症 例

急性期の進行性脳梗塞に対する STA-MCA バイパスに伴う リスク回避のための外科的対処の一方方法 —ジャンピング・バイパスについて—

佐藤 篤, 佐々木哲郎, 一之瀬峻輔, 神谷 圭祐, 本郷 一博

“Jumping Bypass” to Avoid the Risks Associated with the Superficial Temporal Artery-Middle Cerebral Artery Bypass in Treating Acute Progressive Ischemia: A Technical Case Report

Atsushi SATO, M.D., Ph.D., Tetsuo SASAKI, M.D., Ph.D., Shunsuke ICHINOSE, M.D.,
Keisuke KAMIYA, M.D., and Kazuhiro HONGO, M.D., Ph.D.

Division of Neurosurgery, Ina Central Hospital, Ina, Nagano, Japan

Summary: We propose a novel surgical method termed “Jumping Bypass” to prevent hyperperfusion and to reduce the risk of uneven distribution of cerebral blood flow when performing an emergency superficial temporal artery (STA)-middle cerebral artery bypass to treat progressive atherosclerotic cerebral infarction. This method aims to improve blood circulation in two distant areas and to reduce the risk of hyperperfusion using a single STA as a bypass route for establishing side-to-side and side-to-end anastomoses. The presented case is of an atherosclerotic stroke in a 79-year-old woman. After a single STA was secured, the proximal part was anastomosed side-to-side to an artery on the temporal lobe, and the STA at the distal part was anastomosed to a branch on the frontal lobe. This method resulted in the rapid recovery of symptoms without resulting in hyperperfusion syndrome. This may be a useful surgical method in situations where hyperperfusion is unavoidable or when a single bypass may result in an uneven blood flow distribution.

Key words:

- atherothrombotic cerebral infarction
- STA-MCA bypass
- hyperperfusion
- jumping bypass

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 49: 468-473, 2021

はじめに

急性期の脳主幹動脈の閉塞は、心原性塞栓症においては塞栓除去手技の確立とデバイスの進歩によって十分な機能回復を狙えるようになってきた³⁾。一方で、アテローム性脳血管障害は直接的加療が難しく、内科的加療にも反応せず増悪することがある。症候性のアテローム性脳血管障害の急性期加療としての頭蓋内-頭蓋外バイパス治療は近年肯

定的な報告がなされており¹⁾⁷⁾⁸⁾¹²⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁹⁾²²⁾、加療の選択肢として考慮する必要がある。

一方で、バイパス手術の前提としては、血行動態や循環予備能の把握が必要である。アテローム性の血管閉塞は閉塞部位によっては吻合血流が行き渡らなくなったり⁷⁾、局所的な高血流となるいわゆる過灌流が起きる可能性があるためである^{4)5)9)~11)13)~15)18)}。しかし、急性期の症状進行状態において十分な情報獲得が困難な場合も起こり得る。つま

Fig. 1 **A, B:** Preoperative angiograms showing left M1 occlusion and a well-grown superficial temporal artery (STA). **C:** Preoperative diffusion-weighted (DWI) magnetic resonance image (MRI) and magnetic resonance angiogram (MRA) showing multiple high intensity spots around the Sylvian fissure and left M1 occlusion. **D:** Preoperative radio isotope-single photon emission computed tomography (RI-SPECT) showing reduced cerebral blood flow (CBF) and steal phenomenon in the left middle cerebral artery (MCA) territory.

り、虚血領域に効果的な過灌流を得るための血管吻合部位の判定が難しいことがあるのである。このような状況において柔軟に対処可能で、かつ過灌流を避けるための手術的手法は課題であろう。われわれは過灌流が局所的な循環血流と流入圧の上昇に起因すると仮定し、これを軽減する方法を考案したので、実症例を提示してその可能性を検討する。

症 例

74 歳、女性。

喫煙歴 30 本、飲酒歴 3 合/日、小児喘息の既往あり。常備内服なし。

左中大脳動脈(middle cerebral artery: MCA)の高度狭窄を原因として、右半身麻痺、失語症を呈した。来院後 2 日目まで保存的な加療を行うも症状は経時的に進行し、意識障害も出現したため緊急での血行再建が検討された。

画像所見: 術前血管撮影にて浅側頭動脈(superficial temporal artery: STA)前頭枝の良好な発達を認めた。MCA

領域は前大脳動脈からの capillary vessels を経由した逆行性血流によって灌流されていた(**Fig. 1A, B**)。MRI ではシルビウス裂前方の前頭葉運動言語野を中心に皮質下に虚血領域を認めた(**Fig. 1C**)。RI-SPECT では血流低下が左 MCA 領域全般に確認され、シルビウス裂を中心とする前頭葉と側頭葉領域に循環予備脳の著しい低下を認めた(**Fig. 1D**)。

手術方法: 前頭枝の走行を経皮ドップラー血流計にて確認したのち、STA 上の毛髪を剃髪し、直線状の皮膚切開を STA 直上に置いた。事前に Chater's point をマーキングして、シルビウス裂を十分超えるだけの STA の長さを確保した。側頭筋を切開して頭蓋骨を露出してから直径 4 cm ほどの開頭を置いた。次いで、STA 方向から C 字型の硬膜切開を置いた。脳表が露出してから、側頭葉に分枝する MCA の脳表露出部を確保した。この時点で STA を仮置きして、側頭葉表面から前頭葉表面の MCA 分枝に STA が到達可能な吻合ポイントを定め、同部の脳表血管も確保した。十分に STA の吻合部分の結合組織を処理し

Fig. 2 Surgical field.

A | **B**
C

A: Complete view of the superficial temporal artery-middle cerebral artery (STA-MCA) bypass. Inlet pictures showing anastomotic appearance.

B: Jumping bypass.

C: Intraoperative indocyanine green angiography after completion of bypass surgery.

*side-to-side anastomosis, **side-to-end anastomosis

たのち、レシピエントのMCA分枝に側側吻合を行った(**Fig. 2A**)。吻合は片側連続縫合で、もう一方は単針吻合で行った。側側吻合完了後、吻合部の隣接遠位部を一時遮断してSTAを開放した。その後、遠位端を前頭葉吻合予定部までもっていき端側吻合を置いた。血管遮断時間は側側吻合で20分、端側吻合で25分であった。吻合完了後のインドシアニングリーン(ICG)撮影で側側吻合部および端側吻合部から脳内に灌流していることを確認した(**Fig. 2C**)。

術後経過：術後、右片麻痺は速やかに改善し、手術直前にみられた意識障害も回復した。言語理解力が明瞭になり、運動性失語の改善を認めた。術後の脳血管撮影では、側側吻合および端側吻合部からMCAへの血流流入増が確認された(**Fig. 3A, B**)。RIでは基礎血流量に大きな上昇はみられなかったが、負荷時の血流量増加が明らかであり、循環予備能の明らかな改善を認めた(**Fig. 3D**)。術後過灌流症状も出現せず、回復期病院へ転院となった。

考 察

主幹動脈に起因する広範囲脳梗塞の急性期における治療においては、塞栓が疑われた場合はtissue plasminogen activator(tPA)投与と塞栓除去手術が効果を上げている。しかし、アテローム性病変における症状出現は治療抵抗性で進行性に増悪することもあり、近年このような病態に対する積極的なバイパス加療を行い、良好な結果であった報告がなされている¹⁾⁷⁾⁸⁾¹²⁾¹⁶⁾¹⁷⁾¹⁹⁾。われわれも、急性期に内科的加療が行われているにもかかわらず増悪したり、増悪が強く予想される状態では、可及的な情報収集のうえで血行再建の選択を行う場合がある。急性期にバイパス手術を要する症例は、内科的加療にもかかわらず虚血領域はmisery perfusionであり、術後過灌流が起きやすいと考えられる⁴⁾⁵⁾¹⁰⁾¹¹⁾¹³⁾⁻¹⁵⁾¹⁸⁾。アテローム血栓性梗塞による脳梗塞のもう1つの懸念は、血管狭窄病変がM2分岐部以降にも及んでいる場合である。この状況では1カ所の吻合のみでは灌流領域は十分に確保できず、吻合部周辺のみにしか灌

Fig. 3 Postoperative angiography and radio isotope-single photon emission computed tomography (RI-SPECT).

A-C: arterial phase of angiography showing good anastomosis on the two points of the peripheral middle cerebral artery (MCA).

D: RI-SPECT showing no increase in cerebral blood flow (CBF) but improvement of the steal phenomenon in the left MCA territory.

流を得られないことになる (**Fig. 4**). 救済できない梗塞領域を残すばかりか、吻合周辺部の局所過灌流となるリスクもある。このような状況では複数箇所の吻合と同時に、局所の過負荷を避ける策を講じる必要がある。過灌流を予想するための検査の報告もあるが^{6) 18) 21) 22)}、急性期では十分な検索を行う猶予はあまりない。このような局所的な灌流しか得られない状況に対して、間接的な血行再建の報告や、ダブルバイパスによる報告がある⁷⁾。今回われわれが提案するジャンピング・バイパスの特徴は、1本のSTAを使用することである。これは、短期的には局所の負荷を減らすと同時に、安定した血流配分のための灌流構築につながりやすくする意図がある。STAを十分な長さで確保したうえで、側側吻合にて側頭葉に灌流したのち、状況を見ながら前頭葉にも端側吻合で灌流を加え、全体で2カ所の吻合を置くことで、効率的な血流配分を負担を減らしつつ達成することを目指している。つまり、局所過灌流を避けつつ複数箇所へバイパスすることを目的としている。本来 STA-MCA bypass は low-flow bypass である。吻合可能なのはごく脳表の末梢の血管にかざられるのだが、それ

Fig. 4 Jumping bypass in a case of M1-2 occlusion. Blue arrows indicate anastomotic points. Red arrow indicates occlusion point.

ゆえにバイパス術後の過灌流は吻合部周辺の局所的血流過剰状態となり得る。アテローム性脳梗塞は広範囲に均等な血流分布が要求される状況となりやすいが、血行再建による血流改善は状況を劇的に改善させ得る。一方で、症状が進行性であるため、自動調節能が破綻するまでに末梢血管が拡張していることが多く、加えて加療が行われている渦中に施行されることから、出血リスクは高いと考えられる¹⁴⁾。過灌流や局所の血流偏在を可能なかぎり予防する術を検討しなければならないのはこのためである。また、脳卒中急性期の手術はシンプルかつフレキシブルであることが望ましい。今回われわれが提案する方法はそのリスクを軽減する可能性がある。具体的なメリットを列挙すると、以下ようになる。

1. M1あるいはM1-M2の動脈硬化性病変による閉塞は広範囲の血流低下をきたす可能性があるが、この方法は前頭側頭、両葉に均一に広く血流を行き渡らせることができる。
2. STAの血流と脳血管の血流差によっては局所的な過灌流が起き得る。1本の血管の血流を分配化することで各部における不均等な血流配分をなくし、過灌流リスクを下げ得る。
3. 1本のSTAのみを使用することから創部がシンプルかつ短いものとなり、手術時間の短縮が図れるうえに、頭皮への血流低下を減らすことができるので創傷治癒の面から有利である。

この手術は予定手術においても、利用可能なSTAが1本しか確保できないにもかかわらず前頭側頭両方に血行再建したい場合にも考慮の対象となり得るだろう。あるいは、STAの径がレシピエントのMCAに対して明らかに太く過灌流が予想され得るときなどにも応用できるだろう。この手技の技術的な制限は、十分な長さのSTAを確保することと、前頭葉および側頭葉の脳表分枝が広く露出されている必要がある点である。

現状でバイパス後の過灌流を予防する方法としては、エタラボンの投与や降圧などを徹底することに尽きるが²⁰⁾、術者が介入し得る積極的な手技的予防策は提案されていない。今回提案する方法は、予想されるリスクを低減し得る介入方法といえる。吻合箇所が1カ所増える点はデメリットかもしれないが、同一視野であり手技上の大きな問題とはならない。側側吻合が終わった段階ですでに灌流は行われているので、端側吻合は血流の循環の遅い場所を選択的に選んで行うことができる。その意味では、側側吻合が終わった段階でICG撮影による評価を行い、最も灌流の遅い部位を選んで端側につなげるのがよい。このバイパステクニックは、基本的にcoronary arteryなどにおけるsequential bypassに相当するもので、閉塞部位や循環のよ

くない部位を回避して血流を送り込むことができる²⁾。最初から2カ所にバイパスするのであれば、1本のSTAを途中で切離してY字型血管を形成して2カ所に吻合するcomposite bypassもよい方法である。側側吻合を用いるジャンピング・バイパスの利点の1つは、追加の吻合が不必要であれば端側吻合は行わずに終了することができる点にある。側側吻合単独では閉塞しやすいとはいえないが、新たに端側吻合を加えることでの側側吻合部の流入血流には変化が生じるので、追加吻合の部位選別は慎重に判断されるべきだろう。判断にはICG輝度測定やflow directionを術中に十分観察する必要がある。

結 語

緊急時の過剰灌流予防および創部管理の点でのメリットも多い手術方法を紹介した。吻合手術における1つのリスク回避術として念頭に置いておいてよいかもしれない。

なお、本論文に関して、開示すべき利益相反関連事項はありません。

文 献

- 1) Burkhardt JK, Winkhofer S, Fierstra J, *et al*: Emergency extracranial-intracranial bypass to revascularize salvageable brain tissue in acute ischemic stroke patients. *World Neurosurg* 109: e476-485, 2018
- 2) Buxton BF, Hayward PA: The art of arterial revascularization—total arterial revascularization in patients with triple vessel coronary artery disease. *Ann Cardiothorac Surg* 2: 543-551, 2013
- 3) Goyal M, Menon BK, van Zwam WH, *et al*: Endovascular thrombectomy after large-vessel ischaemic stroke: A meta-analysis of individual patient data from five randomised trials. *Lancet* 387: 1723-1731, 2016
- 4) Hamamura T, Morioka T, Sayama T, *et al*: Cerebral hyperperfusion syndrome associated with non-convulsive status epilepticus following superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis. Case report. *Neurol Med Chir*(Tokyo) 50: 1099-1104, 2010
- 5) Higashi S, Matsuda H, Fujii H, *et al*: Luxury perfusion syndrome confirmed by sequential studies of regional cerebral blood flow and volume after extracranial to intracranial bypass surgery: case report. *Neurosurgery* 25: 85-89, 1989
- 6) Hwang JW, Yang HM, Lee H, *et al*: Predictive factors of symptomatic cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis in adult patients with moyamoya disease. *Br J Anaesth* 110: 773-779, 2013
- 7) Inoue A, Kohno K, Iwata S, *et al*: Efficacy of early superficial temporal artery-middle cerebral artery double anastomoses for atherosclerotic occlusion in patients with progressing stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis* 26: 741-748, 2017
- 8) Inoue T, Tamura A, Tsutsumi K, *et al*: Acute to subacute surgical revascularization for progressing stroke in atherosclerotic vertebrobasilar occlusion. *Acta Neurochir*(Wien)

- 154: 1455-1461, 2012
- 9) Kim JE, Oh CW, Kwon OK, *et al*: Transient hyperperfusion after superficial temporal artery/middle cerebral artery bypass surgery as a possible cause of postoperative transient neurological deterioration. *Cerebrovasc Dis* 25: 580-586, 2008
 - 10) Kokuzawa J, Kaku Y, Watarai T, *et al*: Pure vasogenic edema caused by cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery to middle cerebral artery anastomosis—case report. *Neurol Med Chir*(Tokyo) 50: 250-253, 2010
 - 11) Kuroda S, Kamiyama H, Abe H, *et al*: Temporary neurological deterioration caused by hyperperfusion after extracranial-intracranial bypass—case report and study of cerebral hemodynamics. *Neurol Med Chir*(Tokyo) 34: 15-19, 1994
 - 12) Lee SB, Huh PW, Kim DS, *et al*: Early superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass in acute ischemic stroke. *Clin Neurol Neurosurg* 115: 1238-1244, 2013
 - 13) Mao Z, Li M, Ma Y, *et al*: Common features in patients with intracerebral hemorrhage following superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass in steno-occlusive cerebrovascular disease. *Neural Regen Res* 7: 1585-1590, 2012
 - 14) Matano F, Murai Y, Mizunari T, *et al*: Intracerebral hemorrhage caused by cerebral hyperperfusion after superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass for atherosclerotic occlusive cerebrovascular disease. *NMC Case Rep J* 4: 27-32, 2017
 - 15) Mukerji N, Cook DJ, Steinberg GK: Is local hypoperfusion the reason for transient neurological deficits after STA-MCA bypass for moyamoya disease? *J Neurosurg* 122: 90-94, 2015
 - 16) Muroi C, Khan N, Bellut D, *et al*: Extracranial-intracranial bypass in atherosclerotic cerebrovascular disease: report of a single centre experience. *Br J Neurosurg* 25: 357-362, 2011
 - 17) Nussbaum ES, Janjua TM, Defillo A, *et al*: Emergency extracranial-intracranial bypass surgery for acute ischemic stroke. *J Neurosurg* 112: 666-673, 2010
 - 18) Rahme R, Sudhakar TD, Alimi M, *et al*: Cerebral hyperperfusion syndrome by the numbers: Transient focal neurological deficit, imaging-proven focal hyperperfusion, and high graft flow rate following superficial temporal artery-middle cerebral artery bypass in a patient with symptomatic carotid occlusion—case report. *Oper Neurosurg*(Hagerstown), 15: E94-99, 2018
 - 19) Sugiyama T, Kazumata K, Asaoka K, *et al*: Reappraisal of microsurgical revascularization for anterior circulation ischemia in patients with progressive stroke. *World Neurosurg* 84: 1579-1588, 2015
 - 20) Uchino H, Nakayama N, Kazumata K, *et al*: Edaravone reduces hyperperfusion-related neurological deficits in adult moyamoya disease: Historical control study. *Stroke* 47: 1930-1932, 2016
 - 21) Wang D, Zhu F, Fung KM, *et al*: Predicting cerebral hyperperfusion syndrome following superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass based on intraoperative perfusion—weighted magnetic resonance imaging. *Sci Rep* 5: 14140, 2015
 - 22) Yoshimoto T, Houkin K, Kuroda S, *et al*: Low cerebral blood flow and perfusion reserve induce hyperperfusion after surgical revascularization: case reports and analysis of cerebral hemodynamics. *Surg Neurol* 48: 132-138, 1997

要 旨

急性期の進行性脳梗塞に対する STA-MCA バイパスに伴うリスク回避のための外科的対処の一方法 —ジャンピング・バイパスについて—

佐藤 篤, 佐々木哲郎, 一之瀬峻輔, 神谷 圭祐, 本郷 一博

脳梗塞急性期における治療抵抗性の脳梗塞に対して、過灌流を予防しつつ灌流の不均等さを是正するための手術方式を紹介する。この手技は、1本の浅側頭動脈の途中を側側吻合とし先端部分を端側吻合とすることで、離れた領域に灌流を可能とするものである。提示する症例は79歳の進行性脳梗塞の患者で、浅側頭動脈

近位部を側側吻合で側頭葉にバイパスし、次いで遠位部を端側吻合で前頭葉にバイパスした。この手術方法によって、症例は過灌流症状を呈することなく急速な症状改善を示した。この方法は、シングルバイパスでは灌流が不十分となる場合や、過灌流が予想されるような対象に対して有効な対処法かもしれない。