

STA-MCA バイパス術におけるトラブル回避のための注意点

池田 俊貴¹, 吉川雄一郎², 伏原 豪司¹, 栗田 浩樹²

Technical Notes for Prevention of Troubles in STA-MCA Bypass

Toshiki IKEDA, M.D.¹, Yuichiro KIKKAWA, M.D.², Goji FUSHIHARA, M.D.¹, and Hiroki KURITA, M.D.²

¹Department of Neurosurgery, Saitama Cardiovascular and Respiratory Center, Kumagaya, and

²Department of Cerebrovascular Surgery, Saitama Medical University International Medical Center, Hidaka, Saitama, Japan

Summary: Superficial temporal artery-middle cerebral artery (STA-MCA) bypass is a fundamental neurosurgery and a highly versatile technique. Off-the-job training has already been widely permeated, and even young surgeons can learn this surgical skill through training.

However, there are various difficulties in STA-MCA bypass surgery. To perform a successful surgery without complications, it is important for the surgeon to update their surgical skills and techniques, receive surgical instructions as an assistant, and to have various experiences that will allow him to be able to handle surgical complications later.

In this article, we describe important points from a more detailed viewpoint using photos and schemas on how to avoid complications beforehand and perform successful STA-MCA bypass surgery.

In STA-MCA bypass surgery, to avoid complications, it is important to take care of the following: (1) ensuring an optimal operating field, (2) gentle handling of blood vessels, (3) proper suturing.

To ensure an optimal operating field, an environment for proper suturing in a bloodless and semi-wet condition is essential. For gentle handling of blood vessels, attention should be paid to manipulation of the recipient/donor artery, processing method of small arterial branches, and handling method of the suturing needle. For proper suturing, attention should be paid to prevent suturing the opposite side, for suturing to adhere each inner membrane, and proper thread knotting, such as the Square knot.

Key words:

- STA-MCA bypass
- technical note
- trouble avoidance

Surg Cereb Stroke

(Jpn) 46: 254-261, 2018

はじめに

superficial temporal artery-middle cerebral artery (STA-MCA) バイパス術は、脳血管外科領域における基本的技術であり、若手でも練習次第で習得可能な技術である。その技術はバイパス術のみならず顕微鏡下手術におい

て安定した操作を行うための基礎が含まれており、脳神経外科手術領域全般においてもきわめて重要である。縫合技術に関しては off-the-job training が広く普及し、その有用性がすでに確立されている³⁾⁴⁾⁶⁾。

しかし、実際の手術において各段階の作業をどのように行えば良好な環境がつかれ、スムーズな手術が行える

¹埼玉県立循環器・呼吸器病センター 脳神経外科, ²埼玉医科大学国際医療センター 脳卒中外科(受稿日 2017. 8. 15)(脱稿日 2017. 11. 13)[連絡先: 〒360-0197 埼玉県熊谷市板井1696 埼玉県立循環器・呼吸器病センター 脳神経外科 池田俊貴] [Address correspondence: Toshiki IKEDA, M.D., Department of Neurosurgery, Saitama Cardiovascular and Respiratory Center, 1696 Itai, Kumagaya, Saitama 360-0197, Japan]

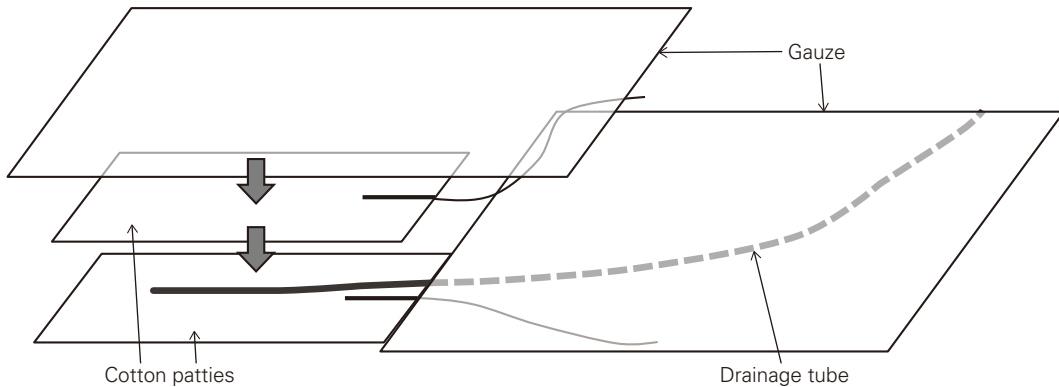
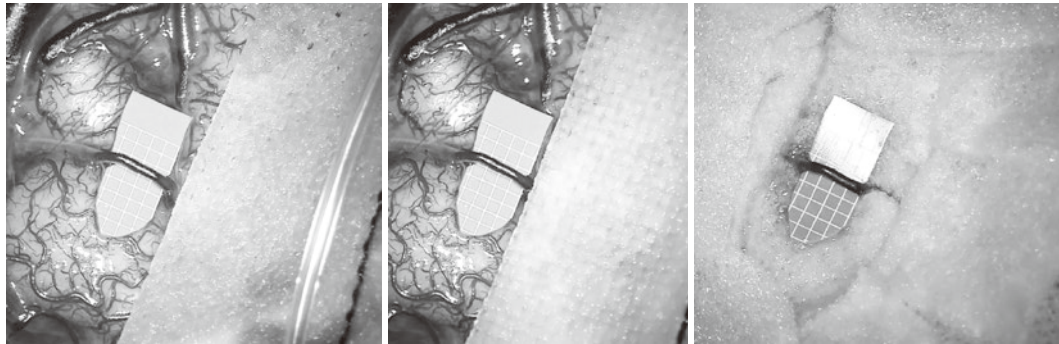


Fig. 1 Continuous suction system.

A|B|C
D

A-C: Place a continuous suction tube sandwiched between the surgical cotton patties near the suturing place, and cover with Gelfoam® (Pfizer).
D: Schema of the continuous suction system. Cover the exposed part of the tube with wet gauze to prevent slipping or coming off during anastomosis.

か、具体的な細かい点までなかなか実感がつかめない。また、実際の手術では状況や難易度がさまざまであり、術中に思わぬトラブルを経験することもある¹⁾⁵⁾。本稿では主に血管縫合に関するトラブルを防ぐ方法について、われわれの施設での指導法をもとに、より細かい注意点を述べる。

方 法

トラブル回避のために重要なことは、基本的な血管縫合操作を確実にすることや、バイパスをしやすい環境をつくることなどが挙げられる。具体的には、①最適な術野づくり、②愛護的な血管操作、③確実な縫合操作に注意する必要がある。それぞれの項目について、より細かく実践に即した注意事項を以下に記載する。これらの操作にどのような理由があるのか、またその操作すべてがトラブル回避に直結していることを認識しながら手術操作を行うことが重要である。

1. 最適な術野づくり

最適な環境づくりの目的は、縫合の難易度を下げることであるが、できるかぎり練習の状況に近い一定の環境をつ

くることにより、毎回ほぼ同じ条件で血管吻合操作に集中することができる。

1) Semi-wet の環境づくり

血管吻合を行う段階で、過剰な髄液や血液が垂れ込むと、縫合糸が周囲に張りつき、把持が困難になることで難易度が格段に上がる。また、視認性が低下することで血管の内膜を確実に捉えることが困難となり、いずれも縫合不全や血管閉塞の原因となり得る。これを防ぐためには、術野への血液垂れ込みを防止し、髄液排出の管理を行うことが重要である。

(1) 血液・髄液の垂れ込み

皮膚切開の段階から創傷治癒を障害しない程度に確実な止血を行い、STA の分枝処理も細いものまで確実にを行う。開頭の各段階において止血が確認できていないうちに次の層の操作に進まないよう、各段階での止血をしっかりと行う。また、切開した硬膜周囲にガーゼを挟み込み確実に硬膜を吊り上げ、物理的に硬膜内へ垂れ込ませない環境をつくる。

(2) 髄液排出の管理

外径 1.35 mm (4 Fr) のアトム多用途チューブ® (アトムメ

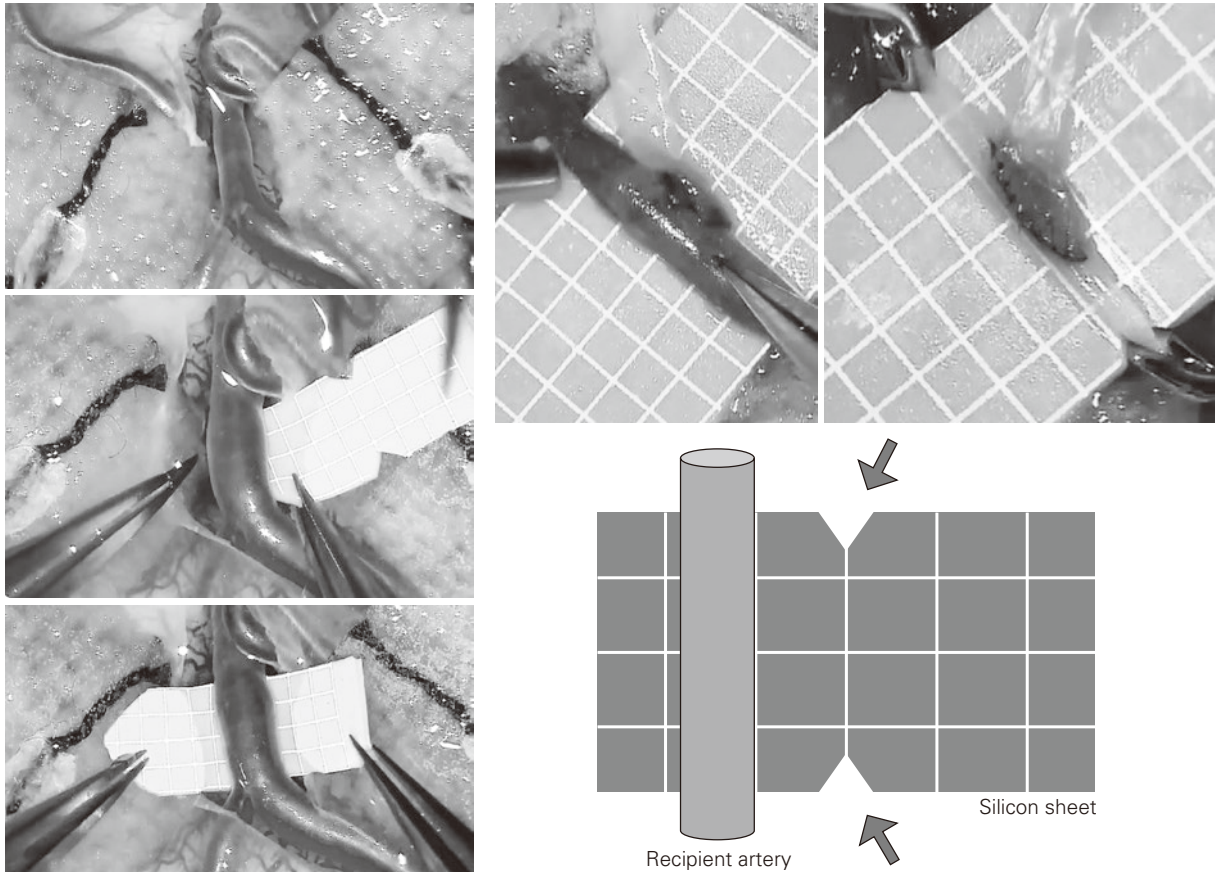


Fig. 2 Handling the silicon sheet.

A	D	E
B		
C	F	

A-C: When laying a silicon sheet under the recipient artery, protect the brain surface on both sides with cotton patties and pay attention to small arterial branches.

D-F: By making small triangular notches on both sides of the silicon sheet, prevent displacement its during anastomosis.

ディカル)を用いて持続吸引を行っているが、設置のやり方が悪いと、途中で閉塞したり抜けてしまったりするため、当科では下記の方法を用いており、現在まで毎回順調に作動している。

血管吻合部位よりやや低い位置の脳表に、2枚の大きめの綿片で挟み込んだ細い吸引チューブを設置する。チューブ先端部の吸引孔は、血液や脳表などの組織に直接触れないよう、必ず綿片などで全周を覆う。術中にチューブを引っかけないよう、露出しているチューブ部分の根元まですべて濡らしたガーゼをのせて保護しておく。濡れたガーゼが摩擦抵抗となり、途中で引き抜けることはほほない(**Fig. 1**)。チューブを接続している本体の吸引自体も、動くことのないよう安定した位置で固定する。

この髄液排出機構が、バイパス作成終了までしっかりと機能する前提として、前述した血液垂れ込み防止の環境づくりがあることを念頭に置く。この方法は、チューブを覆う綿片の大きさを変更し、設置場所を深部へ移動すること

で、深部バイパス術への応用も可能である。

2) 吻合場所の環境づくり

できるかぎり練習に近い環境をつくることで、より平常心で縫合ができると考えており、見た目にも綺麗な術野を心がける。吻合部周囲に余計な出血を起こさないためにも、脳表や血管などは直接鑷子で触れないようにする。触れる必要がある場合は、綿片を用い間接的に触れる。特に recipient artery の細い分枝処理の際などは脳表・recipient artery とともに綿片で保護して処理を行う。

また、recipient artery の血管直下にシリコンシート(上山式シリコンシート[®]、村中医療器)を敷き込むが、この際にも脳表を損傷しないように、recipient artery 両脇を綿片で保護してからシートを敷き込む。吻合途中でシリコンシートがずれないように、事前にシリコンシート両側に小さな三角形の切れ込みを入れておくことよい(**Fig. 2**)。切れ込みを入れる場合は、シリコンシート出し入れの際、分枝損傷に注意が必要である。切れ込みの大きさは0.5-1 mm の

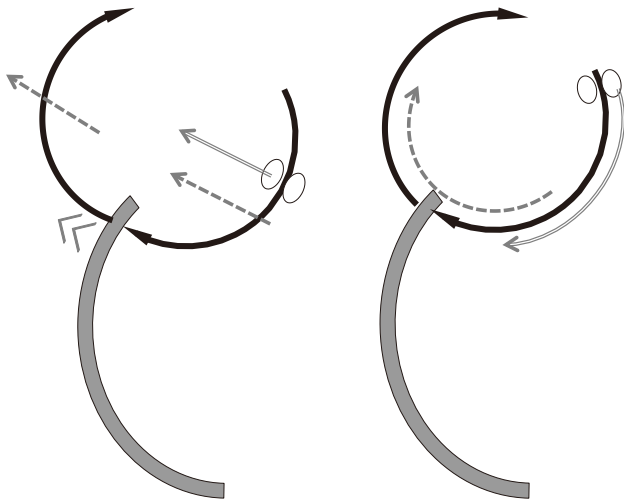


Fig. 3 Handling the needle.

A|B

A: A forcible needle handling not following the curvature puts a strain to the vessel wall and becomes a risk for vessel damage.

B: Appropriate needle handling following the curvature by pressing down on the back end of the needle does not put a strain on the vessel wall and reduces risk of vessel damage.

←--: Needle movement
 ←: Forceps movement
 << : Strain force

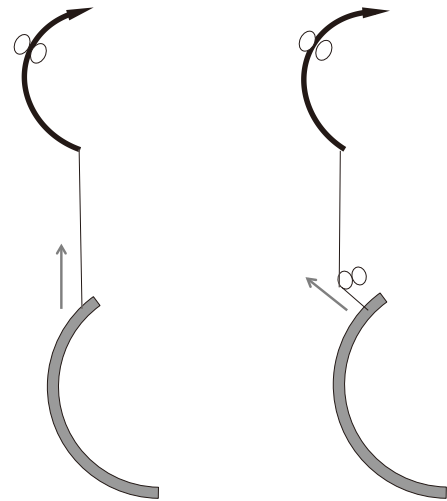


Fig. 4 Pulling the thread.

A|B

A: When the needle and thread are pulled without adequate care, the tension of the thread is applied to the vessel wall.

B: By pressing down on the thread with the other forceps, the direction of tension to the vessel wall by the thread can be controlled.

←: Tension of the thread

緩やかな三角形とし、recipient arteryがおさまる程度とする。recipient artery に対するシートの接触面による負担は、切れ込みを入れることで1面から2面に分散されるため、より愛護的になると考えられる。

われわれが使用しているシリコンシートは、ある程度の硬さがあり、シートを敷き入れるだけでも recipient artery が持ち上がるが、不十分である場合は小切の Gelfoam® (Pfizer) をシートの下に入れて血管を持ち上げる。また、シート自体で recipient artery を損傷する危険があるため、使用する幅にも注意が必要であり、われわれは通常4mmほどの幅で使用している。もやもや病など血管が脆弱な場合は、適宜柔らかい素材へ変更を検討する。

血管吻合操作前の段階で、縫合場所周囲を Gelfoam® (Pfizer) で全周性に覆っておく。これは針置き場所としても使用できる。綿片では毛羽立ちが針糸や鑷子の操作の邪魔になってしまい、針置き場としても使いにくい。

2. 愛護的な血管操作

STA-MCA バイパス術で扱う血管は1mm前後であり、もやもや病の場合はさらに細く脆弱である。わずかな操作で血管を損傷するため、細心の注意が必要である。

1) 血管操作

STA 剥離の段階より、血管を損傷しないように細心の注意を払う必要がある。施設ごとに剥離で使用する器機は異なるが、当施設では cutting bipolar を用いている。STA に結合織を残さないよう、直上で剥離を行うが、この際に bipolar の熱で STA を損傷しないよう注意が必要である。また、STA 分枝の太いものは結紮を行うが、細いものは bipolar にて焼灼・切離を行う。この際にできるだけ離れた部位で焼灼を行い、分枝の引き抜きや、STA 本幹の熱損傷に注意を払う。donor artery となる STA の内膜は決して鑷子で直接摘まないよう心がける。

recipient artery となる M4 の扱いはさらに注意を要し、特にもやもや病の脆弱な M4 は鑷子などによる刺激で容易に spasm や損傷を起こす。まず M4 自体を極力鑷子や吸引管などで直接触れないよう心がけ、触れる場合は綿花で間接的に触れる。M4 周囲の操作(分枝処理、ラバーシート挿入など)をする際には、周囲の脳表や M4 を綿花で覆い、保護につとめる。M4 の分枝処理は、低出力の bipolar にて極力 M4 から離れた位置で確実に焼灼・切断を行う。血管吻合時は、内膜を鑷子でつかむことは絶対にしてはならない。血管をつかまなければならない場合でも縫合部位より離れた箇所や外膜のみに留めるが、基本的には摘む以外の鑷子の動き(押し当てる、入れ込んで持ち上

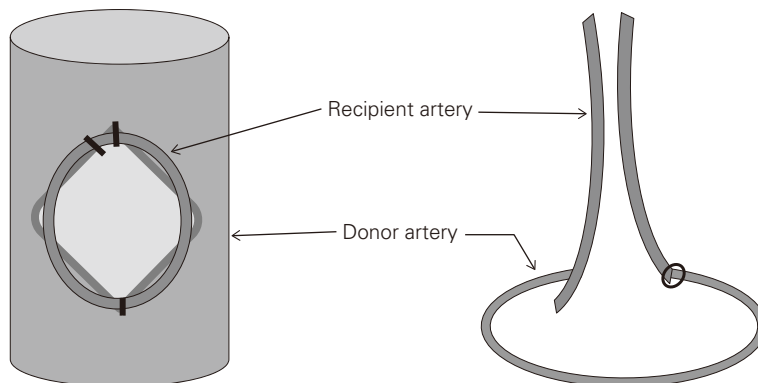
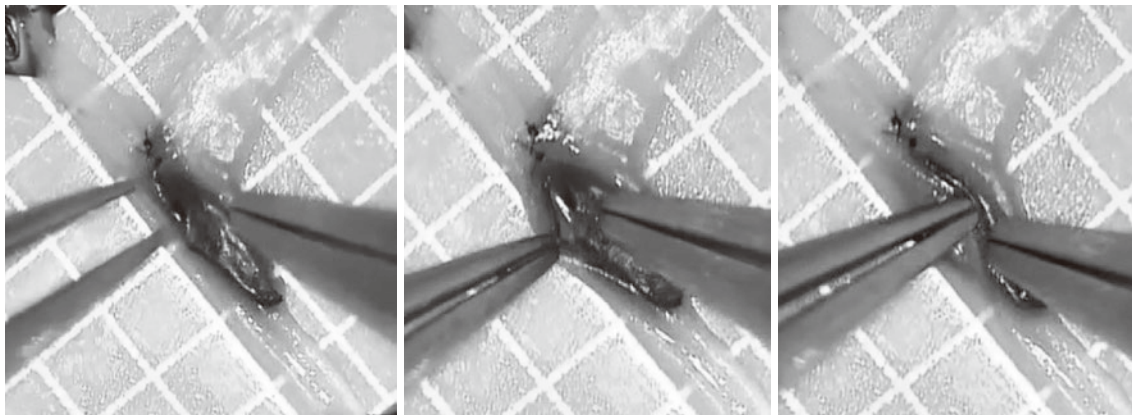


Fig. 5 Preventing suturing of the opposite side.

A	B	C
D	E	

A-C: By inserting one side of the donor artery into the recipient artery, prevent suturing the recipient artery from the opposite side.

D: Transverse section of the anastomosis. The third suture and stay sutures are performed before one side of superficial temporal artery (STA) is inserted into the M4.

E: Longitudinal section of the anastomosis. The opposite suture after the STA has been inserted into the M4. The opposite M4 is covered with one side of the STA.

げる、摩擦でずらすなど)で対応する。

2) 縫合針・糸の操作

ここでは、縫合血管に対する愛護的な運針方法を述べる。基本は、縫合血管自体がほとんど動かないくらいの負担で吻合を行うことである。縫合針や糸により血管が引っ張られることを避けなければならない。このためには、まず針は血管壁に対して垂直に入れ、針の弯曲に沿って無理なく進めることである。当たり前のことではあるが、意識して手首を返すくらいでないと針の先端を垂直に入れることは容易ではない。そして針の後端を軽くつかみ、刺入部に向かって押していくことで、弯曲に沿った運針が可能となる。また、針を引き抜く際にも弯曲を意識した方向へゆっくりと引き抜く。これら一連の操作は、他方の鑷子でカウンターをかけながら行う (Fig. 3)。

通した針を引き抜いた後も、無造作に引っ張ると糸の tension で血管が損傷される可能性があり、引き抜く糸の

方向を他方の鑷子で押さえつけて可能なかぎりコントロールする (Fig. 4)。

3. 確実な縫合操作

最適な環境をつくることができれば、吻合練習の成果を生かすことができる。縫合操作においては、裏縫いに気をつけ、内膜同士が密着する縫合をしっかりと行い、吻合部内腔が連続した内膜で覆われ、十分に拡張することが重要である。

1) 裏縫い防止

裏縫いを防止するためには、まず髄液や血液の垂れ込みをなくし、視認性を上げることが大切である。また、血管断端へのピオクタニンの塗りすぎは視認性を低下させるため、使用する際は極力少量の塗布に留める。ここでは、縫合方法による裏縫い防止策を述べる。

裏縫いをする場合には、縫い始めの際に対側 donor ar-

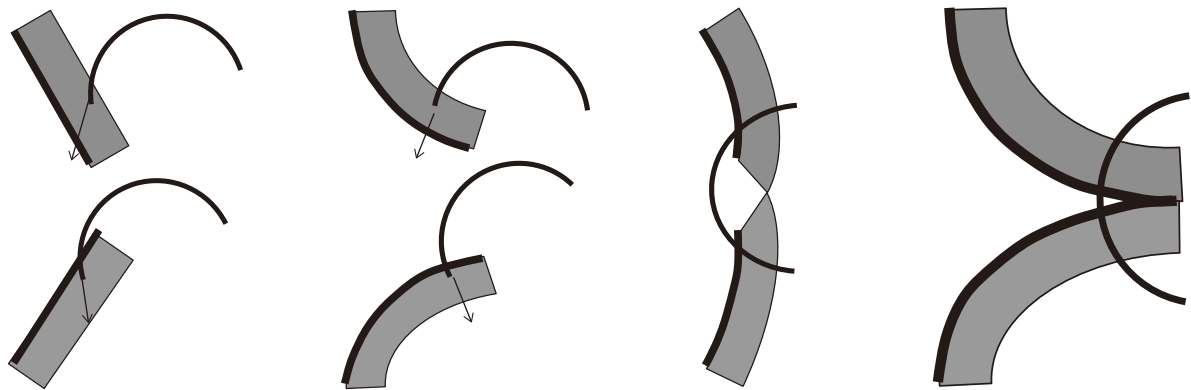


Fig. 6 Direction of needle insertion.

A|B|C|D

A, C: When the insertion of the needle is oblique, the vascular walls do not get warped and the inner membranes do not adhere adequately to each other.

B, D: By inserting the needle perpendicularly to the vessel wall, the inner membranes can be adhered closely to each other.

Bold line: inner membrane

tery (M4)を縫い込むことが多いため、物理的に縫い込まれないように予防を行う。まず、stay sutureを通常通り両端に行った後に、右側面から縫合を行う場合は、その前にまず左側のstay suture脇に1針縫合を行い、事前に縫合面を少し広げておく。その後、左側のrecipient artery (STA)断端をM4内腔へ入れ込み、右側の縫合を開始する。これで、右側の縫合を行う場合、対側M4は対側STA断端により隠されているため、物理的に裏縫いできない環境となる。右側の縫合終了後は、入れ込んだSTA断端を引き出し、左側の縫合を行う(**Fig. 5**)。当施設では、この方法で裏縫いをした症例はこれまで経験していない。

2) 内膜同士の縫合

血管吻合においては、内膜の連続性を保つため、内膜同士を密着させる必要がある。side-to-end anastomosisのため、縫合部が外側へ反り返るほどの縫合はなかなか困難であるが、少なくとも内腔側へ陥凹してしまうような縫合は避けなければいけない。

最も重要なことは、良好な視認性を確保したうえで、針を確実に全層へ垂直に入れることである。頭では理解していても、針の弯曲に負けて斜めに針を刺入してしまうことも少なくない。斜めに刺した場合、内膜が十分に縫われていない可能性や、縫合後に吻合部が内側へ陥凹してしまう可能性がある。特に針の後端をもった場合ほど斜めに刺入してしまう可能性が高く、あまりに後端を把持することはすすめられない。針の刺入の際には、意識してやや手首を返すくらいでちょうど垂直に刺さると思われる。針が垂直に刺さることで、内膜を確実に刺入し、縫合部が内側へ陥凹することを回避できる(**Fig. 6**)。

3) 糸結び

基本的なことであるが、糸結びの順序も重要と考えている。あらためていうまでもないが、解けにくさと切断糸の向きから、square knot(いわゆる男結び)を行う。第一結紮と第二結紮を反対方向に行うことで、より解けにくくなり、かつ切断糸の方向が一定となり、次の縫合に干渉しない利点がある。一方、granny knot(いわゆる女結び)を行うと、糸が緩む可能性があり、第三結紮を追加する必要が生じる。また、切断糸の方向がバラバラになり、次の縫合に干渉してくる可能性があるため、おすすめしない。理想的には切断糸が同一方向(縫合面と垂直)に一定間隔で並んでいる状況がよいと思われる(**Fig. 7**)。

以上の点に留意し、縫合操作に特に問題がない場合は、血流再開後の吻合部の形態が十分に膨らみ、良好なバイパス血流が期待できると思われる。もし、なんらかの問題があった場合は、血流再開後も吻合部にひきつれが生じ、閉塞の原因となる可能性があるため、血流再開後の吻合部形態を考慮して縫合を行うことが重要である(**Fig. 8**)。

また、一連の血管吻合操作における血流遮断・解除については、まずrecipient arteryの血流方向におけるproximal sideから遮断を行い、次いでdistal sideの遮断を行う。バイパス完成後は、donor arteryであるSTAの吻合部直上に逆流防止のクリップをかけた後で、recipient arteryのdistal・proximal sideの順に遮断解除を行う。吻合部に問題がないことを確認した後に、STAのproximal・distalの順に血流を再開させる。

考 察

STA-MCAバイパス術は、基礎トレーニングが確立され

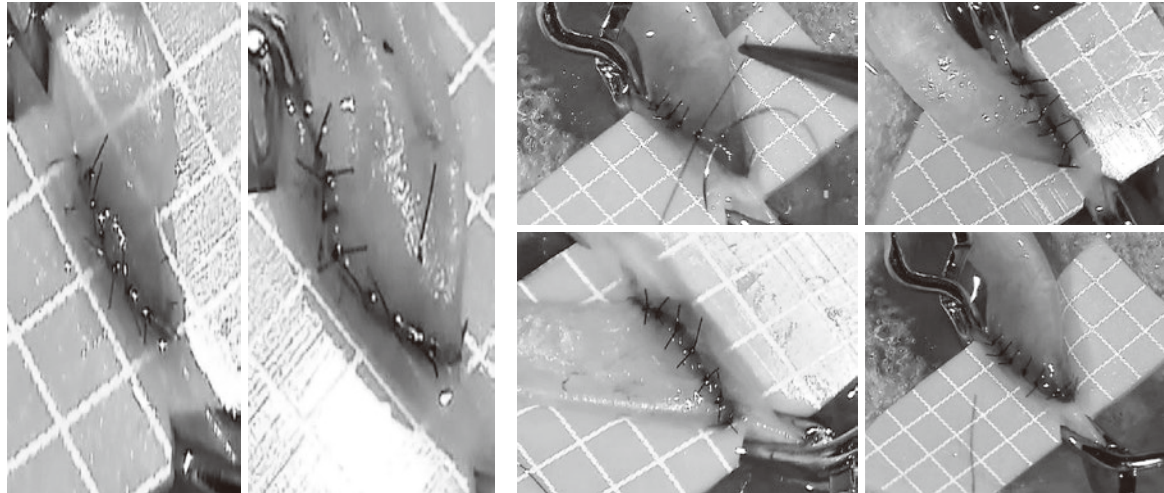
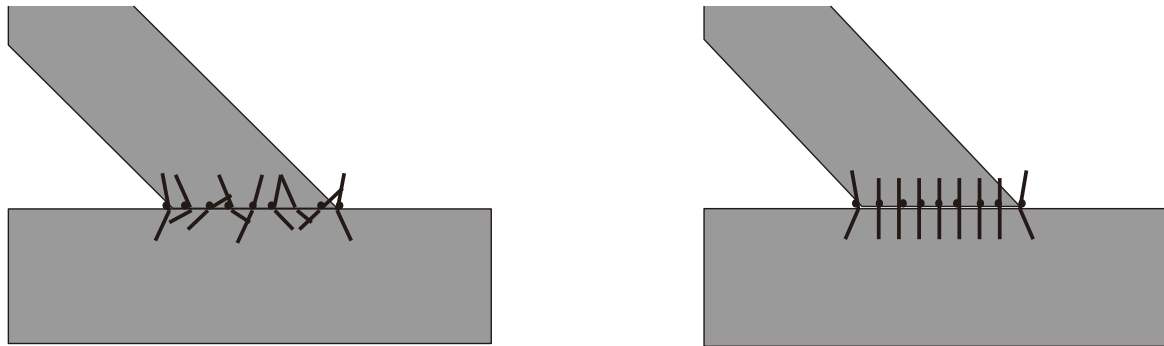


Fig. 7 Knotting the thread.

A	B
C	D
E	F
G	H

A, C, D: If the thread is knotted in a “Granny knot”, the directions of the cut ends of the thread become inconsistent and interfere with the surrounding sutures.
B, E-H: If the thread is knotted in a “Square knot”, the directions of the cut ends of the thread become consistent and do not interfere with the surrounding sutures.

ている技術であるが、実際の手術との相違点は大きい⁵⁾。安定した手術が行えるようになるまでには、この相違点を乗り越えるために、継続した基礎訓練や、助手として手術指導を受けること、さらにさまざまな経験の共有が重要と思われる。基礎訓練の中でも、特にratを用いた血管吻合の訓練は、ほぼ実際の手術と同様の血管縫合が可能で非常に有用であり、血管縫合技術だけではなく準備段階の環境づくりなどにおいてもきわめて有用である。この訓練は、設備や時間的な制約により施行が困難であるが、機会があればぜひ行うべき訓練であると思われる²⁾、当施設では若手医師が定期的にratを用いた訓練を行っている。

一方、吻合技術以外の重要な要素である吻合前の最適な術野づくりにおいて、特に虚血性脳卒中発症リスクが高い症例では、周術期も抗血小板薬の服用を継続しているため、より慎重な止血作業が必要になる。われわれの施設では、複数の抗血小板薬を服用している場合は、術前より単

剤に減薬して周術期も継続としている。抗凝固薬を併用している場合は、必要度に応じて術前にヘパリン置換を行い、術直前に中止している⁸⁾。

本稿で述べた注意点を行わない場合でも、短期的な開存は期待できる可能性はあるが、バイパス術の主な目的は吻合後の長期的なバイパス開存による将来の脳卒中予防にある⁹⁾。そのためには、極力内膜に負担をかけず、吻合後の内膜肥厚を抑える必要がある。内膜肥厚は、針穴や吻合の際の中膜断裂部を介しての外・内膜交通部から始まるため⁷⁾¹⁰⁾、血管縫合操作において、より繊細な操作が必要とされる。

また、バイパス術の全過程における個々の細かい作業のうち、1つでも不完全であれば、それは吻合操作の難易度に直結し、バイパス開存率に影響する可能性があることを常に念頭に置くことが大切である。術中、血管閉塞をきたした場合は、さまざまな可能性が考えられるため(側頭筋

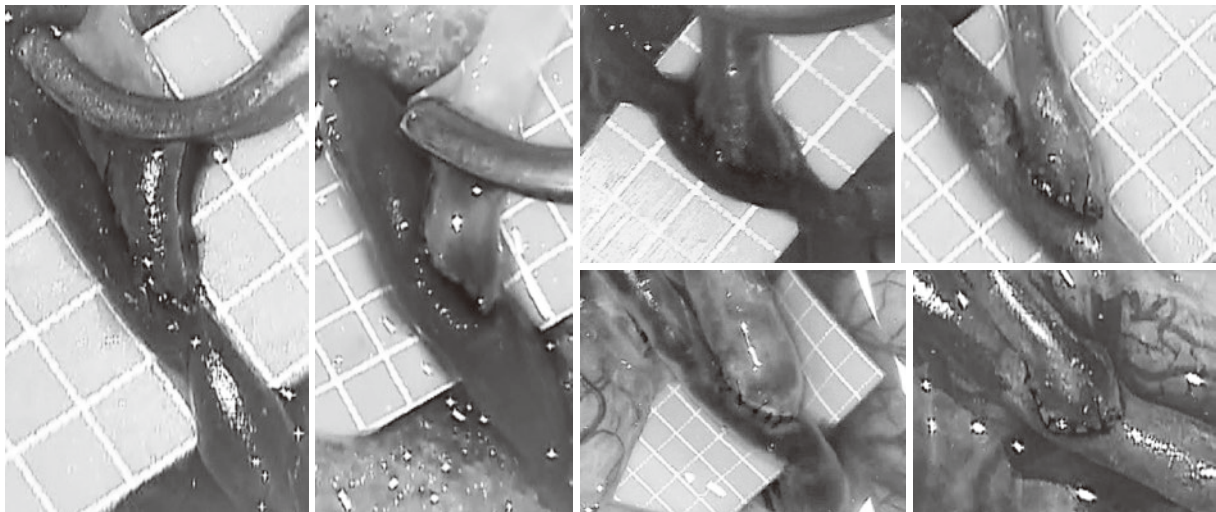


Fig. 8 Shape of the anastomosis after declamping.

A	B	C	D
		E	F

A, B: If the suturing is improper, edge of anastomosis be pulled after declamping of the blood flow.

C-F: The vessel at the anastomosis expands adequately after declamping of the blood flow when the suturing is proper.

や皮弁による絞扼・圧迫, STA の乾燥や攣縮, 血管解離, 裏縫いや血管内皮損傷, 血管壁が内反した状態での縫い込みなど), 原因を見極めて対処しなければならず, 再吻合はさらに難易度が上がるため, 煩雑ではあるが本稿の注意点を確実にに行い, トラブルなく吻合を行うことが最も重要である.

結 論

施設ごとにそれぞれ細かい相違点はあるが, これらの注意点を理解したうえで基礎訓練を継続することや, 助手として手術指導を受け, さらにさまざまな経験を共有することで, 術者となった際に起こり得るトラブルを事前に回避できる可能性が高まると思われる.

文 献

- 1) 青木孝親, 宮城知也, 竹内靖治, ほか: 同一術者による浅側頭動脈—中大脳動脈吻合術(STA-MCA バイパス)の手術成績と手術手技上の問題点. *脳卒中の外科* 40: 159-163, 2012
- 2) Hai J, Ding M, Guo Z, *et al*: A new rat model of chronic cerebral hypoperfusion associated with arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 97: 1198-1202, 2002
- 3) 井上智弘, 國井尚人, 熊切 敦, ほか: 脳卒中外科手術技量の継承における卓上型マイクロによる縫合練習の役割—8万針の効果. *脳卒中の外科* 37: 247-252, 2009
- 4) Inoue T, Tsutsumi K, Adachi S, *et al*: Effectiveness of suturing training with 10-0 nylon under fixed and maximum magnification($\times 20$) using desk type microscope. *Surg Neurol* 66: 183-187, 2006
- 5) 石川達哉, 師井淳太, 玉川紀之, ほか: 練習できないバイパス術のコツ—上手な「場」の作成やその他のトラブルシューティング. *脳卒中の外科* 38: 77-82, 2010
- 6) 印東雄大, 堤 一生, 安達 忍, ほか: 手術初心者によるガーゼおよびチューブを用いた手術訓練の血行再建術における効能. *脳卒中の外科* 39: 169-174, 2011
- 7) 森田智子, 栗坂昌宏, 森 惟明, ほか: ラット微小血管吻合後の経時的形態学的検討—特に内膜肥厚と内皮再生について. *脳卒中* 13: 613-628, 1991
- 8) 大谷直樹, 和田孝次郎, 井中康史, ほか: 慢性期脳虚血性病変に対して安全確実に STA-MCA バイパス術を完遂するための外科的治療戦略. *脳卒中の外科* 44: 417-424, 2016
- 9) Vilela MD, Newell DW: Superficial temporal artery to middle cerebral artery bypass: past, present, and future. *Neurosurg Focus* 24: E2, 2008
- 10) 山村光弘, 八百英樹, 宮本 巍: 術後内膜肥厚研究のための動物実験モデル. *脈管学* 43: 755-759, 2003