Hybrid operating room (HOR) における 複雑な脳血管障害に対する開頭および血管内複合治療の有用性 —Hybrid operating room 導入前後の検討—

堀口 崇, 秋山 武紀, 高橋 里史, 大平 貴之, 吉田 一成

Changes in Utility and Limits of Combined Microsurgical and Endovascular Treatment for Complex Cerebrovascular Disease before and after the Introduction of the Hybrid Operating Room

Takashi Horiguchi, M.D., Takenori Akiyama, M.D., Satoshi Takahashi, M.D., Takayuki Ohira, M.D., and Kazunari Yoshida, M.D.

Department of Neurosurgery, Keio University School of Medicine, Tokyo, Japan

Summary: Here we investigated the changes in utility and limits of combined microsurgical and endovascular treatment for complex cerebrovascular disease before and after the introduction of the hybrid operating room (HOR) in our department. Since 2006, a total of 17 patients (cerebral aneurysm in 12, cerebral arteriovenous malformation in 5) underwent integrated microsurgery with endovascular treatment. In 3 of 11 patients treated before the introduction of HOR, certain problems such as time consumption during patient transfer, disconnected workflow, and complicated operation due to poor quality of support equipment occurred. In contrast, all 6 operations in the HOR were uncomplicated. All therapeutic steps including anesthesia management were planned in a single session. In conclusion, HOR provides a safe and smooth workflow in combined microsurgical and endovascular treatment for complex cerebrovascular diseases.

Key words:

- hybrid operating room
- complex cerebrovascular disease
- combined surgical and endovascular treatment

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 46: 453-461, 2018

はじめに

近年、複雑な脳血管病変に対して開頭手術と血管内治療を複合させる治療戦略の有用性が報告されている¹⁾⁻³⁾。慶應義塾大学においては、2013年から新たに導入された手術台と血管撮影装置を兼ね備えた hybrid operating room (HOR) を使用した治療が可能となったが、以前は、モバイル C アームシステムを用いて複合治療を手術室内で完遂させるか、開頭手術終了後に血管造影室へ移動してから血

管内治療を行い、複合治療を段階的に完遂させるかを症例ごとに選択する必要があった。今回われわれは、開頭手術と血管内複合治療(術中血管撮影を含む)を行った脳血管障害の症例を、HOR 導入前後で比較することで HOR の有用性を検討した。

対象と方法

2006 年以降、筆頭著者が開頭手術を執刀し、血管内治療医と共同で複合治療を行った脳血管障害の患者 17 例

Fig. 1 Photograph showing the angiography room with C-arm on the 6th floor. The working space is quite restricted.

〔男性 10 例，女性 7 例，年齢 21-77 歳(平均 49 歳)〕を対象とした。HOR 導入前の 7 年間で前期(11 例)，導入以後の 4 年間で後期(6 例)として，治療戦略，術中に生じた問題点，転帰を比較検討した。

HOR 導入以前は，モバイル C アームシステムでは血管内治療が安全に行えないと判断した症例にかぎり，手術室がある 4 階と血管造影室がある 6 階を，個々の治療を完遂させてから移動していた。原則として，血管造影室における麻酔管理は担当科に委ねられる。**Fig. 1** に示すごとく，かなりかぎられたスペースに麻酔器，人工呼吸器，シリンジポンプなどを配置し，脳神経外科でさまざまなアラームへの対応と並行しながら，複雑な治療を行わざるを得ない状況であった。シールドルームではないため，施行可能な電気生理学的モニター類も制限されていた。HOR 導入以後の様子は，**Fig. 2** に示すごとくであり，93 m² の余裕をもった広い手術室で麻酔科による管理を継続しながら，開頭手術と並行して血管内治療を行うことが可能となった。血管撮影装置は，3,375 kHU の大容量 X 線管球を有し，フラットパネル対応の single plane digital subtraction angiography(DSA)で，8 軸関節の回転機構アームが自由に回転しながら高速かつ多彩なポジショニングを実現し，装置の非使用時には術野外に収納可能な Artis zeego multi-axis(SIEMENS, Germany)を用いている。本装置は，手術台である Magnus(MAQUET GmbH, Germany)との連携で位置関係を把握して手術台の傾斜や高さに合わせた透視角

Fig. 2 Photograph showing the hybrid operating room with the C-arm (Artis zeego) and the operating table (MAGNUS). A comfortable working space is provided.

度を自動調節することも可能である。頭部の固定は X 線透過の頭部固定装置 DORO ラジオルーセントヘッドレストシステムセット(pro med instruments GmbH, Germany)を使用している。

結 果

Table 1 に 17 例の疾患名，開頭手術と血管内手技の内容，血管撮影装置，術中に生じたなんらかの問題点，転帰を示した。前期の 11 例中，部屋を移動して血管内治療を行ったのは 4 例(症例 5, 6, 7, 9)であった。後述する治療を進行するうえでの問題が 3 例に生じた。後期の 6 例は，いずれも問題なく治療が終了した。転帰は，原疾患の重症度が理由で severe disability(SD)となった症例 5 を除き，全例で GR であったが，症例 6 は術後の minor stroke による軽度顔面神経麻痺が生じた。前期および後期の代表症例を提示する。

〈症例 5(前期)〉52 歳，男性。

突然の意識障害で発症した。来院時の意識レベルは，Japan Coma Scale(JCS)で 200 であった。頭部単純 CT では両側側脳室から第 4 脳室までを充満する脳室内出血と急性水頭症(**Fig. 3A**)を認め，脳血管撮影の結果，左内頸動脈先端部脳動脈瘤(**Fig. 3C**)の破裂と診断された。脳室内がほぼ血腫で充満されていることから，頭蓋内圧の低下を得るためには脳室ドレナージだけでは不十分であると判断し，まず手術室で全身麻酔下に内視鏡を用いて両側側脳室および第三脳室内の血腫を除去した(**Fig. 3B**)。その後，手術室から血管造影室に移動し，当科で全身麻酔を継続し

Table 1 Patients characteristics

Case	Age	Sex	Diagnosis	Surgical procedure	Endovascular treatment	Angiography	Intraoperative problems	Outcome
1	60	F	Unruptured paraclinoid AN	Neck clipping of AN	Intraoperative angiography	Mobile C-arm	No	GR
2	45	F	Unruptured paraclinoid AN	Neck clipping of AN	Temporary occlusion of parent artery	Mobile C-arm	No	GR
3	73	F	Ruptured paraclinoid AN (giant)	Neck clipping of AN	Temporary occlusion of parent artery	Mobile C-arm	No	GR
4	48	F	Unruptured paraclinoid AN (large)	Neck clipping of AN	Temporary occlusion of parent artery	Mobile C-arm	No	GR
5	52	M	Ruptured ICA AN (large) with intraventricular hematoma	Endoscopic removal of hematoma	Coil embolization of AN	Angiography system	Yes	SD
6	77	M	Unruptured BA trunk AN	OA-AICA bypass	Coil embolization of AN	Angiography system	Yes	GR (with minor stroke)
7	70	M	Recurrent coiled unruptured BA top AN	Hyflow bypass with STA-MCA bypass	Permanent occlusion of unilateral VA	Angiography system	No	GR
8	47	M	Ruptured VA dissecting AN	OA-PICA bypass	Endovascular trapping of VA	Mobile C-arm	No	GR
9	32	M	Ruptured temporal AVM	Removal of AVM	Preoperative embolization of feeder	Angiography system	No	GR
10	21	M	Ruptured parietal AVM	Removal of AVM	Intraoperative angiography	Mobile C-arm	No	GR
11	36	M	Unruptured frontal AVM (diffuse nidus)	Removal of AVM	Intraoperative angiography	Mobile C-arm	Yes	GR
12	54	F	Unruptured paraclinoid AN (large)	STA-MCA bypass + neck clipping of AN	Suction decompression	HOR	No	GR
13	57	F	Unruptured paraclinoid AN (large)	Neck clipping of AN	Suction decompression	HOR	No	GR
14	46	F	Unruptured MCA AN (large thrombosed)	STA-MCA bypass + resection of AN	Intraoperative angiography	HOR	No	GR
15	42	M	Multiple mycotic MCA AN	M4-STA-MCA bypass + trapping of AN	Intraoperative angiography	HOR	No	GR
16	50	M	Ruptured temporal AVM (large)	Removal of AVM	Preoperative embolization of feeder	HOR	No	GR
17	23	M	Ruptured temporal AVM	Removal of AVM	Intraoperative angiography	HOR	No	GR

M: male, F: female, AN: aneurysm, ICA: internal carotid artery, BA: basilar artery, VA: vertebral artery, AVM: arteriovenous malformation, MCA: middle cerebral artery, OA-AICA: occipital artery-anterior inferior cerebellar artery, STA-MCA: superficial temporal artery-middle cerebral artery, OA-PICA: occipital artery-posterior inferior cerebellar artery, HOR: hybrid operating room, GR: good recovery, SD: severe disability

ながら、動脈瘤のコイル塞栓術を行った(**Fig. 3D**)。first coil 挿入後に全身のヘパリン化を行い、手技の終了とともに硫酸プロタミンでリバースし、ふたたび手術室へ戻り、正中後頭下開頭を行い第四脳室内の血腫除去を行った(**Fig. 3E**)。部屋の移動も含めた手術時間は11時間に及んだ。慢性期に正常圧水頭症に対し脳室-腹腔短絡術を行うも、意識障害は改善せずSDの状態で転院した。

〈症例6(前期)〉77歳、男性。

3年間で形状変化を伴う増大を認めた、脳底動脈瘤本幹の未破裂脳動脈瘤(**Fig. 4A, B**)。CT血管撮影像で示すごとく、動脈瘤のドームから前下小脳動脈(AICA)-後下小脳動脈(PICA)の共通幹が分枝(**Fig. 4C**)していたため、後頭動脈(OA)-AICAバイパスを行った後に動脈瘤のコイル塞栓術を行うことを計画した。全身麻酔下に右後頭下開頭を行い、小脳表面でAICAの末梢とOAの端側を吻合した後に閉頭した(**Fig. 4D, E**)。手術室から血管撮影室に移

Fig. 3 **A:** Computed tomography (CT) image demonstrating a fully packed intraventricular hematoma with acute hydrocephalus.
B: Postoperative CT image demonstrating that the hematoma in the bilateral lateral ventricles was evacuated by the endoscopic procedure.
C: Preoperative angiogram revealed an aneurysm at the top of internal carotid artery.
D: Postembolization angiogram demonstrating complete aneurysm occlusion.
E: Postoperative CT demonstrated that the hematoma in the fourth ventricle was evacuated via the midline suboccipital approach.

動し、当科で全身麻酔を継続しながら、動脈瘤のコイル塞栓術を行った。後頭蓋窩の開頭術後であったことから全身へパリン化を行わずに、動脈瘤内へのわずかな造影剤の貯留を認める状態で手技を終了した(**Fig. 4F**)が、術後に軽度顔面神経麻痺をきたした。その後に施行したMRIで、橋被蓋に微小梗塞を認めた(**Fig. 4G**)。

〈症例 11(前期)〉 36 歳、男性。

脳ドックで発見された diffuse nidus を有する無症候性脳動静脈奇形(AVM)(**Fig. 5A, B**)。術中脳血管撮影を併用しながらの開頭摘出術を計画した。callosomarginal artery から nidus に入る feeder を 2 本(**Fig. 5C**)遮断した後に術中血管撮影を行うも、最初は描出されていた病変(**Fig. 5D**)が徐々に不明瞭となり(**Fig. 5E, F**)、nidus の残存を確認するために何度も条件を変えた撮影を繰り返す必要があった。画像解像度が悪いうえにモニターが小さいことが原因と考えられた。また、撮影のたびにモバイル C アームシステムを手動で高さや位置を調整し、撮影が終了して手術に戻るたびに移動させる必要があった。手術時間は約 10 時間に及び、AVM は全摘出されたが、術中照射時間の

延長や撮影回数が頻回となったための被曝量増多に起因すると考えられる広範囲の脱毛が数カ月間にわたって認められた。

〈症例 14(後期)〉 46 歳、女性。

頭痛の精査で発見された左中大脳動脈(MCA)大型血栓化脳動脈瘤(**Fig. 6A**)。通常のクリッピングは不可能であり、分枝(**Fig. 6B**)の犠牲を回避するために、HORで術中脳血管撮影を併用しつつ MCA の末梢に浅側頭動脈(STA)を用いたバイパスを設けた後、動脈瘤を切除する治療を計画した。ただし、STA の頭頂枝の発達が悪であったため、前頭枝を最大限有効に用いたダブルバイパスが必要であった。術中の脳血管撮影で脳表から観察できるどの血管が動脈瘤からの分枝に相当するのか、脳表に置いた動脈瘤用クリップを指標に同定(**Fig. 6C**)し、2 本の末梢枝を recipient として剝離した。採取した STA を最短距離で吻合できる場所に足る長さで切断し、1 本目の STA-MCA バイパスを端側吻合で完成させた後、切断して余った STA の一端を STA 前頭枝に端側吻合し、もう一方を、先ほど選定したもう一方の MCA に端側吻合し

Fig. 4 **A:** Magnetic resonance angiograph (MRA) in 2009 demonstrating a tiny aneurysm at the basilar trunk.
B: MRA in 2012 demonstrating aneurysm growth with a change in shape.
C: Preoperative three-dimensional computed tomography (3D-CT) angiogram revealed an anterior inferior cerebellar artery (AICA)-posterior inferior cerebellar artery (PICA) common trunk arising from the aneurysm dome.
D: Intraoperative photograph showing the final view of the surgery for occipital artery-AICA (OA-AICA) bypass.
E: Postoperative angiography of the right external carotid artery demonstrating patency of the OA-AICA bypass.
F: Post-embolization MRA demonstrating a tiny remnant of the aneurysm.
G: Postoperative diffuse-weighted image (DWI) revealing a small infarction at the pontine tegmentum due to the embolic complication.

A	B	C
D	E	F
G		

て、ダブルバイパスを完成させた(**Fig. 6D, E**)。動脈瘤を剝離した後、動脈瘤から分岐する MCA を一時遮断して脳血管撮影を行い、バイパスからの血流が意図した MCA の領域を灌流することを確認した後、動脈瘤をトラップし、血栓を除去後に周囲から剝離して摘出した。術後経過は良好であった(**Fig. 6F**)。

〈症例 16(後期)〉50 歳、男性。

静脈灌流障害から対側の側頭葉および頭頂葉に出血を生じた右側頭葉の大型 AVM(**Fig. 7A-C**)。入院当日に緊急で上矢状静脈洞の狭窄部位をバルーンで拡張し、静脈灌流を正常化させた。日をあらためて行った脳血管撮影で、nidus 内に動脈瘤を認めたため、その後多段階的に動脈瘤のコンパートメントから離れた MCA および外頸動脈からの feeder を n-butyl-2-cyanoacrylate(NBCA)で順次塞栓し、nidus を縮小させた。最終的に HOR で動脈瘤のコンパート

メントに近い feeder の塞栓術を行い、同日に開頭で AVM の摘出術を行った。transsylvian および subtemporal approach で、残った feeder の凝固切断を繰り返した。適宜術中血管撮影で feeder の位置や、nidus への血流および静脈灌流の状態などを確認(**Fig. 7D-F**)しながら、残る MCA および PCA からの feeder を切断し、main feeder すべての完全遮断を確認後、nidus の周囲を白質内で剝離し、navigation 下に脳室内へ到達した後、前脈絡叢動脈の nidus への流入部を凝固切断した。病変の全周を剝離して、最終的に blue vein となったシルビウス静脈を切断し、AVM を一塊に摘出した(**Fig. 7G, H**)。術後、神経学的脱落症状はなく、経過良好で独歩退院となった。

考 察

今回われわれが提示した HOR を使用した 6 症例は、いずれも術中に問題を生じることなく手技を完遂することが

Fig. 5 **A, B:** Preoperative angiograph showing an arteriovenous malformation (AVM) with a diffuse nidus at the left frontal lobe.
C: Intraoperative photograph showing two main feeders (white arrows) on the surface of the frontal lobe.
D: Intraoperative angiograph after application of the temporary clip to the 1st feeder. The nidus is still visible.
E: Intraoperative angiograph after application of the temporary clip to the 2nd feeder. The nidus is still visible but unclear.
F: Intraoperative angiograph taken during dissection of the nidus. The nidus is unclear with the mobile C-arm system.

A	B	C
D	E	F

可能であり、転帰も良好であった。一方、HOR 導入前の 11 例中 3 例で治療中に問題が生じていた。

症例 5 は、2 度の部屋移動が必要となり、搬送に伴う時間の浪費と医療安全管理上の問題が考えられた。コイル塞栓術を最初に行えば、1 回の部屋移動で治療は完遂できたが、脳保護の観点から急性水頭症の治療を優先するべきであり、また、第四脳室内の血腫除去は開頭で行うため、全身ヘパリン化を必要とする脳動脈瘤コイル塞栓術の後に施行するべきであると判断した。仮に HOR で本例が治療されていたとしても、手術の順序は変わらなかったと思われるが、おのおのの準備や一部の手技を同時に進めることは可能であり、移動の時間も含めた治療の完遂に要する時間は大幅に短縮したはずである。また、麻酔管理上の問題は顕在化していないが、HOR であれば術者が手術に専念できたであろうことも有利な点である。医療安全上、麻酔科による全身管理の継続が望ましいことはいうまでもな

い。Mori ら⁶⁾は脳室内血腫を伴った破裂脳動脈瘤の 2 症例を神経内視鏡を用いた血腫除去術と脳動脈瘤コイル塞栓術で治療した経験から、HOR の有用性を報告している。本症例で転帰が悪かったのは、原疾患の重症度が原因であると思われるが、過去の報告にもあるように²⁾⁸⁾複数の治療を組み合わせる必要がある治療困難な破裂脳動脈瘤症例であっても、HOR を利用することで、より効果的な治療が計画可能かつ実践できる可能性が示唆された。

症例 6 は、開頭手術と血管内治療を二段階で切り離して遂行したために、全身ヘパリン化が行えなかったことが問題であった。近年、HOR においてヘパリン化のタイミングや投与量を調整することで、比較的安全に開頭手術と血管内治療を複合できることが報告⁴⁾⁹⁾されており、われわれの症例も HOR が使用可能であれば、バイパス術終了の段階で一度簡易的に閉創し、創部の観察を行いながら全身ヘパリン化を行ったうえで脳動脈瘤をコイル塞栓し、手技

Fig. 6 **A:** Preoperative three-dimensional computed tomography angiography (3D-CTA) demonstrating a giant thrombosed middle cerebral artery aneurysm.
B: Preoperative angiograph demonstrating two branches rising from the aneurysm neck.
C: The cortical recipient arteries (arrowheads) are visible on intraoperative angiography.
D: Intraoperative angiograph demonstrating patency of the superficial temporal artery-middle cerebral artery (STA-MCA) bypass. The black and white arrowheads show the first and second sutured points of the MCA, respectively. The arrow indicates the intermediate STA graft.
E: Intraoperative photograph. Black and white arrowheads show the first and second sutured points of the MCA, respectively. The arrow indicates the intermediate STA graft.
F: Postoperative angiograph demonstrating patency of the STA-MCA bypass (arrowheads).

が終了した段階でヘパリンの効果を減弱させた後、再度開創して確実な止血を確認しながら閉頭することで、脳梗塞の合併症を回避し得たと考えた。

複雑な AVM を治療するにあたって、HOR が有用であるとする報告も増え始めている³⁾⁵⁾⁸⁾。症例 11 は、AVM の摘出に関する治療戦略には問題はないものの、画像解像度

Fig. 7 **A, B:** Preoperative computed tomography (CT) image demonstrating an intracerebral hematoma of the left temporal and frontal lobes.
C: Preoperative three-dimensional (3D-CT) angiograph demonstrating a huge arteriovenous malformation (AVM) located in the right temporal lobe with stenosis of the superior sagittal sinus.
D: Intraoperative angiograph demonstrating the nidus feeding from the middle cerebral artery.
E: Intraoperative angiography demonstrating the nidus feeding from the posterior cerebral artery.
F: Intraoperative angiography demonstrating the nidus feeding from the dilated anterior choroidal artery.
G: Intraoperative photograph demonstrating the huge AVM.
H: Intraoperative photograph demonstrating the complete resection of the huge AVM.

を含めた血管撮影装置の性能が理由で、術中血管撮影の回数が増し、加えて度重なる装置の移動や位置調整の煩雑さが問題となった。術中確認の脳血管撮影のみで、術後に広範囲の脱毛を生じたことは、被曝量が多いことを意味する。これは安全性の観点からも看過できない。対照的なのがHORで治療した症例16である。複数回に分けた段階的feeder塞栓術を計画するうえで、特に出血のリスクが

高くなる部位を治療するときには、開頭術に切り替え可能な準備をすることが望ましい⁸⁾。本例は、最終段階の塞栓術を午前中に行い、午後から開頭による摘出術をHORで一期的に行う計画を立てた。午前午後で異なる手技の治療となるが、1つの手術として麻酔科による全身管理が継続され、治療の切り替えはスムーズに進んだ。術中の血管撮影も、高い解像度の画像を広いパネルで観察することで病

変の細部までが観察し得た。血管撮影装置の移動や位置の調節なども、コントローラーで容易に行えることから、最小限の撮影回数で治療が進行し、安全かつ効率的に病変の摘出が行えた。また、前脈絡叢動脈を処理する際に、術中 navigation を用いて脳室の位置を同定したが、脳血管撮影の動脈をもとに正確な部位を同時に確認できるため、仮に髄液が抜けることで brain shift が生じても位置の修正が可能であることも HOR の利点になり得ると考えた。

症例 14 は、まず動脈瘤および分岐血管を視認してからバイパスを置くことも考えたが、STA の長さにも制限があることから、術中血管撮影を navigation として用いることで、より距離が短いルートで吻合ができる recipient を脳表で正確に同定する必要があった。また、動脈瘤切除後に、バイパスが狙った範囲を灌流することを確認する必要もあった。この目的だけであれば、従来のモバイル C アームシステムでも遂行できたかもしれない。しかしながら、過去に経験した血管撮影装置としての性能の違いや操作の煩雑性を考えると、複雑な病変に対する各治療のステップが円滑に進み、最後まで安全に治療が完遂できることは、HOR の有利な点として強調するべきであると考えられた。

以上、われわれは、①術野を観察しながら、リアルタイムに血管の解剖学的情報あるいは、目標とする血管の血流や灌流範囲に加え、バイパス開存などの機能的情報を得る必要がある症例、②一期的に開頭術と血管内治療を組み合わせる必要がある複雑な血管病変の症例は、HOR のよい適応と考え、さらに経験を重ねていきたいと考えている。

結 語

複雑な脳血管病変に対する開頭手術と血管内治療(術中血管撮影を含む)の複合治療は、HOR を使用することで、より安全かつ円滑に完遂させることが可能であった。手術

室のスタッフがそのまま血管内治療にも参加できる利点を生かし、さらに HOR を利用する適応疾患が増加することが期待される。

本論文の要旨は、第 46 回日本脳卒中の外科学会(2017 年 3 月 17 日、大阪)において発表した。

文 献

- 1) Armonda RA, Thomas JE, Rosenwasser RH: The interventional neuroradiology suite as an operating room. *Neurosurg Clin N Am* 11: 1-20, 2000
- 2) Choudhri O, Mukerji N, Steinberg GK: Combined endovascular and microsurgical management of complex cerebral aneurysms. *Front Neurol* 4: 108, 2013
- 3) 菱川朋人, 杉生憲志, 安原隆雄, ほか: 岡山大学における Hybrid OR での手術. 脳卒中の外科 44: 125-131, 2016
- 4) Iihara K, Satow T, Matsushige T, *et al*: Hybrid operating room for the treatment of complex neurovascular and brachiocephalic lesions. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 22: e277-285, 2013
- 5) Kotowski M, Sarrafzadeh A, Schatlo B, *et al*: 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
- 6) Mori R, Yuki I, Kajiwarra I, *et al*: Hybrid operating room for combined neuroendovascular and endoscopic treatment of ruptured cerebral aneurysms with intraventricular hemorrhage. *World Neurosurg* 89: 727, 2016
- 7) Murayama Y, Irie K, Saguchi T, *et al*: Robotic digital subtraction angiography systems within the hybrid operating room. *Neurosurgery* 68: 1427-1432, 2011
- 8) Murayama Y, Arakawa H, Ishibashi T, *et al*: Combined surgical and endovascular treatment of complex cerebrovascular diseases in the hybrid operating room. *J NeuroInterv Surg* 5: 489-493, 2013
- 9) 西村 中, 飯原弘二: 巨大脳動脈瘤に対するハイブリッドアプローチ. 脳外速報 26: 908-913, 2016