前方循環に対する血行再建 (STA-MCA bypass)

飯原 弘二 江頭 裕介 舟木 健史
中 嶋 教 夫* 高 橋 淳 宮 本 享

Current Status of Superficial Temporal Artery-Middle Cerebral Artery (STA-MCA) Bypass as Cerebral Revascularization for Occlusive Lesions and Complex Aneurysms in the Anterior Circulation

by

Koji Iihara, M.D., Yusuke Egashira, M.D., Takeshi Funaki, M.D.,
Norio Nakajima, M.D.*, Jun C Takahashi, M.D., and Susumu Miyamoto, M.D.

from

Department of Neurosurgery, National Cardiovascular Center

*Department of Neurosurgery, University of Tokushima

Here the authors reviewed current indications and technical standards for superficial temporal artery-middle cerebral artery (STA-MCA) bypass. STA-MCA bypass is one of the most fundamental techniques for cerebrovascular surgery. Main indications are a recently symptomatic carotid or middle cerebral artery occlusive disease with misery perfusion (stage II ischemia) proven by positron emission tomography (PET) or single photon emission computed tomography (SPECT) corresponding to the inclusion criteria of the Japanese EC-IC Bypass Trial (JET) Study. STA-MCA bypass is also indicated for flow alteration or as an isolation strategy for complex aneurysm surgery. Microsurgical training in the animal lab is a key step for successful surgery especially for younger neurosurgeons.

(Receive March 31, 2008 ; accepted May 20, 2008)

Key words : bypass, hemodynamic ischemia, cerebral blood flow, SPECT, PET

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 17 : 579-586, 2008

脳の血行再建の歴史は古く、1930年には大脳皮質の上に側頭筋の vascularized pedicle を留置した記載がみられる (encephalomyosynangiosis)。その後もさまざまな試みがなされたが、内頸動脈と外頸動脈との吻合によって、脳血流が改善する可能性を示唆したのは、1951年の Mark Fisher の報告⁵⁾であり、その後1967年に Yaşargil が STA-MCA bypass 術の臨床における成功例を発表した²⁵⁾。1970～1980年代初期にかけて、STA-MCA bypass 術（浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術）は広く行われるに至ったが、1985年に発表された国際共同研究の結果²²⁾、

その脳卒中予防効果は完全に否定され（いわゆる Barnett Shock）、その後長く冬の時代を迎えた。核医学の進歩に伴い、positron emission tomography (PET)、single photon emission computed tomography (SPECT) を用いた脳血流量の定量法が実用化され、以後血行力学的脳虚血を示すサブグループに対しては、STA-MCA bypass 術が有効となりうる可能性を示唆する知見⁶⁾¹⁰⁾¹⁶⁾²⁴⁾が蓄積され、近年になり Japanese EC-IC Bypass Trial (JET study)⁹⁾によって中等度以上の血行力学的脳虚血に対して、脳梗塞の予防効果が初めて示された。

国立循環器病センター脳神経外科／〒565-8565 吹田市藤白台 5-7-1〔連絡先：飯原弘二〕

Address reprint requests to: Koji Iihara, M.D., Department of Neurosurgery, National Cardiovascular Center, 5-7-1 Fujishiro-dai, Suita-shi, Osaka 565-8565, Japan

*徳島大学医学部脳神経外科

この間に、脳梗塞予防の目的では保険償還が不可能になった米国におけるバイパス手術は low volume surgery となり、2005 年に、『*Journal of Neurosurgery*』誌上に発表された米国における頭蓋内外血行再建術に関する論文¹⁾は衝撃的な内容であった。米国で行われた後向きコホート研究¹⁾では、1992～2001 年までの 10 年間に、閉塞性脳血管障害および頭蓋内動脈瘤に対して行われた頭蓋内外バイパス手術は、わずかに 558 件であり、low volume surgery といえる。適応は、脳虚血が 74% であり、未破裂脳動脈瘤が 19%、破裂脳動脈瘤が 7% であった。驚くべきは治療成績であり、死亡率が全体で 4.6% であり、内訳では脳虚血に対する手術で 2.4%、未破裂脳動脈瘤で 7.7%、破裂脳動脈瘤で 21% で年間入院数は 190 件 (1992～1996 年) から 360 件 (1997～2001 年) に増加しているのにもかかわらず、死亡率は 2.8% から 5.7% へと倍増している。

この研究は、全国の病院の退院患者統計を基にして算出されており、バイパス手術に関する詳細は不明であり、前方循環か後方循環か、あるいは低流量バイパス術か高流量バイパス術かは解析不可能である。高流量バイパス術および後方循環バイパス術は、ともに高い技術を要する手術であり、これらの手術が動脈瘤のバイパス手術において、どの程度含まれているかによって、この結果の解釈も大きく異なる。ちなみに過去の報告では、バイパス手術後の死亡率は、脳虚血に対するものでは、前方循環で 0.6～4%³⁾¹⁴⁾²¹⁾²²⁾、後方循環で 4～12%²⁾⁷⁾であり、動脈瘤に対するものでは、specialist center では、high flow bypass を含むシリーズで 2～5%⁸⁾¹¹⁾¹⁵⁾¹⁷⁾¹⁸⁾と報告されているが、この論文では community hospital では全体で 11%、破裂例に対する症例に限定すると 21% と高率であった。この事実は、比較的シンプルな形態を持った動脈瘤が血管内治療で治療される機会が増加している現在において特に重要であり、複雑な形態を有する動脈瘤は今後、包括的な脳血管センターで治療されることになることを示唆している。

閉塞性内頸動脈閉塞性病変に対するバイパス手術の適応

内頸動脈系の閉塞性病変に対するバイパス術の適応は、血行力学的脳虚血の正確な評価が必須である。近年の核医学の進歩に伴い、SPECT による脳血流量の定量評価が可能となった。脳虚血と SPECT/PET については、『脳神経外科ジャーナル』第 16 巻 10 号に特集があり、エキスパートによる詳細な総説があるので参照された

い。JET study では PET における misery perfusion を、SPECT によって代用診断を行い、登録基準とした点で画期的である⁹⁾。脳動脈瘤手術において親血管を閉塞する際にも、バルーン閉塞試験で親血管 (多くは内頸動脈) を一時遮断した際の残存血流を評価することが大切であり、脳血流の定量評価が、治療選択に重要であることに相違はない。

閉塞性内頸動脈閉塞性病変に対する STA-MCA bypass 術は、JET study の登録基準に合致する例が対象となり、十分なインフォームド・コンセントの下に施行すべきである。具体的には、①年齢 73 歳以下、②同側の虚血発作を有し、発症 3 カ月以内に精査を行い、③PET での misery perfusion の証明、または④IMP-SPECT, Xe-CT などの脳血流量定量評価において、安静時脳血流量が施設正常値の 80% 未満、ダイアモックス投与後の脳血管反応性が 10% 未満を満たした症例が適応となる⁹⁾。より軽度の脳虚血例においては、現在のところ明らかな適応は証明されておらず、JET study に引き続いて現在も経過観察中の JET-2 study の結果が俟たれるところである。

STA-MCA bypass 術の基本手技

① 術前検査

閉塞性脳血管障害の症例においては、頸動脈内膜剝離術と同様に虚血性心疾患の合併の有無について術前精査を行うことが必要である。術前にワーファリンを内服している症例では、数日前にヘパリンに変更し、手術数時間前に中止する。抗血小板剤の内服は、可能であれば中止するが、虚血発作が持続する例であれば、アスピリンなどの抗血小板剤は持続したまま手術を行う。Recipient の候補を選ぶ際には、術前の血管撮影の読影が大切であり、また術前 PET を施行しているならば、酸素摂取率 (oxygen extraction fraction; OEF) が上昇している部位はどこか²⁴⁾、術前 SPECT であれば安静時脳血流量と血管反応性の両者をよく検討しておく (Fig. 1)。最近、Mizumura ら¹³⁾によって開発された SEE 解析法は、脳表における血行力学的脳虚血の重症度を表示することによって、recipient の選択に重要な情報を与える。ただし、近傍に比較的大きな梗塞巣がある場合には、すぐ隣接した部位は、出血性合併症の発生を危惧して避けたほうが安全と考えられる。術前に CT あるいは MRI で造影検査を行い、血液脳関門の破綻の程度を評価し、強く造影されるならば、手術時期を延期する。

Fig. 1 Indication and efficacy of STA-MCA bypass for symptomatic right internal carotid occlusion. Preoperative carotid angiogram (A), preoperative PET (upper images) (B) showing diffuse areas of increased oxygen extraction fraction (misery perfusion; arrow) in the right cerebral hemisphere and SPECT 3D SSP images (lower) depicting extensive areas with decreased CBF after infusion of acetazolamide (Diamox). Postoperative carotid angiograms (C) demonstrating good patency of the STA-MCA bypass, and markedly improved hemodynamic status as shown by 3D-SSP (D).

② 手術手技の実際

ここでは手技の実際と注意点につき、簡単に述べる。

1. 皮 切

皮膚切開は、single bypass の場合は、外耳孔から 6 cm 頭頂側の点を吻合部と想定した“コ”の字形の皮膚切開を行う。Double bypass を行う場合には、ヴァリエーションが存在するが、頭頂枝直上を顕微鏡下に linear に剥離することもあり、皮弁の壊死を起こさないような工夫が必要である。Linear incision で頭頂枝を剥離する場合には、近位端をまず確認し遠位へ剥離を進める方法もあるが、No. 15 のメスで脂肪層の直上まで切開し、遠位端を確認し、STA の直上の層を近位に剥離すると STA の走行全体の確認が容易に行える。皮弁の裏側から、2 本の STA 分枝を剥離する場合には、後方の皮切は耳介後方に下ろすほうが、創部の治癒にはよい。

2. STA の剥離、遮断

STA の剥離は、vasa vasorum を温存するため、1~2 mm 程度の結合組織を周囲に残して剥離を行い、皮弁の辺縁から 1 cm の点までにとどめ、皮弁の虚血による壊死を予防する。STA から分枝する比較的大きな枝は、7-0 の糸でこまめに結紮しておくことと安心である。STA の frontal branch が低位に走行している場合には剥離に注意が必要であり、STA 近傍の皮弁に少し離れた位置で適度にテンションをかけ、剥離することがコツである。顔面神経の損傷にも注意を払う。

Recipient は通常、外耳孔から 6 cm 頭頂側の点を想定する。同部位は、Chater's point と呼ばれ、シルビウス裂の最も遠位であり、通常 angular artery が脳表に現れる部位に相当する。まず適切な recipient がどの部位に存在するかを決定し、STA を切断する長さを決定する。必要な長さは、吻合時に STA を十分左右あるいは前後に倒せる程度が必要であり、脳が吻合中に沈下する可能性も考慮しておく。吻合部を顕微鏡下に preparation するが、特に脳に萎縮がある場合には、髄液が流出して脳表が沈下することがあり、STA を剥離し、断端処理を行ってすぐに吻合に取りかかれるような状態で、recipient の準備を行うほうがよい。吻合予定部の裏などから分枝する細い側枝は、少し離れた位置でバイポーラを用いて弱い電流で 2~3 回に分けて通電し、凝固、切断する。もやもや病の症例では特に側枝が脆弱で、通電すると急激に収縮して引き抜けることがあり、より慎重に行う必要がある。STA の断端は、recipient の径の 2.5 倍に fish mouth 状に広げる方法と、そのような処理を行わない方法とがある。われわれは後者の方法を採用している。Recipient の裏にラバーシートを通して、場合によって、ラバーシートの

裏に糸付き綿を入れて、術野を浅くする。

Recipient の遮断は、STA の断端径を参考に、十分距離に余裕を持たせて行う。Arteriotomy の方法は、さまざまな方法があるが、われわれは 10-0 ナイロン糸で吻合部の前面をすくうように糸をかけ結紮し、この糸を持ち上げて、マイクロハサミで arteriotomy を施行している。STA 断端とともに、青色素でマーキングすると視認性が向上し、吻合の確実性が増す。STA の断端径と同じ長さになるように切開を加える。

3. 吻 合

吻合方法は、interrupted suture と continuous suture とがあるが、吻合血流が増加する可能性が高い STA-MCA bypass 術の場合には、吻合部が広がりうる interrupted suture が望ましい。右利きの術者は、吻合部が術者の前面から、右 45 度の角度になることが最も手の動きとしては自然であるため、術中に術者自身が動き、自然な形になるように努力する。また逆に、左手でも吻合ができるようにしておけば、なおさまざまな局面にも対応可能である。縫い代は、あまり大きくとると吻合部に狭窄をきたすため避けるべきである。高齢の患者の場合、STA にも動脈硬化があることがあり、また内弾性板が STA 断端で解離しているような場合がある。この場合には、針を通す方向は STA の内から外の方へ通すように心がけ、やむをえず外から針を通す場合には、十分カウンタープレッシャーをかけた状態で行う。一般的に STA が太く動脈硬化があり、recipient が細く壁が薄い場合など、両者の血管の性質に不均衡があれば、吻合はより困難となることが多い。

遮断解除は、まず STA を遮断解除して、吻合部が良好に膨らみリークがないことを確認する。もしリークがあれば、1 針追加するか、わずかなリークであれば再度 STA を遮断し、30 秒程度待ってから遮断を解除すると、止血できていることも多い。またこの際、STA の側枝からのわずかなリークを見逃さないようにすることも大切である。吻合部周囲に、筋肉片を巻いておく。

4. 閉 創

閉創の段階では、STA が捻れたり、屈曲しないよう硬膜を閉鎖することが大切であり、硬膜、骨弁ともに、STA の周囲に十分余裕を持たせるようにする。また各ステップで、Doppler にて STA の flow を確認することが大切である。

③ 術後管理

術後は、創部に強いテンションをかけないこと、眼鏡は側頭部で STA を圧迫しないよう、場合により調整する

Decision-making for selective bypass (NCVC protocol; ver 2)

Fig. 2 Decision-making algorithm for cerebral revascularization based on the results of balloon test occlusion (BTO) (NCVC protocol version II).

$$\text{AI: Asymmetry Index (Witt et al. AJNR 1994)} = \frac{\text{contralateral CBF} - \text{ipsilateral CBF}}{(\text{contralateral CBF} + \text{ipsilateral CBF}) / 2} \times 100$$

Fig. 3 STA-MCA bypass for a symptomatic large carotid cavernous aneurysm treated with a staged STA-MCA bypass followed by endovascular carotid sacrifice. Preoperative carotid angiogram (A) showing a large fusiform carotid cavernous aneurysm, contralateral carotid angiogram during temporary balloon test occlusion (BTO) (B) demonstrating good collateral flow via an anterior communicating artery, and small fusiform dilatations of the left middle cerebral and right anterior cerebral arteries (ACA and MCA) (arrows). Despite a high asymmetry index (0.4) with tolerance during BTO, STA-MCA bypass was performed (C: arrow), followed by staged endovascular carotid occlusion for fear of future growth of ACA fusiform dilatation after permanent carotid sacrifice (D: dashed arrow: coils in the aneurysm, arrow: detachable balloon for endovascular stumpectomy).

Fig. 4 True MCA trifurcation unruptured aneurysm treated with clipping combined with a STA-M2 bypass for the branch originating from the top of the dome. **A** and **B** preoperative carotid angiogram, **C** and **D** postoperative angiogram showing complete clipping of the aneurysm and good patency of the bypass.

必要がある。皮膚の色調をよく観察して、思わしくないように認めたら、その部位の糸を早めに抜糸する。脳梗塞を合併した症例では、抗痙攣剤を投与する。

術後はしばらく脳血流のパターンが大きく変動するため、神経症状の推移、SPECTでの血流の変化の評価を行い、十分補液をしておく。最近、頸動脈内膜剝離術と同様に STA-MCA bypass 術後の過灌流症候群の発生が報告されており、術後の脳血流検査がその鑑別に必須である。

④ 合併症

手術合併症は、全身状態に由来するものと手術に関連するものとに分類される。前述のように、頸動脈内膜剝離術と同様に内科的リスク、特に虚血性心疾患の合併や消化管出血などについて十分精査しておく。

手術に関連したものでは、虚血、痙攣、出血、および感染が挙げられる。1970～1980年代までの報告を集めた2,253例の解析では、バイパスの開存率は94.5%であり、死亡率が1.5%であった。脳梗塞が2.7%、一過性脳虚血発作が7.3%、痙攣が5.4%に認められた⁴⁾。脳虚血性合併症の発生はバイパスの開存に依存しており、術中STAを愛護的に扱うことと、術後の十分な補液、血圧維持が重要である。出血性合併症では、脳内出血が0.9%、皮膚感染が0.8%、皮膚の壊死が2.9%と報告されている。皮膚の壊死は、STAの直上を剝離するlinear incision

で行えば、発生が少なくなるとも報告されている。

クリッピング困難な脳動脈瘤治療における STA-MCA bypass 手術

脳血管外科または頭頸部腫瘍の外科の領域において、主幹動脈の閉塞を要する場合に、それに先立ち閉塞試験を行い、脳が虚血耐性を有するか否かを検討することは治療方針にかかわるきわめて重要な問題である。内頸動脈では急性閉塞を行うことにより約半数の例で虚血合併症をきたすことが1970年代に明らかとなっている。クリッピング困難な脳動脈瘤に対する治療では、flow isolation または flow alteration などの親血管閉塞術を併用することが多い。この場合には、術前にバルーン閉塞試験(balloon test occlusion; BTO)を行い、不耐性の場合には high flow bypass を選択する。耐性があつた場合には、残存血流の評価に伴って、STA-MCA bypass 術などの low flow bypass を選択する。BTOで臨床的に耐性が証明された例においても、5～20%の例において虚血性合併症をきたすことが報告され、親血管閉塞時にバイパス手術を併用するか否かについても、全例に併用すべきとする universal bypass approach と selective bypass approach とがある¹¹⁾¹²⁾。BTOでの感度を上昇させることを目的として、低血圧負荷などのさまざまな工夫もなされている¹⁹⁾。

われわれはBTOでは、閉塞前と耐性のあつた場合に

は、閉塞中の Xe-CT perfusion scanning を施行している。“正常”脳血流は $50 \sim 55 \pm 12 \text{ ml}/100 \text{ g 脳}/\text{分}$ とされているが、加齢とともに減少する。現在のところ、永久的内頸動脈遮断後に神経症状を認める具体的な閾値は明らかではない。 $30 \text{ ml}/100 \text{ g 脳}/\text{分}$ が、永久的内頸動脈遮断に耐える下限値と報告されている¹²⁾。これは $20 \text{ ml}/100 \text{ g 脳}/\text{分}$ が電気生理学的に機能異常をきたす値として報告されていることを考慮すると、リーズナブルな値であると考えられる。また閉塞時の神経症状の発生を予測する指標として閉塞側と非閉塞側との脳血流の非対称 (asymmetry) により評価する方法もあり、閉塞側の脳血流が標準偏差の2倍を超えて低下する場合には、遮断後の神経症状発生の危険が高いと考えられている。閉塞後の脳血流が $30 \text{ ml}/100 \text{ g 脳}/\text{分}$ 以下に低下することとの関連については、asymmetry index*が10%であれば、16%の特異度しかなく、また asymmetry index が45%であっても、感度が61%しかないともされ、また閉塞側または両側性に脳血流が増加する症例もある²³⁾。BTOにおいて不耐性であった場合に、high flow bypass を用いることに異論はないと思われるが、asymmetry index を指標にして、どの程度までなら STA-MCA bypass 術が必要であるのかについては、確定していない。われわれは asymmetry index 20%を STA-MCA bypass 術を必要とする目安としている (Fig. 2, 3)。また STA-MCA bypass 手術を併用することにより、複雑な形状の動脈瘤もクリッピングすることが可能となる場合がある (Fig. 4)。

バイパス手術のトレーニング

前述したように、STA-MCA bypass 術は定型的手術であるものの、確実なマイクロサージェリー技術の習得が必須である。しかしながら、吻合操作以外にもさまざまなピットフォールもあり、これは上級術者の技術を習得する以外にない。脳血管外科のパイオニア一人である“Great Sundt”の経験でも、初期に急峻な learning curve があったと報告²⁰⁾²¹⁾しており、閉塞性内頸動脈系病変を対象とした JET study において、外科治療の有効性が、合併症がない状態で達成されていること、クリッピング困難な動脈瘤治療にバイパス手術が必要な場合など、現在 STA-MCA bypass 手術は、最も失敗の許されない手術の一つといって過言ではないと思われる。このような定型的手術において、何らかの方法によるトレーニング

は、経験の少ない術者の learning curve を“左方移動”させるうえできわめて大切である。当科では、ラットを用いた微小血管吻合を100匹行うことを、STA-MCA bypass 術の臨床デビューの必須のステップと考えており、ラットの血管吻合ビデオで基本操作の十分な習得が認められた場合にはスタッフ、レジデントの区別なく、術者として選ばれる。若いレジデントが多忙な臨床の間に、地道なトレーニングを積んでいくうちに、臨床における姿勢まで脳血管外科医らしくなっていくのは頼もしいかぎりであり、外科医の修行に王道はないことを示している。これから脳血管外科を本格的に始めようとする若い脳神経外科医にとって、STA-MCA bypass 術は、最初の登竜門であると認識をして、日頃から修練を積んでいくことが大切である。

文 献

- 1) Amin-Hanjani S, Butler WE, Ogilvy CS, Carther BS, Baker FG 2nd: Extracranial-intracranial bypass in the treatment of occlusive cerebrovascular disease and intracranial aneurysms in the United States between 1992 and 2001: A population-based study. *J Neurosurg* 103: 794-804, 2005.
- 2) Ausman JJ, Diaz FG, Vacca DF, Sadasivan B: Superficial temporal and occipital artery bypass pedicles to superior, anterior inferior, and posterior inferior cerebellar arteries for vertebrobasilar insufficiency. *J Neurosurg* 72: 554-558, 1990.
- 3) Chater N: Neurosurgical extracranial-intracranial bypass for stroke: With 400 cases. *Neurol Res* 5: 1-9, 1983.
- 4) Day AL, Chandler HN: Cerebral revascularization. in Apuzzo MLJ (ed): *Brain Surgery. Complication Avoidance and Management*. New York, Churchill Livingstone, 1993, pp.908-924.
- 5) Fisher CM: Occlusion of the internal carotid artery. *AMA Arch Neurol Psychiatry* 65: 346-377, 1951.
- 6) Grubb RL Jr, Derdeyn CP, Fritsch SM, Carpenter DA, Yundt KD, Videen TO, Spitznagel EL, Powers WJ: Importance of hemodynamic factors in the prognosis of symptomatic carotid occlusion. *JAMA* 280: 1055-1060, 1998.
- 7) Hopkins LN, Budny JL: Complications of intracranial bypass for vertebrobasilar insufficiency. *J Neurosurg* 70: 207-211, 1989.
- 8) 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; discussion 144-136, 2002.
- 9) JET Study Group: Japanese EC-IC Bypass Trial (JET Study)—Study design と中間解析結果一. 脳卒中の外科 30: 97-100, 2002.
- 10) Kuroda S, Houkin K, Kamiyama H, Mitsumori K, Iwasaki Y, Abe H: Long-term prognosis of medically treated patients with internal carotid or middle cerebral artery occlusion: Can acetazolamide test predict it? *Stroke* 32: 2110-2116, 2001.
- 11) Lawton MT, Hamilton MG, Morcos JJ, Spetzler RF: Revas-

* asymmetry index = $\frac{(\text{健側 CBF} - \text{患側 CBF})}{(\text{健側 CBF} + \text{患側 CBF})} \times 100$

- cularization and aneurysm surgery: Current techniques, indications, and outcome. *Neurosurgery* **38**: 83-92; discussion 92-84, 1996.
- 12) Mathis JM, Barr JD, Jungreis CA, Yonas H, Sekhar LN, Vincent D, Penhney SL, Horton JA: Temporary balloon test occlusion of the internal carotid artery: Experience in 500 cases. *AJNR Am J Neuroradiol* **16**: 749-754, 1995.
 - 13) Mizumura S, Nakagawara J, Takahashi M, Kumita S, Cho K, Nakajo H, Toba M, Kumazaki T: Three-dimensional display in staging hemodynamic brain ischemia for JET study: Objective evaluation using SEE analysis and 3D-SSP display. *Ann Nucl Med* **18**: 13-21, 2004.
 - 14) Samson DS, Boone S: Extracranial-intracranial (EC-IC) arterial bypass: Past performance and current concepts. *Neurosurgery* **3**: 79-86, 1978.
 - 15) Santoro A, Guidetti G, Dazzi M, Cantore G: Long saphenous-vein grafts for extracranial and intracranial internal carotid aneurysms amenable neither to clipping nor to endovascular treatment. *J Neurosurg Sci* **43**: 237-250; discussion 250-231, 1999.
 - 16) Schmiedek P, Piepgras A, Leinsinger G, Kirsch CM, Einhüpl K: Improvement of cerebrovascular reserve capacity by EC-IC arterial bypass surgery in patients with ICA occlusion and hemodynamic cerebral ischemia. *J Neurosurg* **81**: 236-244, 1994.
 - 17) Sekhar LN, Kalavakonda C: Cerebral revascularization for aneurysms and tumors. *Neurosurgery* **50**: 321-331, 2002.
 - 18) Sen C, Sekhar LN: Direct vein graft reconstruction of the cavernous, petrous, and upper cervical internal carotid artery: Lessons learned from 30 cases. *Neurosurgery* **30**: 732-742; discussion 742-733, 1992.
 - 19) Standard SC, Ahuja A, Guterman LR, Chavis TD, Gibbons KJ, Barth AP, Hopkins LN: Balloon test occlusion of the internal carotid artery with hypotensive challenge. *AJNR Am J Neuroradiol* **16**: 1453-1458, 1995.
 - 20) Sundt TM Jr, Siekert RG, Piepgras DG, Sharbrough FW, Houser OW: Bypass surgery for vascular disease of the carotid system. *Mayo Clin Proc* **51**: 677-692, 1976.
 - 21) Sundt TM Jr, Whisnant JP, Fode NC, Piepgras DG, Houser OW: Results, complications, and follow-up of 415 bypass operations for occlusive disease of the carotid system. *Mayo Clin Proc* **60**: 230-240, 1985.
 - 22) The CE/IC Bypass Study Group: Failure of extracranial-intracranial arterial bypass to reduce the risk of ischemic stroke. Results of an international randomized trial. *N Engl J Med* **313**: 1191-1200, 1985.
 - 23) Witt JP, Yonas H, Jungreis C: Cerebral blood flow response pattern during balloon test occlusion of the internal carotid artery. *AJNR Am J Neuroradiol* **15**: 847-856, 1994.
 - 24) Yamauchi H, Fukuyama H, Nagahama Y, Nabatame H, Nakamura K, Yamamoto Y, Yonekura Y, Konishi J, Kimura J: Evidence of misery perfusion and risk for recurrent stroke in major cerebral arterial occlusive diseases from PET. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* **61**: 18-25, 1996.
 - 25) Yaşargil MG: Diagnosis and indications for operations in cerebrovascular occlusive disease. in Yaşargil MG (ed): *Microsurgery Applied to Neurosurgery*. New York, Georg Thime Verlag, 1969, pp.95-119.

要 旨

前方循環に対する血行再建 (STA-MCA bypass)

飯原 弘二 江頭 裕介 舟木 健史
中嶋 教夫 高橋 淳 宮本 享

前方循環における血行再建術である STA-MCA bypass 術の適応、手技のスタンダードについて概説した。STA-MCA bypass 術は、現在の脳血管障害の手術において最も基本的な手技であり、主な適応は最近の症候性の内頸動脈系の閉塞性疾患である。適応の決定は、PET または SPECT による貧困灌流の証明された例であり、JET study の登録基準に合致した例にのみ、明らかな手術適応がある。また複雑な脳動脈瘤の治療においても、STA-MCA bypass 術は重要な手技であり、確実な結果が最も要求される手技である。ラボでのトレーニングが、基本手技の獲得に必須である。

脳外誌 17 : 579-586, 2008