務めだが、助手もこうした操作に積極的に参加する。術者と異なる角度からの手術操作は術者の動きを補完しやすい。前方循環脳動脈瘤クリッピング術の際の助手の具体的な働きとしては、シルビウス裂開放時にくも膜へ適度な緊張を与えること、動脈瘤剥離時に対象物を適切に牽引すること、止血時のサポートなどである (Fig. 3)。

術中トラブルシューティング

術中トラブルが起きた際に最も大事なことは、心を鎮めて落ち着き、正確に状況を把握することである。若手が術者を務めている手術では、そばにいる指導的立場の助手が術者を落ち着かせる必要がある。ただちに術者交代はせず、目のトラブルが術者の技量で十分対処可能な場合には、継続して術者を務めさせている。

こういったトラブルに際しても、①術野の確保、②状況把握、③普段から行っている確実な手技の実施、④血管縫合・吻合を考慮、の順で対処するようにしている。

①術野の確保：術野にある血液の除去、出血点、blind spot の確認や、より広い術野を得るための剥離操作なども含まれる。

②状況把握：術野が確保されたのち、トラブルの状況を把握する。前方循環動脈瘤のクリッピング術においては、oozing、静脈の離断、premature rupture、動脈瘤頸部損傷、穿通枝を含めた周辺血管の狭窄や閉塞などが経験される。

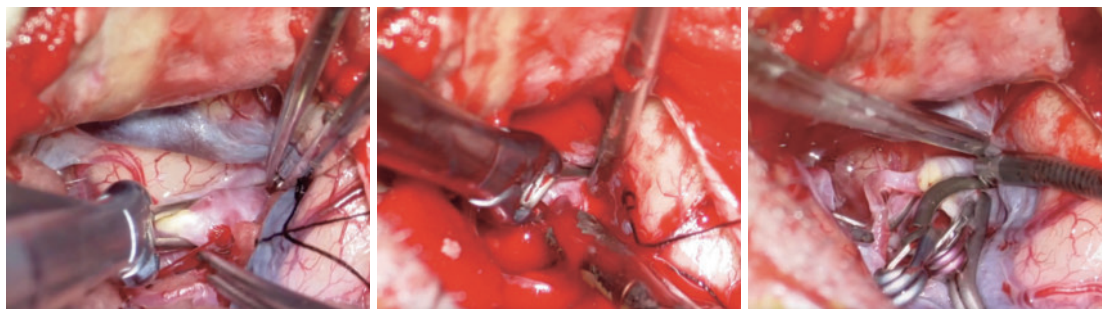
③確実な手技の実施：トラブルの原因を把握したのち、確実な手技を実施し対処する。たとえば、トラブルが出血にまつわるものでは、出血を吸引、洗浄しながら出血点を把握する。出血点の状況をみて、圧迫や洗浄しながら経過観察、止血剤の使用、バイポーラでの凝固、クリップの使用、血管の縫合のいずれを行うか判断し選択する。止血剤使用の際は、うまく出血点にあてがわれていれば、静脈性出血の場合すぐに止血できることが多い、止血剤使用後も出血がしばらく止まらないときは、止血剤がうまく出血部に置かれていないことが多く、圧迫を継続するよりも再度出血点を確認し、止血剤を置き直したほうがよい。一方、バイポーラ凝固を使用する場合は、出血点を点で把握し、1 回の凝固操作でピンポイント止血するように心がける。

④血管縫合・吻合を考慮：術中の操作により脳虚血が確実視される場合や、太い皮質静脈の離断を認めた場合は、salvage therapy として動脈吻合や静脈吻合も考慮する。

上記の手順に従ってトラブルシューティングを実施した前方循環動脈瘤の 2 例を提示する (Fig. 4, 5)。

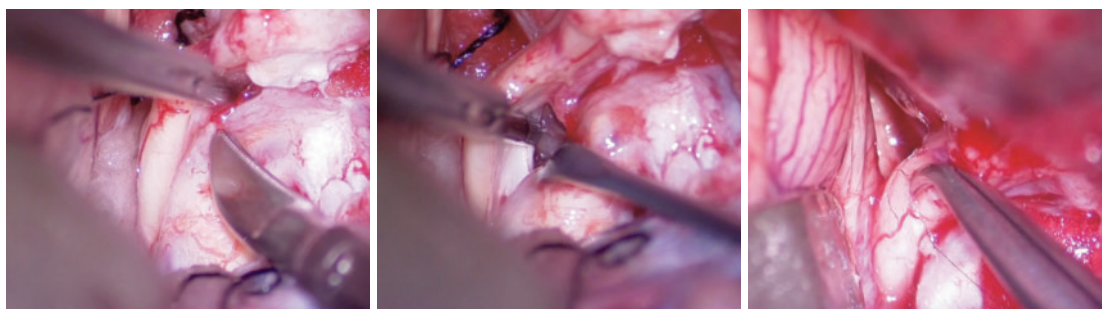
1 例目は右未破裂中大脳動脈瘤の症例である。小開頭を行い動脈瘤の剥離を終えクリップを挿入する際に、吸引管の先が dome に接触し premature rupture をきたした。クリップをそのまま apply したが止血されず、point suction で出血をコントロールしつつ頸部閉鎖を何度かトライした。しかし、小開頭のためクリップホルダーに挿入制限があることと動脈瘤頸部の石灰化のため、完全閉塞にはいたらなかった。助手も point suction に加わり、石灰化が及んでいない部分に tentative clipping を行い術野を確保した。石灰化部分を動脈瘤全周であらためて確認し、吸引管で動脈瘤を動かしながら閉鎖が可能な角度をつくり、頸部閉鎖を行った (Fig. 4)。

2 例目は右未破裂内頸動脈眼動脈分岐部動脈瘤である。右前頭側頭開頭と前床突起除去を行ったのち、内頸動脈眼



A|B|C

Fig. 4 Troubleshooting during a middle cerebral artery aneurysm clipping. When applying a clip, bleeding occurred from the aneurysmal thin wall (A). Inserting a tentative clip while controlling bleeding (B). Appropriate use of multiple clips to occlude the aneurysmal neck (C).



A|B|C

Fig. 5 Troubleshooting during surgical clipping for a paraclinoid internal carotid artery aneurysm. The carotid artery is detached from the optic nerve and bleeding from the origin of the ophthalmic artery is noted (A, B). Placing sutures (8-0 nylon) to stop the bleeding (C).

動脈分岐部動脈瘤剝離に移行した。内頸動脈と視神経を剪刀で剝離している際に眼動脈起始部から出血を認めた。止血剤を用いていったんは止血できたが、再度動脈瘤剝離のために緊張をかけると出血がみられた。最終的に 8-0 ナイロンで眼動脈分岐部を縫合し止血された (Fig. 5)。

治療成績

2012 年 1 月 1 日から 2021 年 12 月 31 日まで当院で前方循環の未破裂脳動脈瘤に対して頸部クリッピング術を行った 1,056 例のうち、バイパス併用手術や血管内治療との合同手術などを行った 78 例を除いた 978 例を対象とした。退院時までに modified Rankin Scale (mRS) を 2 以上低下させた症例は 23 例 (2.4%) であり、前交通動脈瘤 5 例、内頸動脈後交通動脈分岐部動脈瘤 7 例、内頸動脈傍前床突起部動脈瘤 7 例、中大脳動脈分岐部瘤 4 例であった。原因は脳梗塞 12 例、視神経や眼動脈への障害 7 例、その他の障害 4 例であった。2021 年 4 月 1 日からは手術用外視鏡を導入し、65 例に対して頸部クリッピング術を行っている。これらの手術により退院時までに mRS を 2 以上低下

させた症例は 3 例 (4.6%) で、前交通動脈瘤 1 例、内頸動脈後交通動脈分岐部動脈瘤 2 例であった。原因はすべて脳梗塞によるものであった。

考察

1. Three-hand surgery における助手の役割

顕微鏡下脳神経外科手術は、本来術者が 1 人で行うものであった。Kurze が 1965 年に行った脳神経外科領域における顕微鏡導入の報告では、助手に関する記載はなく⁵⁾、その後 20 年後に Yaşargil が 1984 年に記載した一般的な顕微鏡下手術セッティングでも、顕微鏡操作に助手が手術に参加する役割は記されていない¹⁵⁾。近年でも脳神経外科手術は、一般的な胸腹部手術とは異なり、術者 1 人がほとんどすべての役割を担い、助手は文字通り補助的な役割だけを担う施設もある。

顕微鏡下脳神経外科手術において、助手が積極的に手術に参加する three-hand surgery が論じられるようになったのは、外科領域における指導的助手の議論が行われ、脳神経外科においても若手脳神経外科医に対する教育が盛ん

に議論されるようになってからと考えられる¹⁴⁾。

島山³⁾は、外科手術における指導的助手の役割について報告し、手術に対する知識や経験が術者より優れ、実際の手術手技などの指導を行い、術者の精神面での支えにもなる必要があるとしている。術者の疑問や質問には的確に対応して答え、「そこはこうしたほうがよい」「そこは危険であるので、こうしたほうが better である」などと術中に具体的な言葉で指導する必要があると述べている。

当院では以前より、多くの手術で若手が第1術者を担い、指導的立場の助手が積極的に手術参加する three-hand surgery を実践してきた。この体制で、脳神経外科専攻医は専門医取得までに15-20例のクリッピング手術を経験する。指導医は、クリッピング術者として100例以上の経験をもち、脳卒中の外科学会技術指導医の資格を取得後2年以上経過した脳神経外科専門医であり、現在3名で指導にあたっている。この方法のメリットとしては、若手が早い段階で第1術者の経験を積めること、それにより術野のモチベーションが上がり手術への自信・意欲につながることで、安全性を担保しやすいことなどが挙げられる。一方で、指導医が助手の場合、助手が多くをコントロールすることがまれにあり、本当の意味で術者が一人前になりにくいとの批判もある。しかしながら、かぎられた症例の中で若手脳神経外科医を教育し、手術患者の安全を高いレベルで担保するには、非常に有効な方法であると考えている。また、長期的な目で見ると、residentで術者を経験したものが、数年後には経験を積んで attending surgeon として助手になることも多い。数年をかけて術者としての操作はもちろん、指導方法も習得していくことになる。いわゆる屋根瓦式の教育スタイル⁴⁾も実践していることになり、医局全体として統一した効果的な教育が可能となっている。

近年では、顕微鏡に代わって外視鏡を導入し脳神経外科手術を行っている施設も多い、当院でも2021年より外視鏡を第一選択にして脳神経外科手術を行っている。外視鏡は顕微鏡と比較し、術者にとって操作性、視認性、拡張性の点で優れている⁸⁾¹¹⁾。また助手にとっても、術者と同様の利点があるほか、常にlook-up postureを維持できるというメリットは大きい。今後はさらにthree-hand surgeryにとってより親和性が高い器材になっていくと考えられる。

2. 術中トラブル—回避とその対処

われわれ脳神経外科医は、術中に起こり得るトラブルの多くを術者の判断の誤り、技量不足あるいは術前の準備不足などに求めることが多い。

竹内らは、「失敗学」¹⁾²⁾を参考に、失敗が起こる6つの原因である「不注意」「誤判断」「無知」「手順の不遵守」「未知」「企画不良」が、動脈瘤クリッピング術のトラブル

発生にも当てはまると報告している¹⁰⁾。このうち「無知」や「未知」は多くの場合、若手術者に当てはまるが、「不注意」「誤判断」「手順の不遵守」「企画不良(=無理な手術計画、治療適応の是非)」は、expertにも起こるものである。こういった手術でも万全の状況で手術に臨む環境を整えることが重要であることが再認識される。

脳動脈瘤のクリッピング手術におけるトラブルについて Lawton⁶⁾は、自身の脳動脈瘤手術経験をもとに報告している。脳動脈瘤クリッピング術の術者に必要なことは「患者の命が自身の手に委ねられるという重責に、十分に耐えられるだけの手術への取り組みをしていると感じること」だとしている。そのうえで、トラブル回避とその対処における技術的なポイントとして「temporary clippingの使用」「十分な穿通枝の剥離」「洗練されたクリップ操作」を挙げている。こうした操作はトラブルを防ぎ、術後患者の予後向上のkeyとなり得るため、対応する手術場面では特に慎重な手術操作を実施すべきである。

本邦においては、前方循環の未破裂脳動脈瘤手術を行う際に distal transsylvian approach が行われることが多い。シルビウス裂がtightな症例などは、操作に難渋する場合もあるが、谷川ら¹²⁾は静脈と軟膜間をつなぐ arachnoid trabeculae の鋭的切離と静脈の温存が、静脈損傷や脳挫傷のトラブルを予防するポイントであるとしている。静脈温存を意図して剥離を行う場合には、静脈に沿ってくも膜を切開するのか、静脈についているくも膜や trabeculae を完全に剥離するいわゆる denude するのかの区別をもって剥離すると効果的である。

本稿では出血性トラブルの2例を提示したが、出血性トラブルで特に迅速かつ正確な対処が求められる場面の1つが、今回提示したような premature rupture であろう。その対処法は、①破裂誘因操作の中止、②ポイントサクションによる術野への血液流入防止と術野の確保、③母血管への temporary clipping もしくは破裂点への tentative clipping、④動脈瘤剥離を継続し最終的に頸部の閉鎖、といった手順をとるが、同時に循環管理のため麻酔科医への声かけや外回り看護師への出血量確認なども重要である。術中破裂はクリッピング経験の少ない術者に多いとする報告や resident でも expert でも同様の報告があり、その見解は一致しない⁷⁾¹³⁾。一方で、location に関しては、未破裂症例においても前交通動脈瘤で多いとの報告が散見され、この部位の未破裂瘤ではとりわけ注意を要する¹³⁾¹⁶⁾。

結 語

当院における three-hand surgery の実際と術中トラブルについて報告した。前方循環未破裂脳動脈瘤クリッピング術において、若手を術者として指導医を助手とする

three-hand surgery は安全を確保したうえで良好な治療成績をおさめることが可能であった。術中トラブルにおいては、①術野の確保、②状況把握、③いつも行っている確実な手技の実施、④血管縫合・吻合、を常に考慮し、冷静に対処することで影響を最小限にする努力が必要である。

本論文の要旨は第 51 回日本脳卒中の外科学会学術集会(2022 年 3 月, 大阪)で発表した。

著者全員は日本脳神経外科学会への COI 自己申告を完了しています。本論文の発表に関して開示すべき COI はありません。

文 献

- 1) 畑村洋太郎：失敗学実践講義。講談社，東京，2010
- 2) 畑村洋太郎：図解 使える失敗学。KADOKAWA，東京，2014
- 3) 畠山勝義：手術における指導的助手とその役割。臨外 65: 328-331, 2010
- 4) 石川達哉，数又 研，中山若樹，ほか：脳動脈瘤手術の expert を育てる教育はどのようにするか。脳卒中の外科 35: 364-369, 2007
- 5) Kurze T: Microtechniques in neurological surgery. *Clin Neurosurg* 11: 128-137, 1964
- 6) Lawton MT: Basilar apex aneurysms: surgical results and perspectives from an initial experience. *Neurosurgery* 50: 1-10, 2002
- 7) Lawton MT, Du R: Effect of the neurosurgeon's surgical experience on outcomes from intraoperative aneurysmal rupture. *Neurosurgery* 57: 9-15, 2005
- 8) Montemurro N, Scerrati A, Ricciardi L, *et al*: The exoscope in neurosurgery: an overview of the current literature of intraoperative use in brain and spine surgery. *J Clin Med* 11: 223, 2021
- 9) Piazza M, Nayak N, Ali Z, *et al*: Trends in resident operative teaching opportunities for treatment of intracranial aneurysms. *World Neurosurg* 103: 194-200, 2017
- 10) 竹内 誠，熊谷光佑，西田 翔，ほか：「失敗学」から見た脳動脈瘤手術におけるトラブルシューティング。脳卒中の外科 48: 96-102, 2020
- 11) Tamura R, Kuranari Y, Katayama M: A three-surgeon-six-hand operation using a 4K-3D exoscope for neurological surgery: a case report. *Front Surg* 9: 866476, 2022
- 12) 谷川緑野，杉村敏秀，穂苅正昭，ほか：内頸動脈瘤手術における Distal Transsylvian Approach のアドバンテージと技術的ポイント—いわゆる Pterional Approach との違い。脳卒中の外科 32: 19-24, 2004
- 13) van Lindert EJ, Böcher-Schwarz HG, Perneczky A: The influence of surgical experience on the rate of intraoperative aneurysm rupture and its impact on aneurysm treatment outcome. *Surg Neurol* 56: 151-158, 2001
- 14) Woodrow SI, Bernstein M, Wallace MC: Safety of intracranial aneurysm surgery performed in a postgraduate training program: implications for training. *J Neurosurg* 102: 616-621, 2005
- 15) Yaşargil MG: Microneurosurgery Volume I. Thieme Medical Publishers, Stuttgart, 1984
- 16) Yaşargil MG: Microneurosurgery Volume II. Thieme Medical Publishers, Stuttgart, 1984

要 旨

前方循環未破裂脳動脈瘤クリッピング術における 'three-hand surgery' の実際とトラブル対処法

大井川秀聡，鈴木 海馬，佐藤 大樹，前田 拓真，古峰 弘之
竹田理々子，吉川雄一郎，小倉 文司，栗田 浩樹

当院では，前方循環に位置する通常サイズ未破裂脳動脈瘤の開頭術においては，積極的に若手に術者を担わせ指導医が助手鏡から指導するいわゆる 'Two-Surgeon-Three-Hand Surgery' (以下，three-hand surgery) を行ってきた。近年は神経外視鏡の導入により，助手も術者と同様の 3 次元モニターを使用することになり，明るく広い術野を得ることが可能となった。当院の three-hand surgery における術中トラブル回避と対処法について，前方循環脳動脈瘤クリッピングを対象に報告する。

2012 年 1 月 1 日から 2021 年 10 月 31 日までの間，当院におい

て，前方循環の未破裂脳動脈瘤に対してシンプルクリッピング術を実施した 965 例を対象とした。

全例 three-hand surgery を行い，手術を完遂した。退院時までに modified Rankin Scale を 2 以上低下させた症例は 23 例 (2.4%) であり，原因は脳梗塞 14 例，視神経障害 7 例，その他の障害 2 例であった。

前方循環未破裂脳動脈瘤に対するクリッピングにおける three-hand surgery の実践は，安全性を担保しながら，若手術者に経験を積み，良好な治療成績を残すことが可能であった。