

# 高流量バイパス術におけるバリエーション —より安全, 確実, シンプルな方法を目指して—

大井川秀聡<sup>1</sup>, 宇野 健志<sup>1</sup>, 栗田 浩樹<sup>2</sup>, 松野 彰<sup>1</sup>

## Variation in Surgical Procedure of High-flow Bypass

Hidetoshi OOIGAWA, M.D.<sup>1</sup>, Takeshi UNO, M.D.<sup>1</sup>, Hiroki KURITA, M.D.<sup>2</sup>, and Akira MATSUNO, M.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Neurosurgery, Teikyo University School of Medicine, Tokyo, and <sup>2</sup>Department of Cerebrovascular Surgery, Saitama International Medical Center, Hidaka, Saitama, Japan

**Summary:** Extracranial-to-intracranial high-flow bypass (HFB) associated with intentional internal carotid artery occlusion has been mainly applied for complex intracranial aneurysms, including symptomatic cavernous sinus segment, blood blister-like, and large unclippable paraclinoid aneurysms. Although the surgical procedure of HFB has been established, some variations in the surgical procedure have been reported.

The purpose of the present study was to discuss the variations in the surgical procedure of HFB and their efficacy.

Twenty-five consecutive patients who underwent HFB between January 1, 2010 and March 31, 2017 were included in this study. The type and route of the graft vessel, creating an auxiliary bypass before the main graft anastomosis, and systemic heparinization were discussed as variations in the procedure.

The radial artery (RA) was used as a graft vessel in 21 patients, and the greater saphenous vein, in 4. The graft route was constructed from the proximal external carotid artery to the middle cerebral artery through the infratemporal fossa in all cases. In the upper cervical portion, a lower route between the hypoglossal nerve and posterior belly of the digastric muscle was chosen in 23 patients. In contrast, an upper route superior to the digastric muscle was used in 2 patients. Auxiliary bypass was used in only 2 patients who needed temporary occlusion of the dominant M2 during M2-RA anastomosis. Systemic heparinization was performed in all cases.

Postoperatively acute graft vessel occlusion was found in one case. Cerebral infarction after HFB was detected in 2 cases. Chronic graft vessel occlusion occurred in 1 patient, with no clinical symptom. No intracranial hemorrhagic complication accompanied by systemic heparinization was found.

HFB is an effective procedure to overcome complex intracranial aneurysms. Although the surgical procedure has been established, some variations are often adopted. Acquiring surgical skill in the procedural variations is essential for successful postoperative results.

### Key words:

- high-flow bypass
- graft vessel
- graft course

Surg Cereb Stroke  
(Jpn) 47: 103-108, 2019

<sup>1</sup>帝京大学医学部 脳神経外科, <sup>2</sup>埼玉医科大学国際医療センター 脳卒中外科(受稿日 2017. 11. 17)(脱稿日 2018. 1. 29)(連絡先: 〒173-8606 東京都板橋区加賀 2-11-1 帝京大学医学部 脳神経外科 大井川秀聡) [Address correspondence: Hidetoshi OOIGAWA, M.D., Department of Neurosurgery, Teikyo University School of Medicine, 2-11-1 Kaga, Itabashi-ku, Tokyo 173-8606, Japan]

## はじめに

内頸動脈遮断に伴う高流量バイパス術(high-flow bypass : HFB)は、内頸動脈(internal carotid artery : IC)の大型・巨大動脈瘤や破裂内頸動脈前壁動脈瘤に対する外科的治療の一部として普及し、近年多くの施設で実施されている。その術式はほぼ確立されているが、症例に応じた種々のバリエーションが報告されている。本手術に用いられるグラフト血管だけをみても、大きく分けて橈骨動脈(radial artery : RA)と大伏在静脈(saphenous vein : SV)が用いられている。今回われわれは、HFBの際に手術成績に影響を及ぼし得ると考えられる項目①グラフト血管の種類、②グラフト血管の経路、③アシストバイパスの有無、④全身ヘパリン化の有無の4項目を後方視的に取り上げ、その手術成績を検討した。

## 対 象

2009年4月から2017年3月までの間、筆者が帝京大学脳神経外科と関連病院にて手術を行ったHFB 25例を対象とした。25例の内訳は、男性7例、女性18例、平均年齢59.5歳(45-76歳)であった。疾患は、症候性内頸動脈海綿静脈洞部巨大動脈瘤が12例、内頸動脈前壁動脈瘤からのくも膜下出血が10例、内頸動脈C2部巨大動脈瘤が1例、脳腫瘍が1例、内頸動脈海綿静脈洞瘻が1例であった。発症形態はくも膜下出血が11例、眼球運動障害12例、視力障害1例、脳腫瘍圧迫による嚙下障害1例であった。HFBとともに頸部での内頸動脈閉鎖が12例で、頭蓋内での内頸動脈トラッピングが13例で行われていた。

## HFB 基本術式

われわれは、内頸動脈閉塞術が必要と考えられる病態に対してはバルーン閉塞試験(balloon test occlusion : BTO)を行わず、基本的にすべての症例でグラフト血管を用いた頭蓋外-頭蓋内バイパスを行っている。グラフト血管として、まず非利き腕側のRAを選択し、その経路は頸部で顎二腹筋後腹と舌下神経の間を側頭下窩に向けて作成する。アシストバイパスは行わずに、全身ヘパリン化を行ったのちに中大脳動脈M2セグメント(M2)-RA吻合、続いてRA-外頸動脈(external carotid artery : EC)吻合を行う。その後、ICを頸部で結紮もしくは頭蓋内でトラッピングする(Fig. 1)。

具体的には、頭部、頸部、前腕部に分かれ、同時に手術を開始する。頭部では通常の前頭側頭開頭ののち側頭部をやや深めにrongeur offする。側頭筋は上側頭線より側頭下窩付近まで電気メスを用いて切開する。頸部は総頸動脈、IC、ECを確保し、顎二腹筋と舌下神経を確認する。

その間を、頸部より側頭部に向かって24Frトロッカーを側頭窩へ通しておく。前腕部では基本的に非利き腕側で手首より肘部までのRAを採取する。RA直径が3mmに満たない場合には、大腿部よりSVを採取する。

硬膜切開ののち、シルビウス裂を開きM2吻合の準備を行う。この時点でグラフト血管を組織より取り出し、24Frトロッカーの中を通す。活性化全血凝固時間(activated clotting time : ACT)200秒をめどに、ヘパリンの全身投与を行ったのちにM2-RA(もしくはM2-SV)吻合を行う。次に、RA-EC(もしくはSV-RA)吻合を行う。グラフトを開放させたのちに、ICの閉塞を行う。

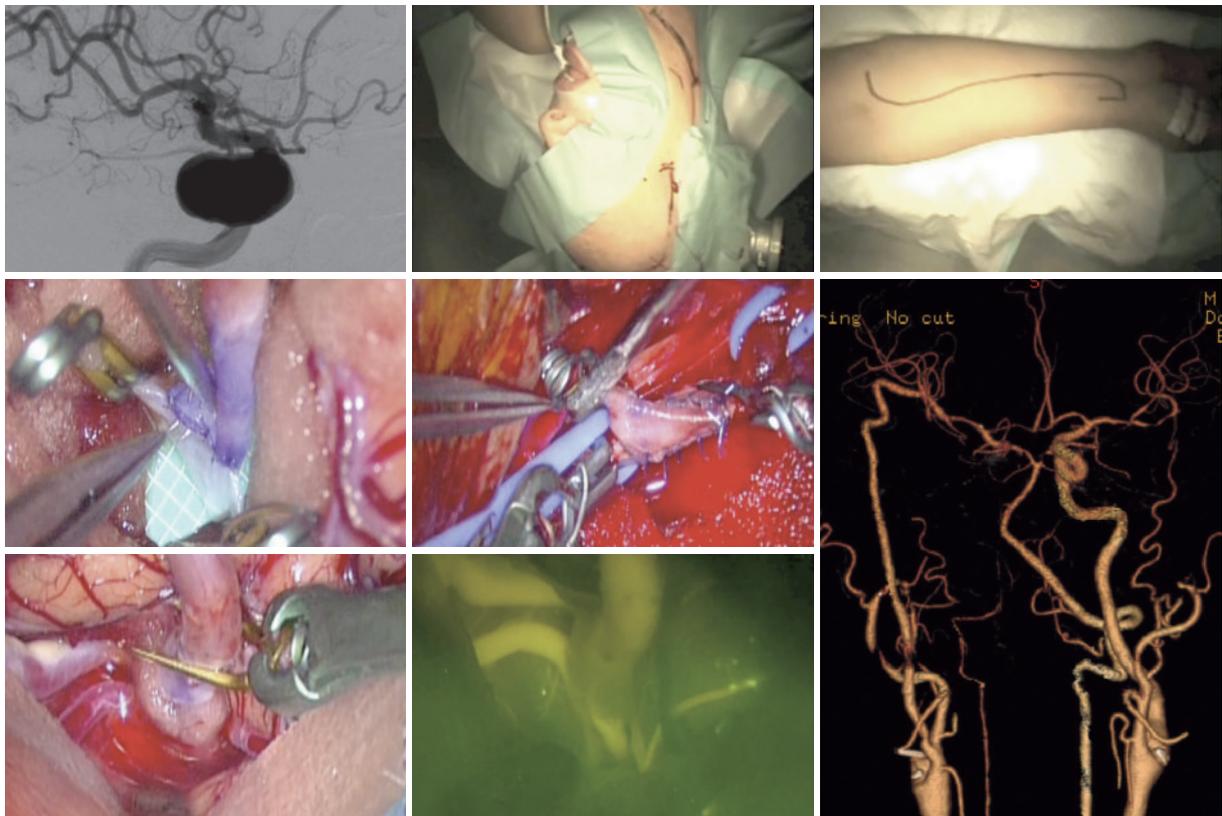
## 結 果

全25例の中で、グラフト血管はRAが21例で、SVが4例で使用されていた(Table 1)。RAの直径が3mm以下、長さが15cmに満たない場合はSVが用いられていた。グラフト経路は、全例が側頭窩から頸部にいたるもので頬骨弓の内側を通していた。頸部の術野から考慮すると、23例で舌下神経と顎二腹筋の間を、2例は顎二腹筋の上方を通していた。アシストバイパスは、2例のみで行われていた。その2例は、M2に明らかな口径差があり、M2-RA吻合の際に太いほうのM2を一時遮断する必要があると判断される症例であった。全身ヘパリン化は全25例で行われていた。1例でACTが上昇しにくく、ヘパリン8,000Uの投与後もACTが130秒の症例があった。その際の活性化部分トロンボプラスチン時間(activated partial thromboplastin time : APTT)は178秒であり、APTTを参考にM2-RA吻合操作を開始した。

全25例で、術後新たな神経脱落症状を呈した症例はなかった。2例で、急性期に無症候性脳梗塞を呈した(症例1, Fig. 2; 症例8)。グラフト血管の開存は手術翌日にthree-dimensional CT angiography(3D-CTA)を用いて確認した。24例で良好なグラフト血管の開存が確認されたが、1例は閉塞していた(症例8)。閉塞した1例は頭蓋内外移行部で途絶しており、同部位で閉塞が示唆された。1例で術後慢性期外来フォロー中にRAグラフトの閉塞をきたしたが、神経学的症状は出現しなかった(症例2)。術後出血性合併症を呈した症例はなかった。

## 考 察

脳動脈瘤治療におけるEC-ICバイパスの併用は、一般的な動脈瘤頸部クリッピングでは対処困難な高難度動脈瘤に対する治療の一部として応用されてきた<sup>1)</sup>。特にHFBはIC遮断に伴う虚血性合併症のリスクを減らす手段として行われることが多く、本邦においては上山<sup>12)</sup>がRAを用いてHFBの術式を確立・報告することによって、広く行



**Fig. 1** High-flow bypass (HFB) in a representative case (Case 4).

- |          |          |          |
|----------|----------|----------|
| <b>A</b> | <b>B</b> | <b>C</b> |
| <b>D</b> | <b>E</b> | <b>H</b> |
| <b>F</b> | <b>G</b> |          |
- A:** Angiogram showing a giant internal carotid artery cavernous segment aneurysm.
  - B:** Skin incision of the head, neck, and forearm.
  - C, D:** M2 radial artery (RA) anastomosis in the sylvian fissure.
  - E:** RA-to-external carotid artery anastomosis in the cervical portion.
  - F:** Restoring blood flow through the graft vessel (**G:** ICG videoangiography in the same operative field).
  - H:** Postoperative three-dimensional computed tomographic angiography image (3D-CTA) showing the patency of the graft flow.
- ICG: indocyanine green

われるようになった。施設により IC 遮断の術前評価のために BTO が行われることもあるが<sup>5)</sup>、その結果をもってしても明確な HFB の適応はないのが現状であり、こうしたことからわれわれは IC 永久遮断を伴う症例では基本的に全例で HFB を行っている。

現在多くの施設で治療困難な動脈瘤に対して HFB を伴った治療が行われており、その治療成績も向上している。術式は術者もしくは施設により一定のものがなされていることが多いが、症例ごとにある程度のバリエーションがあるのもまた事実である。そこで今回われわれは、①グラフト血管の種類、②グラフト血管の経路、③アシストバイパスの有無、④全身ヘパリン化の有無の 4 項目にわたって検討を試みた。

### グラフト血管

HFB のグラフト血管としては、大きく RA と SV が挙げられる。これらのグラフト血管としての使用は、1971 年に Loughheed ら<sup>15)</sup>が、SV をグラフト血管として内頸動脈閉塞症症例に対して総頸動脈から頭蓋内内頸動脈へ吻合した症例に始まる。また、RA を用いた報告としては 1978 年に Ausman ら<sup>2)</sup>が、椎骨動脈と後下小脳動脈の interposition として使用したのが最初とされている。その後はともに頭蓋内外吻合術のグラフト血管として汎用され、内頸動脈遮断の際の EC-IC バイパスにおいても用いられるようになった。RA と SV どちらがグラフト血管として適しているかは以前より論じられてきたが、明確な結論は出ていない。RA は動脈組織からなり、口径が頭蓋内血管に適していることが多いなどの利点がある一方、口径が小さい

**Table 1** Summary of patient data

No.	Age	Sex	Disease	Surgery	Graft vessel	Graft route	Assist bypass	Heparinization
1	53	F	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
2	59	F	Abducens p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
3	71	F	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
4	52	M	Abducens p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
5	60	F	Abducens p, IC CS AN	IC ligation + HFB	SV	Infra digastric	×	○
6	59	F	Abducens p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
7	68	M	Oculomotor p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
8	52	F	Oculomotor p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
9	47	F	SAH, CCF, IC CS dissection	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
10	74	F	Oculomotor p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
11	61	F	Visual disturbance, IC C2 AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
12	77	F	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
13	61	F	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
14	60	F	Oculomotor p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
15	47	M	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
16	49	M	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
17	45	M	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
18	76	M	Dysphagia, brain tumor	IC trapping + HFB	SV	Supra digastric	×	○
19	65	M	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	SV	Infra digastric	○	○
20	76	F	Oculomotor p, IC CS AN	IC trapping + HFB	SV	Supra digastric	○	○
21	73	F	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
22	52	M	SAH, ICAW AN	IC trapping + HFB	RA	Infra digastric	×	○
23	66	F	Oculomotor p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
24	71	F	Abducens p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○
25	52	F	Oculomotor p, IC CS AN	IC ligation + HFB	RA	Infra digastric	×	○

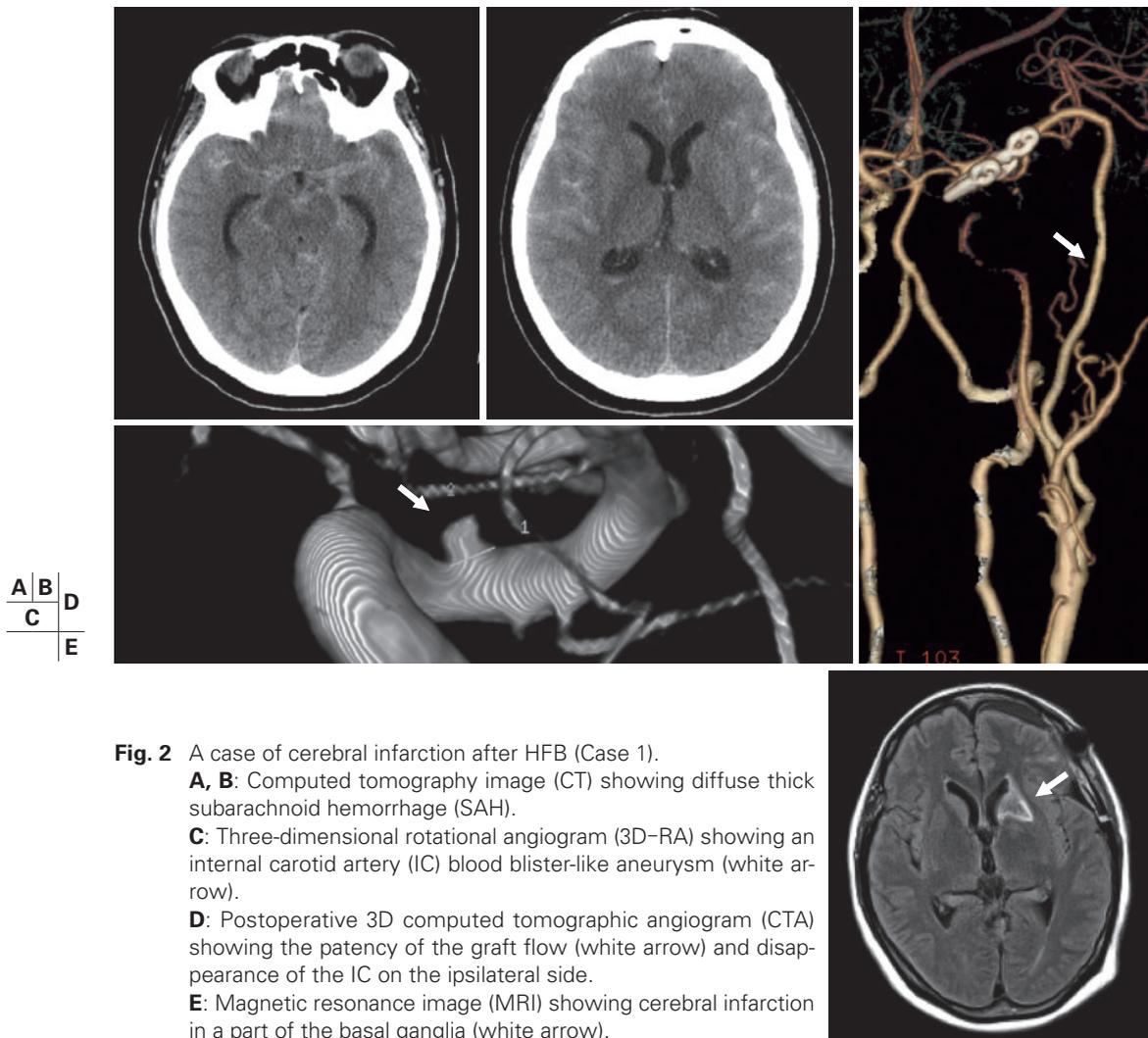
CCF: carotid cavernous fistula, F: female, HFB: high-flow bypass, IC: internal carotid artery, ICAW AN: internal carotid artery anterior wall aneurysm, IC CS AN: internal carotid artery cavernous segment aneurysm, M: male, p: palsy, SV: saphenous vein, SAH: subarachnoid hemorrhage

ものがあり、長さの制限、さらには palmar arch の確認が必要などの欠点もある<sup>15)</sup>。SV は太く長いものが得られやすい、動脈硬化性変化がない、血管攣縮がない<sup>5)</sup>、皮膚切開が下肢で目立たないなどの利点<sup>9)</sup>があるが、口径の相違による turbulence の発生、弾性が乏しく折れ曲がりやすい、静脈弁の存在、空気除去ができないなどの欠点がある<sup>5)10)</sup>。最も重要と考えられる長期開存率について、頭蓋内外血管吻合術のグラフトとしてランダム比較した報告はないが、それぞれのコホートでの成績は散見される。Houkin ら<sup>8)</sup>は 43 名の脳動脈患者に対する RA を用いた HFB の長期成績を報告している。そこでは 43 名のうち 20 名が 5 年以上のフォローアップを受けており(平均 7.2 年間)、遅発性閉塞はみられなかった。Sekhar ら<sup>16)</sup>は 50 名の動脈瘤患者と 83 名の脳腫瘍患者に対して、SV を中心とした血行再建術の成績を報告している。それによると、SV は 105 例に、RA は 24 例に、8 例は他の方法で血行再建術を行っている。全体の開存率は 95.6%であり、と

もに長期成績は良好であった。他にも RA と SV のグラフト開存率に関する報告はあるが、RA のほうがやや良好とする報告が多い<sup>4)5)11)13)18)</sup>。古くからこれらの血管をグラフトとして用いている冠動脈バイパスの分野でも、長期開存率は RA が優るとの報告がなされている<sup>6)</sup>。

### グラフト経路

今回検討した HFB の際のグラフト経路は、頸部外頸動脈から側頭下窩、側頭窩にいたるものだが、この経路は直視下でみえない操作を行うため、解剖学的知識が必須であり、安全な操作のためにはある程度の経験も重要と思われる。HFB のグラフト経路に関する報告は少ないが、経路の長短や過度の屈曲がグラフト血管の開存率に影響を与える可能性もあり<sup>3)</sup>、HFB における重要なポイントの 1 つである。反町ら<sup>17)</sup>は、自験例 14 例の HFB におけるグラフト経路について報告している。顎二腹筋後腹、茎突舌骨筋、下顎骨との関係から 4 つのグラフト経路を検討してい



**Fig. 2** A case of cerebral infarction after HFB (Case 1).  
**A, B:** Computed tomography image (CT) showing diffuse thick subarachnoid hemorrhage (SAH).  
**C:** Three-dimensional rotational angiogram (3D-RA) showing an internal carotid artery (IC) blood blister-like aneurysm (white arrow).  
**D:** Postoperative 3D computed tomographic angiogram (CTA) showing the patency of the graft flow (white arrow) and disappearance of the IC on the ipsilateral side.  
**E:** Magnetic resonance image (MRI) showing cerebral infarction in a part of the basal ganglia (white arrow).

る。その中で、顎二腹筋後腹の外側と茎突舌骨筋の外側で下顎骨のすぐ内側を通る経路が他の経路と比較し有意に経路が短かったとしている。一般的には、舌下神経の上方で顎二腹筋後腹下方から内側を通す経路を使い、外側翼突筋の外側にいたる経路が手指による経路の作成を行いやすいが、グラフト血管が短い場合などは考慮してもよい経路と考えられる。われわれも、2例で顎二腹筋後腹の外側を通る経路を選択した。下顎骨内面の近傍を通るこのルートでは、茎突下顎靭帯や蝶下顎靭帯があり、経路作成の障害となり得るので注意が必要である。

#### アシストバイパス

HFBにおいて浅側頭動脈-中大脳動脈の吻合を行うべきかどうか一定の見解はない<sup>7)</sup>。多くの脳神経外科医が考えているように、アシストバイパスを行うことにより、EC-graft-M2吻合はより安全に行うことができ、不幸にもグ

ラフト血管が閉塞した場合でも低流量ながら血流が担保される利点があり、術中モニターとしての利用も可能である。しかしながら、手術操作がより複雑になり、長時間化する欠点もある。われわれは基本的にはアシストバイパスを行わずにHFBを実施している。今回の検討では、25例中2例のみで行われていた。中大脳動脈が均等の2分岐もしくは3分岐を経ず、太い本幹がM1からM2まで維持しているもので、これを術中に遮断する必要がある症例であった。通常に分岐形態を呈した23例ではアシストバイパスを実施せずに手術を遂行したが、2例で無症候性の脳梗塞を呈しており、グラフト血流だけでは十分な血流が補えなかった可能性は否定できない。高橋<sup>19)</sup>はアシストバイパスの設置に関する基準を報告しており、① inferior trunk本幹に吻合するとき、② M2が3本あり吻合予定血管の灌流域が広くないとき、③ M2本幹ではなく分岐に吻合するときはアシストバイパスを置かないことが多いとしてい

る。アシストバイパスは安全を担保するものであるから、少なくとも血管や分岐の形態から遮断に不安を覚える場合は、アシストバイパスの実施が推奨されよう。

### 全身ヘパリン化

HFBの際の全身ヘパリン化の利点としては、吻合時の血流遮断に伴う血栓合併症の予防である。一方で、血液による術野汚染の可能性が高まることや、術中術後の出血性合併症のリスクがある。報告によっても術中ヘパリンは使用しないとすものや<sup>14)</sup>、グラフト末梢側を吻合ののちに全身ヘパリン化を行い中枢側吻合を行う<sup>5)19)</sup>とするものがある。われわれは末梢側吻合に先立って全身ヘパリン化を行っているが、出血性合併症や血栓性合併症はなかった。ただし、末梢側吻合の際には吻合時間が20分を超えると術野の血が気になることもあり、注意が必要である。

### 結 語

HFBは確立された手術術式であるが、症例によりある程度のバリエーションを有している。グラフト血管の種類、グラフト血管の経路、アシストバイパスの有無や全身ヘパリン化など、症例ごとに適切な術式を選択することで、より安全・確実・シンプルな手術操作が可能となり得る。各術式の利点と欠点を理解し、症例に応じて選択することが、治療成績の維持・向上には必須である。

本論文の要旨は、第46回日本脳卒中の外科学会(2017年3月15日、大阪)において発表した。

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。本文の発表に関して開示すべきCOIはありません。

### 文 献

- 1) Abdulrauf SI, Cantando JD, Mohan YS, *et al*: EC-IC Bypass for Giant ICA Aneurysm. Abdulrauf SI(ed): Cerebral Revascularization: Techniques in Extracranial-to-Intracranial Bypass Surgery. Philadelphia, Elsevier Saunders, 2010, pp231-245
- 2) Ausman JI, Nicoloff DM, Chou SN: Posterior fossa revascularization: anastomosis of vertebral artery to PICA with interposed radial artery graft. *Surg Neurol* 9: 281-286, 1978
- 3) Baaj AA, Agazzi S, van Loveren H: Graft selection in cerebral

- revascularization. *Neurosurg Focus* 26: E18, 2009
- 4) Bisson EF, Vioni AJ, Tranmer B, *et al*: External carotid artery to middle cerebral artery bypass with the saphenous vein graft. *Neurosurgery* 62(3 Suppl 1): 134-138, 2008
- 5) Eddleman CS, Getch CC, Bendok BR, *et al*: Saphenous Vein Grafts for High-flow Cerebral Revascularization. Abdulrauf SI(ed): Cerebral Revascularization: Techniques in Extracranial-to-Intracranial Bypass Surgery. Philadelphia, Elsevier Saunders, 2010, pp125-128
- 6) Hata M, Yoshitake I, Wakui S, *et al*: Long-term patency rate for radial artery vs. saphenous vein grafts using same-patient materials. *Circ J* 75: 1373-1377, 2011
- 7) 宝金清博: 橈骨動脈を用いた long graft bypass. 脳血行再建術. 東京, 中外医学社, 2000, pp104-116
- 8) Houkin K, Kamiyama H, Kuroda S, *et al*: Long-term patency of radial artery graft bypass for reconstruction of the internal carotid artery. Technical note. *J Neurosurg* 90: 786-790, 1999
- 9) 石川達哉: ハイフローバイパス. 塩川芳昭(編): NS NOW 6 脳虚血の外科—このピットフォールに陥らない. 東京, メジカルビュー社, 2009, pp52-66
- 10) 石川達哉, 宝金清博: ECA-M2 バイパス. 上山博泰(編): 脳動脈瘤手術—基本技術とその応用. 東京, 南江堂, 2010, pp69-79
- 11) Jafar JJ, Russell SM, Woo HH: Treatment of giant intracranial aneurysms with saphenous vein extracranial-to-intracranial bypass grafting: indications, operative technique, and results in 29 patients. *Neurosurgery* 51: 138-144, 2002
- 12) 上山博泰: 橈骨動脈を用いたバイパス手術. *No Shinkei Geka* 22: 911-924, 1994
- 13) Kocaeli H, Andaluz N, Choutka O, *et al*: Use of radial artery grafts in extracranial-intracranial revascularization procedures. *Neurosurg Focus* 24: E5, 2008
- 14) Lawton MT, Sanai N: IC-IC bypass for complex brain aneurysm. Abdulrauf SI(ed): Cerebral Revascularization: Techniques in Extracranial-to-Intracranial Bypass Surgery. Philadelphia, Elsevier Saunders, 2010, pp129-144
- 15) Lougheed WM, Marshall BM, Hunter M, *et al*: Common carotid to intracranial internal carotid bypass venous graft. Technical note. *J Neurosurg* 34: 114-118, 1971
- 16) Sekhar LN, Kalavakonda C: Cerebral revascularization for aneurysms and tumors. *Neurosurgery* 50: 321-331, 2002
- 17) 反町隆俊, 長田貴洋, 平山晃大, ほか: CT 血管造影を用いた high flow bypass における graft route の検討. 脳卒中の外科 44: 94-101, 2016
- 18) Surdell DL, Hage ZA, Eddleman CS, *et al*: Revascularization for complex intracranial aneurysms. *Neurosurg Focus* 24: E21, 2008
- 19) 高橋 淳: 動脈瘤手術におけるバイパス手術. 塩川芳昭(編): NS NOW 20 ワンステップ上をめざした脳動脈瘤手術—この技術を身に付けたい. 東京, メジカルビュー社, 2012, pp66-77