

AMCoR

Asahikawa Medical University Repository <http://amcor.asahikawa-med.ac.jp/>

脳卒中の外科 (2008.09) 36巻5号:386～394.

もやもや病に対する前大脳動脈、中大脳動脈領域への直接血行再建とその効果

谷川緑野, 杉村敏秀, 日野 健, 泉 直人, 三井宣幸, 橋本政明, 上山博康

原 著

もやもや病に対する前大脳動脈，中大脳動脈領域への直接血行再建とその効果

谷川 緑野¹，杉村 敏秀¹，日野 健¹，泉 直人¹
三井 宣幸¹，橋本 政明¹，上山 博康²

Direct Vascular Reconstruction to Anterior and Middle Cerebral Artery and Its Effect for Moyamoya Disease

Rokuya TANIKAWA, M.D.,¹ Toshihide SUGIMURA, M.D.,¹ Ken HINO, M.D.,¹
Naoto IZUMI, M.D.,¹ Nobuyuki MITSUI, M.D.,¹ Masaaki HASHIMOTO, M.D.,¹ and
Hiroyasu KAMIYAMA, M.D.²

¹Abashiri Neurosurgical Hospital, Abashiri and ²Asahikawa Red Cross Hospital, Asahikawa, Japan

Summary: Vascular reconstruction for moyamoya disease can be achieved by STA-MCA anastomosis, STA-ACA anastomosis as direct revascularization, EDAMS (encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis) and EGAS (encephalo-galeo-arterio-synangiosis) as indirect vascular reconstruction. We revascularized 19 hemispheres of 13 patients—4 pediatric and 9 adult patients—using STA-ACA and STA-MCA anastomosis, EGAS for the medial frontal lobe, and EDAMS for the lateral frontal lobe. All of these procedures improved cerebral blood flow in the frontal lobe, resulting in improved mental and intellectual acuity in pediatric patients, which was apparent from obviously improved concentration and intellectual ability soon after surgery.

Key words:

- moyamoya disease
- STA-MCA anastomosis
- STA-ACA anastomosis
- EMAS
- intellectual performance

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 36: 386-394, 2008

はじめに

もやもや病(ウイルス動脈輪閉塞症)に対する外科治療は大別すると STA-MCA バイパス⁷⁾に代表される直接的血行再建と encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis(EDAMS)¹¹⁾などの間接的血行再建の2つがあげられる。外科的治療のちに病期の進行が起こらない場合には、従来行われてきた STA-MCA バイパスと EDAMS などの血行再建術により良好な治療成績が期待されるが、小児のもやもや病では

術後前大脳動脈領域の虚血悪化のため知能改善を妨げる原因となる場合も少なくない。本稿では小児例での知能改善を主眼とした前大脳動脈領域も含めた直接的血行再建の術式の詳細とその効果について自験例をもとに検討する。

術 式

1. 皮切

前大脳動脈領域と中大脳動脈領域への直接的血行再建のために、superficial temporal artery (STA) 前頭枝を長

¹特別医療法人明生会 網走脳神経外科リハビリテーション病院，²旭川赤十字病院 脳神経外科(受稿日 2007.10.22)(脱稿日 2008.5.14)[連絡先：〒093-0041 北海道網走市桂町4-1-7 網走脳神経外科リハビリテーション病院 谷川緑野] [Address correspondence: Rokuya TANIKAWA, M.D., Abashiri Neurosurgical Hospital, 4-1-7 Katsura-cho, Abashiri, Hokkaido 093-0041, Japan]

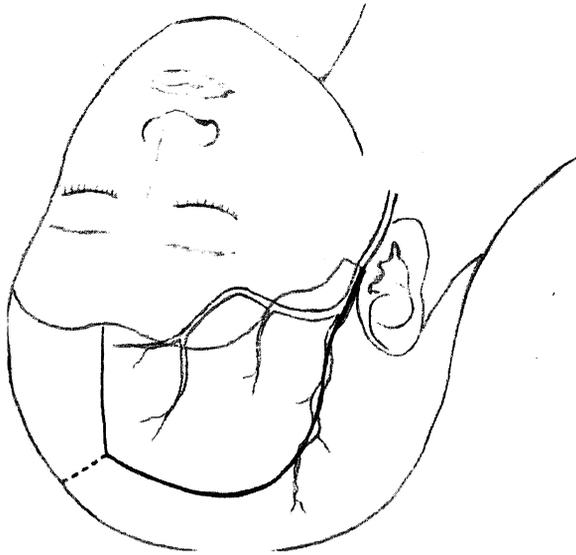


Fig. 1 Skin incision and dissection.

The skin should be incised from the front of the tragus towards the vertex just above the parietal branch of the superficial temporal artery (STA), and then gradually curved towards the anterior midline. After reflecting the skin flap, the frontal branch of the STA should be dissected. Small branches of the frontal STA branch must be meticulously dissected for STA-MCA anastomosis.

く剥離する。そのため皮切デザインは Fig. 1 のごとく hair line から正中線上を後方に 10 cm 程度走行し、正中線に対し 60 度の角度で緩やかにカーブし、STA 頭頂枝直上へ続き tragus 直前に至る大きな question 型の皮切となるようにする。皮膚弁翻転の前に STA 頭頂枝は開存させたまま剥離し、前頭枝を分岐したところのさらに中枢側の STA 本幹も十分に剥離・露出させておく。前頭枝は皮弁翻転後、正中の皮膚切開線近傍まで剥離する。

2. STA 剥離

STA 頭頂枝は皮切の直下で確保することができるよう皮切線をデザインするが、頭頂枝本幹はもちろん、その分枝も 2-3 cm 程度はバイパス donor として使用できるよう剥離温存する。前頭枝の分枝も同様に剥離し、STA-MCA anastomosis として motor cortex, supplementary motor cortex あるいは優位半球では言語野領域へのバイパスができるよう double ないしは triple STA-MCA anastomosis ができるように準備する。前頭枝の分枝を十分に剥離することにより、前大脳動脈領域へも double anastomosis が可能となる。また前大脳動脈領域直上の開頭部では STA 前頭枝の分枝を栄養血管とする有茎 galeal flap を encephalo-galeo-arterio-synangiosis (EGAS) とするため、前頭枝を剥離する際に配慮が必要となる。皮膚が極端に

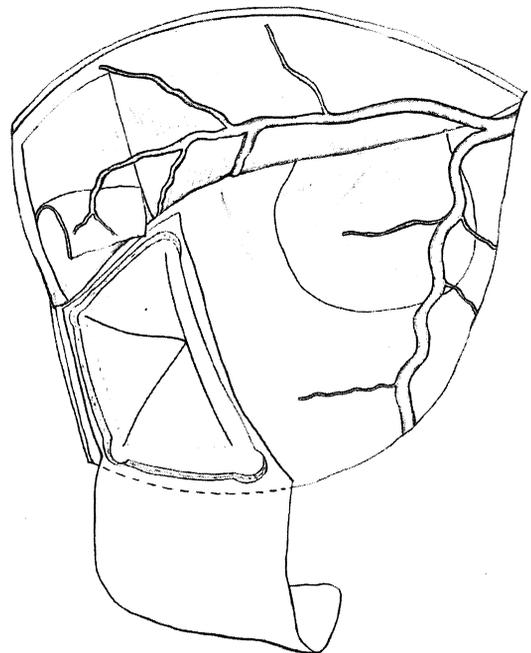


Fig. 2 Dural incision for craniotomy.

The medial area of the galea is dissected including the STA frontal branch as a pedicle flap for EGAS covering the medial frontal lobe. The dural incision for medial frontal rectangular craniotomy is "K"-shaped for left, and reverse "K"-shaped for right craniotomy. The cut dural flap is reflected into the subdural space touching the frontal lobe surface.

薄く galeal flap 採取による皮膚障害が心配される場合には、EGAS はあえて行わず、前頭部骨膜を有茎で剥離翻転し vascularized pericranial flap として使用し encephalo-periosto-arterio-synangiosis (EPAS) として前大脳動脈領域直上開頭部の硬膜パッチに用いることもできる (Fig. 2)。

3. 開頭

開頭は linear temporalis を境とした側頭開頭と前頭開頭の dual craniotomy を行い、linea temporalis で幅 1 cm 程度の bone bridge を残した開頭として、硬膜は bone bridge に tenting し固定しておく。側頭開頭は linea temporalis の後下方で sylvian fissure を真ん中に露出する大きさの開頭として、中硬膜動脈を損傷しないよう注意深い配慮のもと開頭を行い、中硬膜動脈を donor とする encephalo-duro-arterio-synangiosis (EDAS) に備える。中硬膜動脈を温存する形で硬膜切開を行い、硬膜下に切開した硬膜を翻転し EDAS が有効に行われることを期待する (Fig. 3)。linea temporalis の内側部の前頭開頭部では右開頭では midline に対し逆 K の字、左開頭では K の字型に切開し硬膜下に翻転する (Fig. 2)。

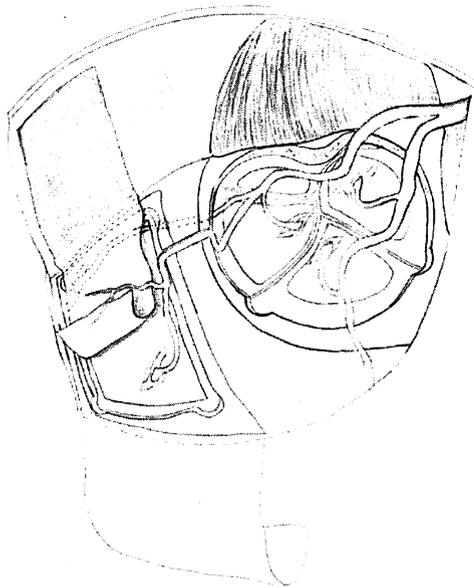


Fig. 3 Anastomosis.
The lateral part of a fronto-temporal craniotomy should proceed immediately after the linear temporalis for STA-MCA anastomosis and EDAMS. The middle meningeal artery should be preserved for effective EDAS. The dura is cut to expose the brain surface as a reflected flap into the subdural space. Smaller branches of frontal and parietal branches of the STA are anastomosed to the cortical middle cerebral arteries. Another branch of the frontal STA branch is anastomosed to cortical anterior cerebral artery. A groove should be prepared on the bone bridge between both craniotomies to secure blood flow in the frontal branch of the STA.

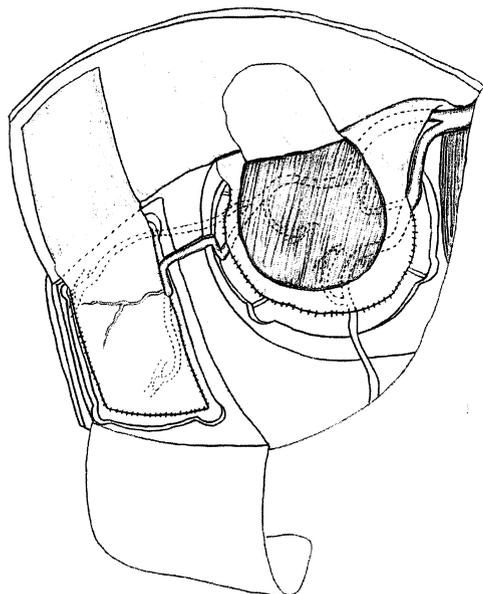


Fig. 4 Suturing the temporal muscle.
The galeal flap is stitched covering the medial frontal lobe as an EGAS, and the temporal muscle should be sutured and fixed to the dural edge of the fronto-temporal craniotomy as an EMAS.

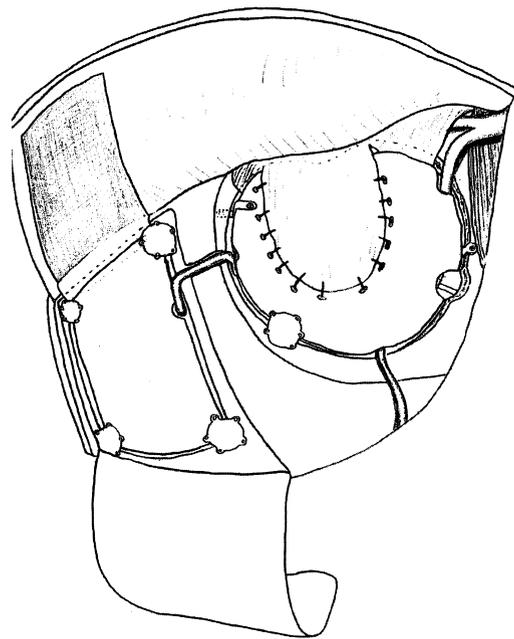


Fig. 5 Titanium plates and craniotomy line.
The medial bone flap is fixed with titanium plates and the fronto-temporal craniotomy bone flap should be lifted using crank-shaped titanium plates and the protruding frontal bone edge must be drilled away to construct a smooth craniotomy line.

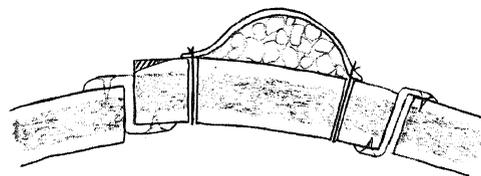


Fig. 6 Final bone positioning.
Because the temporal muscle is planted under the bone flap for EMAS, the lifted bone flap and the bone pieces piled on it compensate for the position of the temporal muscle in the temple. The piled bone pieces should be covered by the temporal fascia with nylon blade sutures to fix them onto the fronto-temporal bone flap.

4. 直接的血行再建

開頭終了後、最初に STA 前頭枝を用いた STA-ACA anastomosis を前頭開頭部で行う。前大脳動脈は inter-hemispheric fissure を上行し前頭部弓隆部脳表に露出する部分を recipient として確保する (Fig. 3)。通常前頭開頭部の前方と後方の2箇所 で吻合に適した recipient をみつけることができる (Fig. 3)。この部の皮質前大脳動脈は 0.5 mm 程度の血管径であるため、donor である STA も径が 0.5 mm 程度の前頭枝の分枝を使用し、断端を fish mouse 状に trimming する。吻合には 11-0 ナイロンを使用し、通常片側 6 針程度の縫合が必要である。吻合可能な recipient

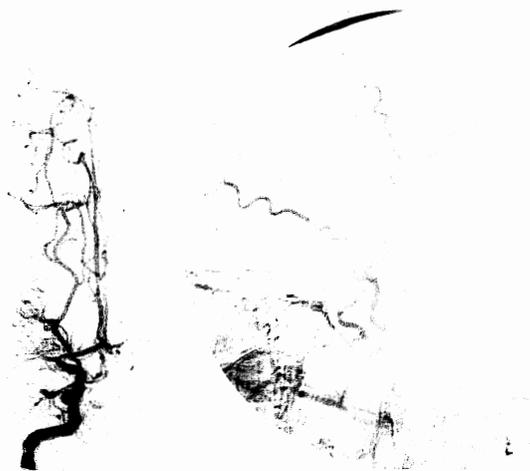


Fig. 7 Case 8. 45 y.o. F. Preoperative DSA.
left: Right internal carotid angiogram shows the stenosis of C1 portion of internal carotid artery, severe stenosis of proximal A1 portion of anterior cerebral artery, and occlusion of proximal middle cerebral artery.
right: Left common carotid angiogram reveals cervical internal carotid artery occlusion. The blood flow of internal carotid artery depends on the collateral blood supply from external carotid artery via the ophthalmic artery.

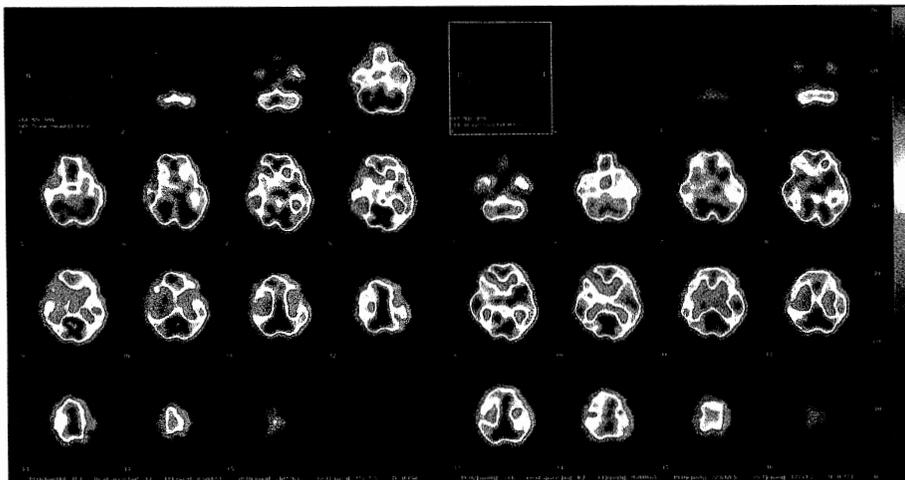


Fig. 8 Case 8. 45 y.o. F. Pre and post operative SPECT.
left: Preoperative study shows the reduction of cerebral blood flow in bilateral middle cerebral artery territory and left anterior cerebral artery territory.
right: The CBF improved in bilateral MCA territory and left frontal ACA territory after the vascular reconstruction.

が複数箇所確保できれば通常はSTA-ACA double anastomosisを行う (Fig. 3)。

側頭開頭部ではSTA-MCA anastomosisをdoubleないしtripleで行うが、最低でも前頭葉と側頭葉に1本ずつバイパスが入るようにしている (Fig. 3)。特に優位半球では言語野への血流供給が可能のようにrecipientの選択を行う (Fig. 3)。donorとなるSTAは頭頂枝の分枝と頭頂枝そのものをrecipientの血管径にあわせて使用し、11-0ない

し10-0ナイロン糸を用いて吻合する。

STA前頭枝、頭頂枝はできるだけ脳表面に接して這わせることにより、STAそのものから脳表への間接血行再建も期待できる (Fig. 3)。

5. EGAS および EMAS

前頭部開頭部ではSTAをfeederとする有茎galeal flapを用意できる場合には、これを硬膜パッチとして硬膜閉鎖

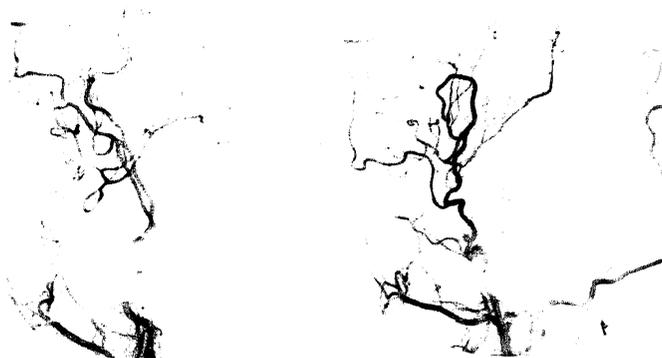


Fig. 9 Case 8. 45 y.o. F.
 A: Postoperative right external carotid angiogram.
 B: Postoperative left external carotid angiogram.
 Bilateral external carotid angiogram reveals STA-MCA and STA-ACA anastomosis are patent and neovascularization from EMAS and EDAS can be seen.

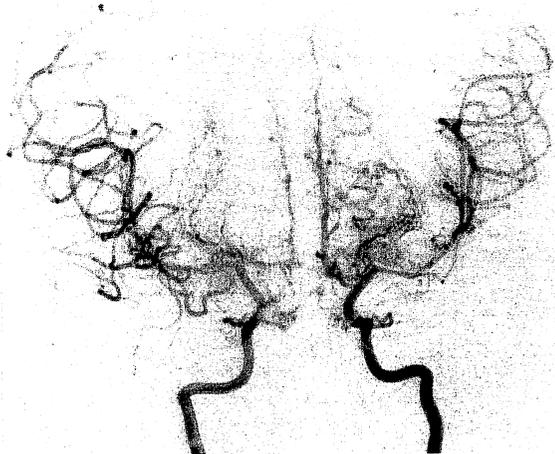


Fig. 10 Case 4. 5 y.o. M.
 Bilateral internal carotid angiogram shows moyamoya vessels around bilateral middle cerebral artery and severe stenosis of bilateral middle and anterior cerebral artery.

に用いる。galeal flapが採取不能な場合には vascularized pericranial flapにより硬膜形成を行う。側頭開頭部では開頭時に剝離翻転しておいた側頭筋を硬膜パッチとして閉鎖に使用しEMASとする。この際側頭筋膜は後の閉頭に使用するため剝離翻転し温存しておく(Fig. 4)。

6. 骨弁・側頭筋の固定

前頭部開頭骨弁は元通りチタンプレートを用いて固定する。側頭開頭部ではEMASにより失った側頭筋の厚みを

補填するために開頭骨弁の前縁をクランク型に加工したチタンプレートで1mmから2mm程度持ち上げるように固定し、high speed drillで面取り加工を行う。さらに開頭時に採取した小骨片を側頭筋欠如部に盛り上げるようにフィブリン糊で固めたのち、開頭時に剝離翻転しておいた側頭筋膜でこの小骨片塊を覆い骨弁に絹糸で固定する(Fig. 5, 6)。この操作により失った側頭筋の厚さを補填可能であり、術後のこめかみから側頭部の陥没を防ぐことが可能となる(Fig. 5, 6)。

結 果

1996年4月から2006年3月までの11年間で小児例4例8側、成人例9例11側に対し本術式で手術を行い、表(Table 1)のごとく良好な成績を得た。術後経過観察期間は6年から最長10年である。小児例の症例4と5は双子の5歳男児の兄弟であるが、4は術前WISC-III 54から84、5は71から100へと顕著な改善を示した。(症例7)3歳男児は重度の精神発達遅滞のため術前にWISC-IIIによる知能評価は不能であったが、術後早期から集中力の改善が目覚しく効果的であった。脳虚血発症の成人例5例では術前生じたTIAは消失し、新たな脳梗塞をきたした症例はなかった。脳出血発症の成人例4例では術後新たな脳出血をきたしたものはなかった。成人例の1例で皮弁感染により骨弁除去術、頭蓋形成術を行った。

成人例と小児例を提示する。Fig. 7は〈症例8〉45歳女性の術前血管撮影であるが、右内頸動脈の狭小化に引き続き前大脳動脈A1部の狭窄と中大脳動脈の閉塞と左頸部内頸動脈閉塞を認め、術前脳血流検査(IMP-SPECT)では左中大脳動脈領域の高度血流低下と左前大脳動脈・中大脳動

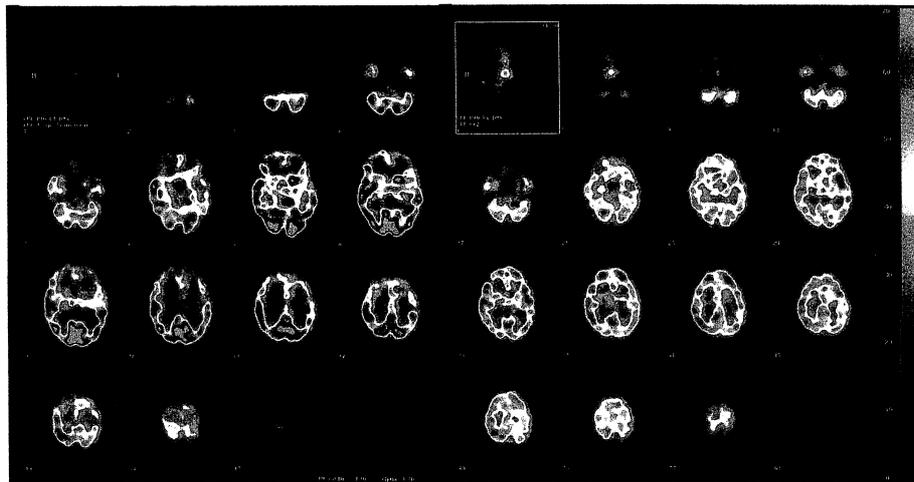


Fig. 11 Case 4. 5 y.o. M.
 left: Preoperative SPECT reveals the decreasing of CBF in bilateral frontal lobe.
 right: Postoperative SPECT shows the improvement of bilateral frontal CBF.



Fig. 12 Case 4. 5-y.o. M.
 A: Postoperative right external carotid angiogram.
 B: Postoperative left external carotid angiogram.
 Bilateral external carotid angiogram reveals STA-MCA and STA-ACA anastomosis are patent and neovascularization from EMAS and EDAS can be seen.

脈分水嶺から左前頭葉表面先端の血流低下を認めた(Fig. 8 left). この症例では両側で本法を施行した. 術後の STA-MCA, STA-ACA バイパスの開存は良好で(Fig. 9)左前頭葉前大脳動脈領域の血流も改善した(Fig. 8 right). 術後6年を経過し脳虚血発作や新たな脳梗塞の出現なく, 良好な脳虚血予防効果が得られている.

Fig. 10は〈症例4〉5歳男児の初診時両側内頸動脈撮影で, 両側中大脳動脈・前大脳動脈の高度狭窄を認め, 左半身の一過性脳虚血発作と知能発達・言語機能発達遅滞を認めた. 脳血流検査では両側前頭葉の広範な脳血流低下を認めた(Fig. 11 left)ため, 本術式による脳血行再建を両側大脳半球に対して行った. 術後は脳虚血発作は完全に消失

し, 術後3日目からは術前色鉛筆の黒の単色でしか描けなかった漫画キャラクターの絵が, 複数の色を使用して描けるようになった. 術後1年目の脳血管撮影では両側浅側頭動脈から中大脳動脈領域, 前大脳動脈領域への良好な血行再建が得られ, 同時に間接血行再建からも血流供給が認められた(Fig. 12). 脳血流 SPECT でも両側前頭葉の血流低下が著明に改善している(Fig. 11 right).

考 察

もやもや病に対する外科的血行再建は従来より直接的血行再建として STA-MCA anastomosis, 間接的血行再建として multiple burr hole¹⁾¹⁰⁾, encephalo-duro-arterio-synan-

Table 1 Profiles of patients undergoing vasoreconstructive surgery

Case	Sex	Age at first surgery	Symptoms at onset	Side	Number of anastomosis	Complication	Postoperative symptoms
1	F	33	hemorrhage	right	R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	none	no more hemorrhage
2	F	52	hemorrhage	right	A3-A3 × 1 R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	none	no more hemorrhage
3	F	57	hemorrhage	bilateral	L.STA-ACA × 1 L.STA-MCA × 2 R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 3	none	no more hemorrhage
4	M	5	TIA	bilateral	L.STA-ACA × 1 L.STA-MCA × 2 R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	none	TIA disappeared, improved intellectual ability (WISC-III: 54 to 84)
5	M	5	intellectual impairment	bilateral	L.STA-ACA × 2 L.STA-MCA × 2 R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 3	none	improved intellectual ability (WISC-III: 71 to 100)
6	F	7	none	bilateral	L.STA-ACA × 1 L.STA-MCA × 2 R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	none	improved intellectual ability (WISC-III: 140 to 150)
7	M	3	TIA, seizure, lt. monoparesis	bilateral	L.STA-ACA × 1 L.STA-MCA × 3 R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	none	TIA disappeared, improved concentration and monoparesis
8	F	45	infarct, intellectual impairment	bilateral	L.STA-ACA × 1 L.STA-MCA × 2 R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	none	no more ischemic episodes
9	F	53	TIA	right	R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	none	TIA disappeared
10	F	59	hemorrhage	right	R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	wound infection	no more ischemic episodes
11	F	48	infarct	right	R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 2	none	no more ischemic episodes
12	F	51	infarct	left	L.STA-ACA × 1 L.STA-MCA × 2	none	no more ischemic episodes
13	M	42	infarct	right	R.STA-ACA × 1 R.STA-MCA × 3	none	no more ischemic episodes

TIA: transient ischemic attack, WISC-III: Wechsler intelligence scale for children-III

giosis (EDAS)¹⁶⁾, encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis (EDAMS)¹¹⁾¹²⁾, 大網移植⁹⁾などがなされてきた。中大脳動脈領域への直接的血行再建および間接的血行再建の併用では良好な血流改善が得られている²⁾⁸⁾¹¹⁾。特に STA-MCA anastomosis は中大脳動脈領域に吻合完成直後から血流供給が可能であり、急速な血流改善効果を得ることが可能で、中大脳動脈領域の虚血にはきわめて有効な治療となる。しかし、中大脳動脈領域の血流改善に伴い、も

やもや血管を介した前大脳動脈領域への側副血行路の消滅により¹⁴⁾、あるいは中大脳動脈や後大脳動脈から前大脳動脈領域への側副血行路の発達の悪い症例では⁶⁾⁸⁾¹⁹⁾、頻度は低いと考えられるが⁸⁾、前大脳動脈領域の新たな虚血発作が起きてくる危険性がある⁴⁾⁶⁾⁸⁾¹⁴⁾¹⁵⁾。Touho らは¹⁹⁾ STA-MCA バイパスと EMS を施行した小児もやもや病 25 例中 8 例で対麻痺発作をきたしたと報告している。小児では前大脳動脈の虚血進行の程度によっては、著しい

知能低下が懸念される。また、小児もやもや病における外科的血管再建術後の知能改善は、早期診断・広範囲開頭による血管再建のほうが、小開頭による限局的な血管再建よりも効果的であったということから¹³⁾¹⁷⁾¹⁹⁾、もやもや病小児例ではSTA-MCA anastomosisとともに可能な限りSTA-ACA anastomosisを併用する広範囲脳血管再建が必要であると考えられる。

このような前大脳動脈領域の虚血がSTA-MCAバイパスを行ったのちに起こった場合には、すでにSTAが使用済みであるため、前大脳動脈領域への直接的血管再建は不可能であり虚血の進行を抑制する外科的手段がない。したがって、もやもや病の血管再建を行う際には、術後の病期進行・病態変化による前大脳動脈領域の虚血変化に対応可能なSTA-ACA anastomosisをSTA-MCA anastomosisとともに、同時に行う必要があると考えられる。前大脳動脈領域への血管再建として間接的血管再建¹⁸⁾や直接的血管再建⁴⁾⁶⁾の報告は過去にいくつか散見されるが、直接的血管再建は標準的治療法ではなく、むしろ前大脳動脈領域への血流供給可能なdonor血管の確保が困難であるために、間接的血管再建を施行せざるを得なかった経緯があるものと考えられる³⁾。すでに報告されているごとく⁵⁾、本法はsuperficial temporal artery (STA)の前頭枝を正中部にいたる末梢部まで皮膚弁から長く剥離することにより、前頭葉内側部に分布する前大脳動脈皮質枝に直接吻合を可能とした。STA-ACA anastomosisを行う場合には、大脳半球間裂を上がってきて正中部から外側に前頭葉表面に折れ曲がって走行する前大脳動脈の皮質枝を用いるとよい。これはvan der Zwan²⁰⁾らの大脳動脈支配領域の最小範囲をrecipient決定の根拠としている。本術式がすべてのもやもや病小児例に必要などうかは不明であるが、少なくとも従来の耳珠前方からmidline hair lineに至るcurved skin incisionによる前頭側頭開頭を行う術式を初回手術として行い、STA-ACA anastomosisを行わずSTA-MCA single anastomosisとEMASなどの間接的血管再建を行ってSTA前頭枝を温存したとしても、STA前頭枝は皮切および皮弁翻転の段階でlinear temporalisの内側近傍で切断されるためcortical ACAへの吻合に長さが足りなくなることで、さらにvan der Zwanらが示す前大脳動脈支配領域の最小範囲内でcortical ACAを確保しrecipientとするためには、Fig. 1に示すとおりmidline上に皮切をとり正中線ぎりぎりまでの前頭開頭が必要であるため、再手術におけるSTA-ACA anastomosisは不可能あるいはきわめて困難になると考えられる。

本術式では小児例では一定の知能改善効果が期待されるが、成人例9例では術後知能改善効果は認めなかった。したがって、成人例では知能改善を目的とした前大脳動脈へ

の直接的血管再建の意義は少ないと考えられる。しかしながら、成人例では動脈硬化性病変の付加に伴う主幹動脈狭窄悪化・閉塞やもやもや病病期の進行、あるいは両者の合併による前大脳動脈領域への脳梗塞出現が初回手術ののちに起きた場合には、先に述べた理由から前大脳動脈領域へ血管再建を施すことはきわめて困難である。この観点からもやもや病への外科的治療として浅側頭動脈を用いた直接的血管再建を選択する場合には、使用できるものすべてを初回手術で利用し、中大脳動脈・前大脳動脈両流域を賄う血管再建により、その後の脳虚血症状予防に努める必要がある。初回手術で前大脳動脈領域への血管再建を行わず、その術後に前大脳動脈領域の脳梗塞が起きてしまった場合、すでにその前大脳動脈領域への血管再建の適応自体がなくなってしまうかもしれない危険性・不利益を考慮すれば、なおさら初回手術で使用できるドナー血管、血流豊富な組織を直接・間接的血管再建の材料として使用すべきであると考えている。

結 語

もやもや病における直接的血管再建としてSTA-ACA anastomosisを併用する前大脳動脈・中大脳動脈領域への血管再建の実際について報告した。血管再建術後に病態が悪化したり、新たな虚血領域が出現した場合のリスクを考慮し、外科的血管再建を行う際にはその術式にかかわる解剖学的構造を可能な限り利用し、最大限の治療効果が得られるよう配慮すべきである。

文 献

- 1) Endo M, Kawano N, Miyaska Y, *et al*: Cranial burr hole for revascularization in moyamoya disease. *J Neurosurg* 71: 180-185, 1989
- 2) Houkin K, Kamiyama H, Takahashi A, *et al*: Combined revascularization surgery for childhood moyamoya disease: STA-MCA and encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis. *Childs Nerv Syst* 13: 24-29, 1997
- 3) Ichikawa A, Tanaka R, Takeuchi S, *et al*: Reconstructive vascular surgery in the territory of the anterior cerebral artery in children with moyamoya disease. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 29: 106-112, 1989
- 4) Ishii R, Koike T, Takeuchi S, *et al*: Anastomosis of the superficial temporal artery to the distal anterior cerebral artery with interposed cephalic vein graft. Case report. *J Neurosurg* 58: 425-429, 1983
- 5) Ishikawa T, Kamiyama H, Kuroda S, *et al*: Simultaneous superficial temporal artery to middle cerebral or anterior cerebral artery bypass with pan-synangiosis for Moyamoya disease covering both anterior and middle cerebral artery territories. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 46: 462-468, 2006
- 6) Iwama T, Hashimoto N, Miyake H, *et al*: Direct revascularization to the anterior cerebral artery territory in patients with moyamoya disease: report of five cases.

- Neurosurgery* 42: 1157-1162, 1998
- 7) Karasawa J, Kikuchi H, Furuse S, *et al*: Treatment of moyamoya disease with STA-MCA anastomosis. *J Neurosurg* 49: 679-688, 1978
 - 8) Karasawa J, Touho H, Ohnishi H, *et al*: Long-term follow-up study after extracranial-intracranial bypass surgery for anterior circulation ischemia in childhood moyamoya disease. *J Neurosurg* 77: 84-89, 1992
 - 9) Karasawa J, Touho H, Ohnishi H, *et al*: Cerebral revascularization using omental transplantation for childhood moyamoya disease. *J Neurosurg* 79: 192-196, 1993
 - 10) Kawaguchi T, Fujita S, Hosoda K, *et al*: Multiple burr-hole operation for adult moyamoya disease. *J Neurosurg* 84: 468-476, 1996
 - 11) Kinugasa K, Mandai S, Kamata I, *et al*: Surgical treatment of moyamoya disease: operative technique for encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis, its follow-up, clinical results, and angiograms. *Neurosurgery* 32: 527-531, 1993
 - 12) Kinugasa K, Mandai S, Tokunaga K, *et al*: Ribbon encephalo-duro-arterio-myo-synangiosis for moyamoya disease. *Surg Neurol* 41: 455-461, 1994
 - 13) Kuroda S, Houkin K, Ishikawa T, *et al*: Determinants of intellectual outcome after surgical revascularization in pediatric moyamoya disease: a multivariate analysis. *Childs Nerv Syst* 20: 302-308, 2004
 - 14) Kuroda S, Houkin K, Nunomura M, *et al*: Frontal lobe infarction due to hemodynamic change after surgical revascularization in moyamoya disease—two case reports. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 40: 315-320, 2000
 - 15) Matsushima T, Fujiwara S, Nagata S, *et al*: Reoperation for moyamoya disease refractory to encephalo-duro-arterio-synangiosis. *Acta Neurochir (Wien)* 107: 129-132, 1990
 - 16) Matsushima Y, Aoyagi M, Masaoka H, *et al*: Mental outcome following encephaloduroarteriosynangiosis in children with moyamoya disease with the onset earlier than 5 years of age. *Childs Nerv Syst* 6: 440-443, 1990
 - 17) Matsushima T, Inoue T, Suzuki SO, *et al*: Surgical treatment of moyamoya disease in pediatric patients—comparison between the results of indirect and direct revascularization procedures. *Neurosurgery* 31: 401-405, 1992
 - 18) Suzuki Y, Negoro M, Shibuya M, *et al*: Surgical treatment for pediatric moyamoya disease: use of the superficial temporal artery for both areas supplied by the anterior and middle cerebral arteries. *Neurosurgery* 40: 324-330, 1997
 - 19) Touho H, Karasawa J, Ohnishi H: Preoperative and post-operative evaluation of cerebral perfusion and vasodilatory capacity with 99mTc-HMPAO SPECT and acetazolamide in childhood Moyamoya disease. *Stroke* 27: 282-289, 1996
 - 20) van der Zwan A, Hillen B, Tulleken CA, *et al*: Variability of the territories of the major cerebral arteries. *J Neurosurg* 77(6): 927-940, 1992