

〈脳神経外科速報 vol.31 no.2 e20213102a, 2021〉

未破裂脳動脈瘤に対する クリッピング術における、 3次元合成画像を利用した 術前評価の有用性

小川正太郎^{1, 2)}, 吉野正紀^{1, 3)}, 原 貴行¹⁾

1) 国家公務員共済組合連合会虎の門病院脳神経外科 〒105-8470 東京都港区虎ノ門2-2-2

2) 東京都立多摩総合医療センター脳神経外科

3) 東京警察病院脳神経外科

Key Slide

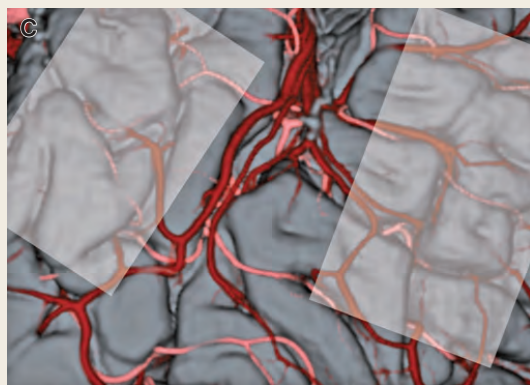


Fig.1

C : Fusion images were created with 3D virtual view.

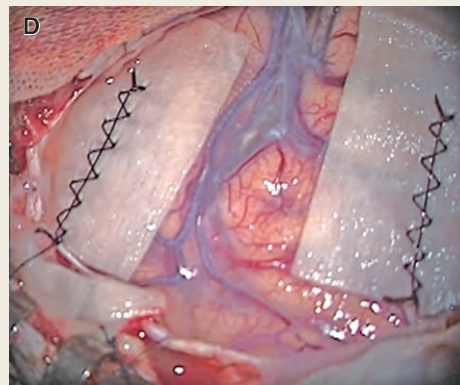


Fig.1

D : Real surgical field. Fusion images reflected surgical field quite well.

The usefulness of preoperative evaluation using three - dimensional fusion images in clipping of unruptured cerebral aneurysms

Shotaro OGAWA^{1,2)}, Masanori YOSHINO^{1,3)}, Takayuki HARA¹⁾

1) Department of Neurosurgery, Toranomon Hospital

2) Department of Neurosurgery, Tokyo Metropolitan Tama Medical center

3) Department of Neurosurgery, Tokyo Metropolitan Police Hospital

In aneurysmal clipping, opening the Sylvian fissure is most essential. Only with conventional or computed tomography angiography (CTA), however, it is sometimes difficult to decide where to start the dissection of Sylvian fissure preoperatively. In this study, the authors newly developed three-dimensional fusion images for the simulation of aneurysmal clipping and evaluated their clinical use.

In 2017, 23 patients who underwent clipping of middle cerebral artery (MCA) aneurysm were included in this study (10 men, 13 women: average age 64.5, range 42-80 years). The average size of aneurysm was 6.7mm (range 5.0-17.0mm), and about half of them had blebs. In all patients, fusion images were constructed within about 30 minutes. Fusion image were created as follows: ① DICOM data obtained from 3D rotational angiography (RA), venography (RV), computed tomography (CT), and fluid attenuated inversion recovery (FLAIR). ② These data were superposed with imaging software (ZIOSTATION[®]). ③ Fusion images were created with 3D virtual view (pterional approach). There were no complications associated with angiography.

Using the data from RA and RV, vessel images became high definition and arteries and veins were quite differentiated. Together with FLAIR image, brain surface was also well represented.

The correlation between the actual operative field and the fusion image was examined. The positional relationship between superficial Sylvian vein (SSV) and sulcus, the aneurysm and brain, were evaluated as “well correlated” in all 23 cases. In 20 of 23 cases, the surgeon could open the Sylvian fissure as preoperative simulation. Intraoperative policy change was necessary in 3 cases in which there were very thin bridging veins that could not be confirmed in our fusion image. The contribution of fusion image for surgery was evaluated to be “useful” or “neither” in all cases, and for residents, it was evaluated to be “useful” in all cases.

3D fusion images with this technique enable the surgeons to evaluate where to start the Sylvian dissection to get widest space and also enable them to take care of small veins attached to the aneurysms during clipping. Preoperative simulation with these fusion images was quite useful especially for the less experienced neurosurgeons.

Key Words : Cerebral aneurysm surgery, Fusion image, Angiography, Preoperative simulation

(Received May 26, 2020; Accepted October 6, 2020)

Correspondence to Shotaro OGAWA, M.D.,

Department of Neurosurgery, Tokyo Metropolitan Tama Medical center, 2-8-29 Musashidai, Fuchu-shi, Tokyo, 183-8524, Japan

E-mail: brachiocephalic.t.gm[at]gmail.com

I. 緒言

近年、3次元画像を用いた術前検討が、脳神経外科手術の安全性向上に有用との報告が散見される^{1~4)}。脳動脈瘤の開頭クリッピング術においても、computed tomography angiography (CTA) や magnetic resonance angiography (MRA) を中心とした3次元画像の有用性が報告されているが^{5~7)}、それらのみではシルビウス静脈や動脈瘤周囲の静脈といった微小構造物の3次元的描出が時に困難であり、術野を完全に再現しているとは言い難い。経験豊富な術者であれば、術前検討と異なった状況に遭遇しても手術を進めていくことは可能であるが、手術経験の乏しい術者にとっては術前検討と異なる状況に遭遇した際に、その状況から手術を進めることができなくなり、術者交代になることも少なくない。

そこで当院ではCTAより空間分解能が高い3次元脳血管撮影を使用し、さらにMRI、CTも用いて作成した3次元合成画像（以下、fusion画像）を利用して術前検討を行っており、今回脳神経外科専攻医が経験することも多い中大脳動脈瘤のクリッピング術を対象として、このfusion画像の有用性について検討したため報告する。

II. 対象と方法

2017年1月から12月までに当院で開頭クリッピング術を施行し、fusion画像による術前検討を行った未破裂中大脳動脈瘤23例を対象とした。手術は経験豊富な指導医2人、指導医の下、専攻医5人（専門研修1年目1人、2年目1人、3年目3人）の計7人が執刀した。

1) 使用した画像撮影装置

MRIはIngenia 3.0T（フィリップス・ジャパン）を用いて3D fluid attenuated inversion recovery (FLAIR)を取得した。撮像条件は、3D-Turbo Spin Echo, repetition time : 4,500 ms, echo time : 305 ms, inversion time : 1,600 ms, field of view : 230 × 230 mm, matrix size : 178 × 288, slice thickness : 0.8 mm, scan time : 4.5 minとした。

CTはAquilion PRIME（キャノンメディカルシステムズ）を用いて撮影した。撮影条件は、tube voltage : 120 kV, tube current : 300 mA, tube rotation time : 1.0s/rot, FOV : 240 mm, slice thickness : 0.5 mmで頭部のボリュームスキャンを行った。

血管撮影はAllura Xper FD 20/20（フィリップス・ジャパン）を用いて4.1秒間

の回転撮影を行い、3D 画像を取得した。造影剤注入条件は内頸動脈撮影（動脈相）の場合、造影剤総量 20 ～ 25 mL を 3 ～ 4 mL/s の速度で注入した。Xray-delay time は目的部位に応じて変更（1.5 ～ 3 秒）した。静脈層の撮影は造影剤総量 20 ～ 25 mL を 3 ～ 4 mL/s で注入したが、Xray-delay time は目的部位に応じて変更（6 ～ 10 秒）した。撮影の基本条件は、tube voltage : auto, frame rate : 30 fr/s, rotation angle : 210°であり、画像再構成条件は、cube size : 140 % reconstruction, kernel : sharpen, matrix : 512 × 512 とした。

2) Fusion 画像の作成

ワークステーションは ZIOSTATION 2[®]（ザイオソフト）を用い、放射線技師が作成した。まず DICOM 画像データを ZIOSTATION 2[®] に転送し、FLAIR を基準として 3次元脳血管撮影および CT を fusion した。画像の fusion には一部用手的操作が必要であった。動脈および静脈は 3次元脳血管撮影から、脳および骨は FLAIR および CT から、ボリュームレンダリング法を用いて作成した。

3) Fusion 画像を用いた術前検討

最終的な fusion 画像は術者の視軸で構成し、骨から脳表、脳深部へと断層的に観察でき、動脈と静脈も識別が可能な状態とした。また画像は院内画像サーバーに転送し、電子カルテで閲覧可能な状態とした。実際の術前検討においてはまず、fusion 画像を用いて脳表に対する動脈瘤の位置を特定し、その上で動脈瘤に到達するための経路を評価した。中大脳動脈瘤に対する transsylvian approach ではシルビウス裂の必要十分な開放が肝要であり、fusion 画像から前頭葉側と側頭葉側それぞれに帰属する SSV（superficial sylvian vein）を判断し、シルビウス裂が最も広く開放できる進入路をプランニングした（Fig. 1）。

4) 有用性の評価

術前に作成した fusion 画像と実際の開頭術野を比較した。評価項目は、SSV の本数、SSV と脳溝の位置関係、動脈瘤と脳実質の位置関係の計 3 項目とした。それぞれの項目で fusion 画像と実際の術野とを比較し、以下の 3 段階で評価した（3 点：よく相関していた、2 点：どちらともいえない、1 点：あまり相関していなかった）。評価は、執刀医以外の脳神経外科専攻医 1 名が行った。

また、実際の手術での貢献度について術者に術後アンケートを行い、3 点：有用であった、2 点：どちらともいえない、1 点：有用でなかった、の 3 段階で評価をした。本 fusion 画像の作成と評価については当院倫理委員会の承認を受けており、各種画像検査は患者への十分な説明と同意を取得した上で施行した。

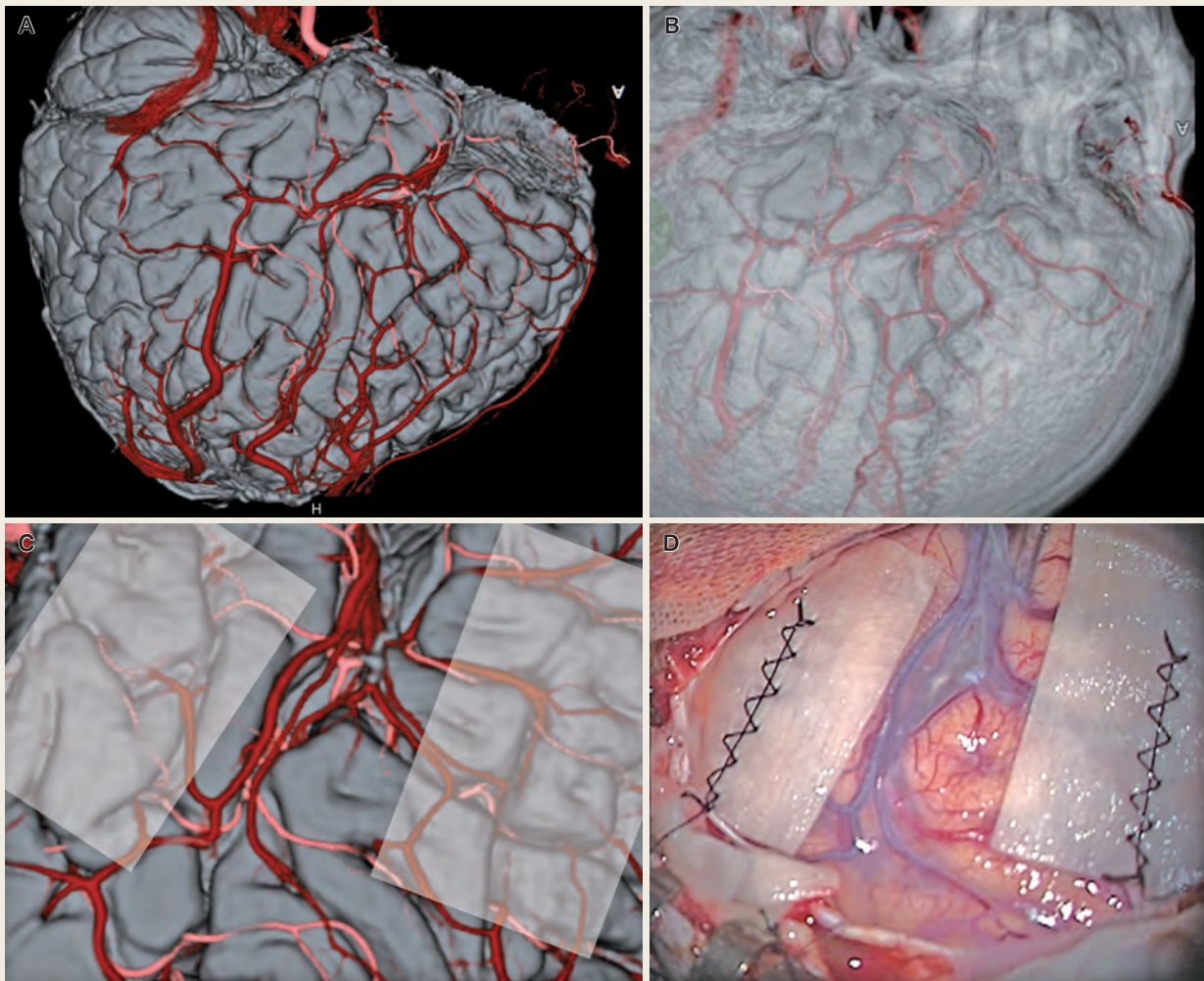


Fig.1

- A : DICOM data obtained from 3D rotational angiography (RA), venography (RV), CT (bone image), and MRI (FLAIR) was superposed with imaging software (ZIOSTATION®).
- B : Translucent skull image enable us to decide craniotomy site preoperatively.
- C : Fusion images were created with 3D virtual view.
- D : Real surgical field. Fusion images reflected surgical field quite well.

III. 結 果

患者の平均年齢は 64.5 歳 (42 ~ 80 歳) で男性 10 人, 女性 13 人であった。動脈瘤の最大径の平均は 6.7 mm (5.0 ~ 17.0 mm) で, 約半数にブレブを伴っていた。全例で fusion 画像の作成が可能であり, 画像作成に要した時間はおおむね 30 分以内であった。また, 血管撮影に伴う合併症は認めなかった。

実際の術野と fusion 画像との相関について項目ごとに検討すると, SSV と脳溝の位置関係, 動脈瘤と脳実質の位置関係は 23 例全例で「よく相関していた」との

Table 1 Patient characteristics and post-operative evaluation about 3D fusion image

Correlation between fusion images and surgical field (blue columns) (3: well correlated, 2: neither, 1: poorly correlated) .
 Postoperative evaluation about fusion image (gray column) (3: useful, 2: neither, 1: not useful)

No.	Age (y. o.)	Sex (M/F)	Aneurysmal size (mm)	Evaluation about number of SSV	Evaluation about location of SSV	Evaluation about location of aneurysm	Change strategy when opening the sylvian fissure	Postoperative evaluation	operator
1	69	F	6.5	3	3	3	no	3	Resident (2 nd grade)
2	71	M	8.0	3	3	3	no	3	Specialist
3	62	M	17.0	3	3	3	no	3	Specialist
4	47	F	5.0	3	3	3	no	3	Specialist
5	42	M	5.0	3	3	3	no	3	Specialist
6	57	M	5.8	3	3	3	no	3	Specialist
7	57	F	6.9	3	3	3	no	3	Resident (3rd grade)
8	77	F	9.4	3	3	3	no	3	Specialist
9	70	M	5.4	3	3	3	no	3	Resident (1st grade)
10	71	F	5.0	3	3	3	no	3	Resident (3rd grade)
11	58	M	9.0	3	3	3	no	3	Resident (3rd grade)
12	80	F	5.0	3	3	3	needed	3	Resident (1st grade)
13	73	F	5.5	3	3	3	needed	3	Resident (3rd grade)
14	72	F	5.1	3	3	3	no	3	Specialist
15	65	F	5.5	3	3	3	needed	3	Resident (3rd grade)
16	78	M	5.6	3	3	3	no	3	Specialist
17	64	M	6.4	3	3	3	no	3	Resident (3rd grade)
18	73	F	7.0	3	3	3	no	3	Specialist
19	65	M	5.0	3	3	3	no	3	Specialist
20	58	F	6.1	3	3	3	no	3	Specialist
21	54	F	8.0	3	3	3	no	3	Specialist
22	77	F	5.0	1	3	3	no	2	Specialist
23	53	M	7.0	3	3	3	no	3	Resident (1st grade)

評価であった。最もシルビウス裂を広く開放できる進入路（前頭葉側，静脈間，側頭葉側）を術前シミュレーションで決定してから手術に臨んだ結果，23 例中 20 例で術前シミュレーションどおりの開放が可能であったが，3 例では術中の方針変更が必要であった。方針変更の理由としては，3 例とも術前画像では確認できなかった非常に細い SSV や架橋静脈が存在していたためであった。

手術での貢献度については全例で有用であった，もしくは，どちらともいえないとの評価であり，若手術者では全例で有用との評価であった（Table 1）。以下に代表症例を提示する。

1) 症例 9：70 歳男性

左中大脳動脈分岐部外側やや下向きに存在する 6.0 mm 大の動脈瘤に対して，左

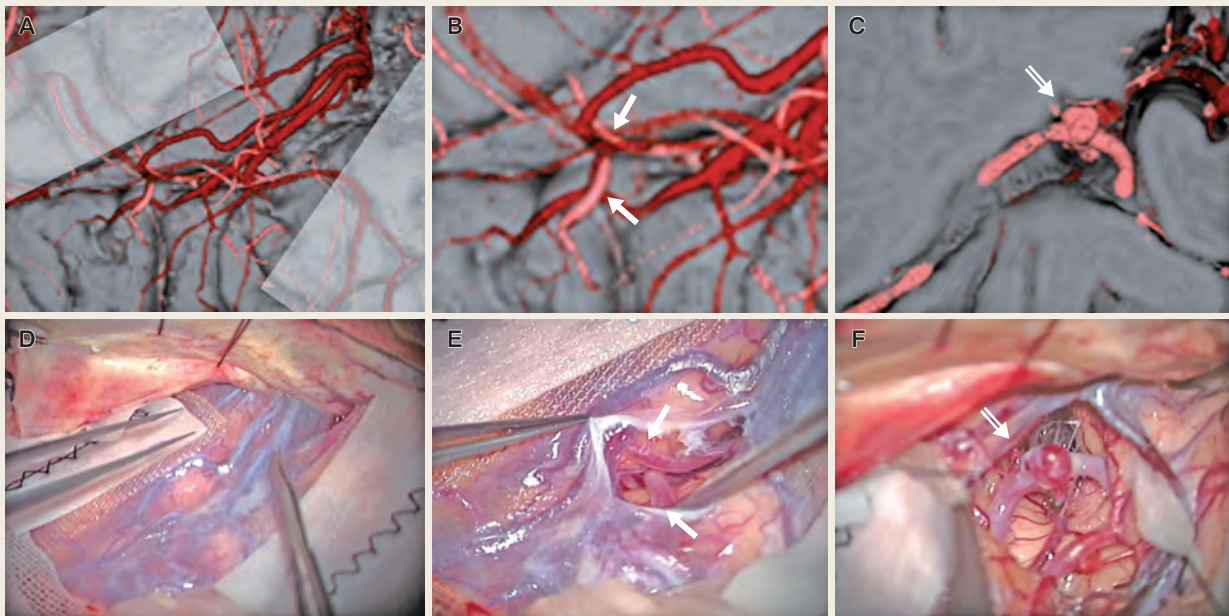


Fig. 2

A ~ C : 3D fusion image, D ~ F: actual operation view. Brain surface image (A) matched to actual surgical field (D) including SSV as well as middle cerebral artery (M4) (white arrows). The shape and location of aneurysm were accurately predicted in fusion image (white arrow).

前頭側頭開頭でクリッピング術を行った。Fusion 画像では3本のSSVを認め、静脈分岐部の位置も術前に把握することが可能となり、シルビウス裂の開放の手順を詳細に検討することが可能であった。実際の手術でも3本のシルビウス静脈が同定でき、また分岐部もfusion画像と同様の所見であり、fusion画像と術野の相関は良好であった。実際の手術では、術前の検討どおりシルビウス静脈の剥離が可能であった (Fig. 2)。

IV. 考 察

既存の研究では動脈と脳表の位置関係もしくは動脈と骨の位置関係に着目した再構成画像についての報告は多いが^{1-3,7)}、静脈の評価を正確に行った報告は少ない⁴⁾。3次元CT血管撮影でも時相を変えることで動静脈の区別は可能であるが、それぞれ一時相での画像であり、血行動態の把握は困難である。カテーテルを用いた血管撮影は血行動態の把握には大変有用であるが、従来の画像は白黒の2次元画像であり、静脈1本ずつの区別は困難であった。今回我々が作成したfusion画像は動脈の3次元画像はもちろんのこと、特にシルビウス静脈をはじめとする静脈系についても、分岐部や流出入経路を含めて精密に評価が可能である。

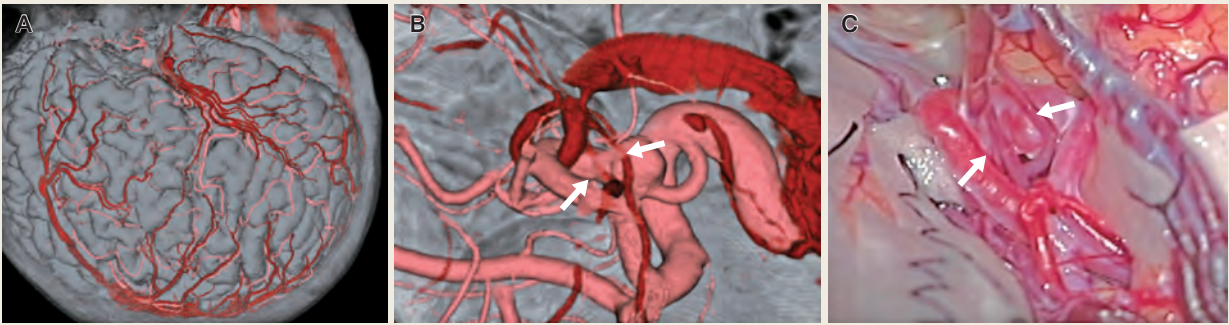


Fig. 3

A : Brain surface image.

B : Fusion image around the aneurysm. We could predict two veins (white arrows) sticking to the aneurysm preoperatively.

C : Real surgical field. Two veins really adhered to the aneurysm (white arrows).

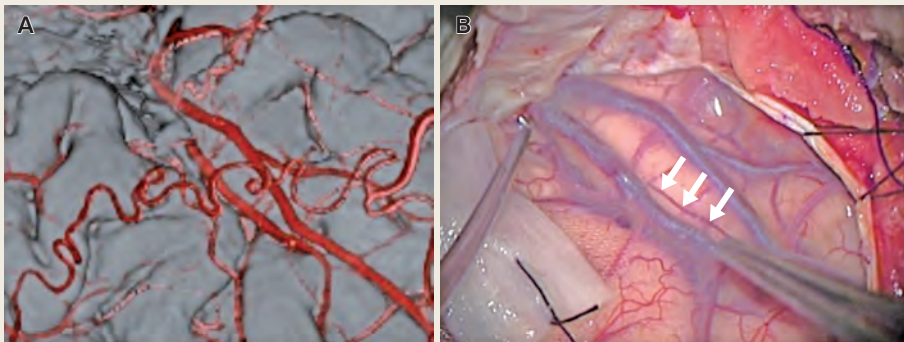


Fig. 4

A : Brain surface image in 3D fusion image.

B : Real surgical field. A small vein (white arrows) existed that could not be detected with fusion image.

動脈瘤の手術において静脈損傷による合併症の報告は多く^{8~12)}, 低い合併症率が求められる未破裂動脈瘤の治療において静脈の温存は重要である^{13~15)}. 今回我々が作成した高解像度の fusion 画像を用いた術前検討は, シルビウス裂の必要十分な開放を容易にし, 余分な操作や過度の牽引に伴う静脈損傷を防ぐことができると考えられる. また細かい動静脈も色分けすることで識別可能であるため, 症例 18 のように瘤に癒着する血管が動脈か静脈か, 静脈である場合, その灌流路がどこかという点まで詳細に検討できる利点もある (Fig. 3).

動脈瘤クリッピング術において血管撮影という侵襲性のある検査を行うかどうかに関しては議論の余地があるが, 血管内治療の発展に伴う血管撮影画像, 特に 3次元画像の立体分解能や解像度の進歩は目覚ましく, それが直達手術に関しても (特に専攻医においては) 有用と考える (Fig. 4). 付記しておくが, 当院では動脈瘤は

最初からクリッピングありきというスタンスではなく、血管内治療医と協議する上で治療対象となる動脈瘤患者には部位にかかわらず全例血管撮影を行っている。今後開頭術と血管内治療術のハイブリッド術者が増えてゆくことを考えると、脳血管撮影検査は動脈瘤診療には必要な検査でありつづけると考える。

一方で本研究において、23例中3例ではシルビウス裂の開放において術中の方針変更が必要であった。血管撮影検査時の撮像タイミングや空間分解能によって、現行のfusion画像ではとらえきれない血管構築があることを認識しておく必要があると思われた。また、実際の術野では視軸の決定や術野展開のための牽引の方法など本fusion画像のみでは予測、習得が難しいこともあり、実際の手術に当たってはfusion画像を用いた十分な術前検討を行った上で開始し、術中はその場での判断で適宜変更を行うことが肝要である。

V. 結 語

3次元再構成画像を利用した術前評価は術中所見を正確に反映し、静脈損傷をはじめとした合併症の予防に有用である。

文献

- 1) 青木靖子, 遠藤英徳, 新妻邦泰, 他: Fusion imageを用いた前脈絡叢動脈の解剖学的variationの術前評価. Neurological Surgery 脳神経外科 41: 1075-80, 2013
- 2) 平松匡文, 杉生憲志, 菱川朋人, 他: 3DDSA-MRI fusion画像を用いた脳血管障害に対する開頭手術術前シミュレーション. 脳卒中の外科 45: 270-5, 2017
- 3) 石黒太一, 八木伸一, 清水庸夫, 他: 3-D CTとthin slice MRIの3次元融合画像を用いた前床突起近傍の内頸動脈瘤に対する手術シミュレーションについて. 脳外速報 22: 1304-10, 2012
- 4) Saito N, Kin T, Oyama H, et al: Surgical simulation of cerebrovascular disease with multimodal fusion 3-dimensional computer graphics. Neurosurgery 60: 24-9, 2013
- 5) 黒住和彦, 小野田恵介, 土本正治: 3D-CTA術前診断による破裂脳動脈瘤手術. 脳卒中の外科 29: 53-8, 2001
- 6) Nagai M, Watanabe E: Benefits of clipping surgery based on three-dimensional computed tomography angiography. Neurol Med Chir (Tokyo) 50: 630-7, 2010
- 7) 西村真実, 米澤慎悟, 小濱みさき, 他: 未破裂中大脳動脈瘤の外科治療を安全に行うための工夫. 脳卒中の外科 37: 283-7, 2009
- 8) 間中 浩, 坂井信幸, 永田 泉, 他: 無症候性未破裂脳動脈瘤の治療成績・術後合併症. 脳卒中の外科 29: 414-9, 2001
- 9) 斎藤文男, 原岡 襄, 伊東 洋, 他: Pterional approachにおける静脈処理の問題点 Fronto-temporal bridging veinの考察. 脳卒中の外科 26: 237-41, 1998
- 10) 牛越 聡, 伊藤文生, 斎藤久寿, 他: 未破裂脳動脈瘤の外科治療. 脳卒中の外科 23: 429-34, 1995
- 11) 山下哲男, 長光 勉, 林田 修, 他: 未破裂脳動脈瘤手術における静脈梗塞. 脳卒中の外科 29: 178-82, 2001
- 12) 安井敏裕, 岸 廣成, 小宮山雅樹, 他: 未破裂脳動脈瘤の治療指針. 脳卒中の外科 29: 85-90, 2001
- 13) 波出石弘: シルビウス裂の開放. 脳外速報 13: 931-5, 2003
- 14) 穂刈正昭, 谷川緑野, 林 恵充, 他: Distal transsylvian approachにおける静脈温存の工夫と技術的ポイント—Superficial sylvian veinの側頭葉側からの剥離—. 脳卒中の外科 31: 349-54, 2003
- 15) 横山和弘, 野口博史, 内山佳知, 他: 未破裂脳動脈瘤に対するpterional approachの低侵襲手術. 脳卒中の外科 34: 389-94, 2006