体外循環シャントを用いた頸動脈手術

吉野正紀 水谷 徹 湯山隆次
原 貴行^{*1} 太田 貴裕 飯島 明^{*2}

Femoral-internal Carotid Extraluminal Shunt for Carotid Surgery

by

Masanori Yoshino, M.D., Tohru Mizutani, M.D., Ph.D., Ryuji Yuyama, M.D.,
Takayuki Hara, M.D., Ph.D.^{*1}, Takahiro Ota, M.D., Ph.D., and Akira Iijima, M.D., Ph.D.

from

Department of Neurosurgery, Tokyo Metropolitan Tama Medical Center

^{*1}Department of Neurosurgery, Toranomon Hospital

^{*2}Department of Neurosurgery, Tokyo Kosei Nenkin Hospital

Carotid endarterectomy (CEA) is a well established procedure for the prevention of cerebral infarction secondary to carotid artery stenosis, but the use of intraluminal shunt during CEA remains controversial. We have used intraluminal shunt selectively if the collateral blood supply is insufficient during cross clamping. The ischemic tolerance is investigated by carotid artery balloon test occlusion before insertion of the intraluminal shunt during CEA for patients with contralateral carotid severe stenosis or occlusion. If ischemic symptoms, such as paralysis, develop within 5 minutes after the test occlusion, we think that insertion of the intraluminal shunt carries the risk of ischemic complication. Therefore, we use femoral-internal carotid extraluminal shunt instead of intraluminal shunt, which allows us to perform CEA without interrupting the blood flow to the brain. In addition, the extraluminal shunt can supply blood to the brain without relying on blood pressure, because the blood flow is supplied by a roller pump. We have also applied this technique to patients with long segment common carotid stenosis who require more time to insert the intraluminal shunt than usual, and patients with carotid pseudoaneurysm who require carotid cross clamping during CEA. The femoral-internal carotid extraluminal shunt could be placed in all cases without problems, and CEAs were performed without complications. Femoral-internal carotid extraluminal shunt can reduce perioperative complications in patients who have potential risks associated with insertion of an intraluminal shunt.

(Received January 17, 2011 ; accepted February 15, 2011)

Key words : CEA, shunt, operative technique

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 20 : 604-610, 2011

はじめに

頸動脈内膜剥離術 (CEA) の有効性は、過去の大規模臨床試験の結果から確立されているが⁴⁾、内シャントの

使用に関してはいまだ議論が分かれるところであり、統一見解は得られていない¹⁾¹⁵⁾¹⁹⁾。当科ではこれまで選択的に内シャントを使用してきたが、反対側内頸動脈閉塞などで脳の虚血耐性が非常に低い症例、狭窄病変が長く

東京都立多摩総合医療センター脳神経外科／〒183-8524 府中市武蔵台 2-8-29〔連絡先：吉野正紀〕

Address reprint requests to: Masanori Yoshino, M.D., Department of Neurosurgery, Tokyo Metropolitan Tama Medical Center, 2-8-29 Musashidai, Fuchu-shi, Tokyo 183-8524, Japan

^{*1}虎の門病院脳神経外科 ^{*2}東京厚生年金病院脳神経血管内治療科

Table 1 Characteristics of patients

No.	Sex	Age	Symptomatic	Length of stenosis (cm)	Contralateral stenosis or occlusion	Symptoms within 5 minutes after starting BOT	Carotid pseudo-aneurysm
1	M	62	+	2.3	occlusion	+	—
2	M	66	+	2.5	occlusion	+	—
3	M	72	—	2.0	occlusion	+	—
4	M	79	+	3.0	occlusion	untested	—
5	M	77	+	—	—	untested	+
6	F	67	—	8.0	—	untested	—
7	M	69	—	9.5	—	untested	—
8	M	64	+	8.0	—	untested	—
9	M	70	—	10.0	—	untested	—
10	M	69	—	4.1	occlusion	untested	—

Fig. 1 Schematic view showing the femoral-internal carotid extraluminal shunt system. The sheath is inserted into the ICA to supply blood to the brain from the femoral artery.

通常の内シャントでは挿入までに時間がかかると予想されるような症例に対して体外循環シャントを使用してきた。従来の内シャントと比べ遮断時間を必要とせず、また内頸動脈（ICA）への送血もポンプで行うため、体血圧に依存せず脳血流を一定に保つことができる。本方法は周術期合併症予防において有用であったため、具体例を提示し報告する。

対 象

2002 年 1 月～2009 年 12 月に当科で CEA を施行した 372 例 422 病のうち、術前検査で反対側頸動脈強度狭窄、閉塞を認め、バルーン閉塞試験（BOT）で 5 分以内に麻痺や言語障害といった脳虚血に伴う症状が出現した 5 例、および総頸動脈起始部から狭窄が続いており遮

断に長時間を要すると思われた 4 例に体外循環シャントを使用した。また通常の内シャント留置が困難と思われた頸動脈偽性動脈瘤の症例にも適用し、合計 10 症例に使用した。内訳は男性 9 例、女性 1 例、年齢 62～79 歳（平均 69.5 歳）、症候性 5 病変、無症候性 5 病変であった（Table 1）。

方 法

手術はこれまで当科が報告してきた方法（経鼻挿管全身麻酔下で選択的にシャントを使用し、パッチは通常使用しない⁹⁾²⁰⁾）で施行しているため重複は避け、体外循環シャントについて詳述する。

Fig. 2 A : Left carotid angiogram showing stenosis of the ICA.
B : Right carotid angiogram showing occlusion of the ICA.
C : Two balloons are placed in the ECA and the CCA, and both are inflated.

① セッティング

体位は通常の CEA に準じるが、両鼠径部を消毒し術野に露出させ、脱血用カテーテル留置に備える。鼠径部および頸部の脱血、送血には 5 Fr および 7 Fr のラジフォーカス® イントロデューサ（テルモ）をおのおの準備し、まずは大腿動脈に 7 Fr のシースをセルジンガー方式で経皮的に留置しておく。また送血用ポンプには 500 ml/min までの定常流を維持可能な JMS マルチフローポンプ MF-01（ジェイ・エム・エス）を使用する。送血回路には人工心肺用回路（テルモ）を使用し、ヘパリン加生理食塩水（20 単位/ml）を用いてプライミングをしておく。さらに透析用血液回路（日機装株式会社）の送血回路もシステムに組み込み、塞栓症を予防するフィルターの目的で使用している。一連の作業は、心臓外科手術に習熟した臨床工学技士に協力を仰いでいる。

② シャント挿入

通常の CEA に準じ頸動脈を露出させ送血用のシース挿入に備える。シースは病変部より遠位に留置するため、ICA を病巣遠位端から約 1 cm 程度露出させる必要がある。術前の画像検査から想定したシース刺入部に、あらかじめ 7-0 PRONOVA®（Ethicon）を用いて巾着縫合をしておく。ここまで準備したところで全身ヘパリン化を開始し、activated clotting time（ACT）を 250 秒以上に保つ。次に先ほど準備した巾着縫合部分に、セルジンガー

Fig. 3 A : 3D-CT angiogram showing severe stenosis of the CCA.
B : Postoperative 3D-CT angiogram showing normalized patency of the CCA.

方式で 5 Fr のシースを約 2 cm 挿入する。ICA からの逆血を確認し、シースが適正な位置にあることを確認してから、シースを頸部の皮膚に縫合して固定する。その後、大腿動脈から脱血を開始し、ICA 側のシースに血液回路を接続して体外循環シャントを形成する（Fig. 1）。徐々にポンプの流速を上昇させ、送血時の抵抗がないことを確認し 200 ml/min まで上昇させる。その後は速やかに ICA、総頸動脈（CCA）、外頸動脈（ECA）を遮断する。

③ シャントの維持

遮断中はポンプの設定を 200 ml/min とし、脳血流を維持する。またシャント挿入後約 30 分ごとに ACT を計測し、250 秒を下回っている場合は適宜ヘパリンを追加している。術中のモニタリングとしては脳波を使用している。

④ シャント抜去

頸動脈内の操作を終え、頸動脈を縫合した後で遮断を解除し、ポンプによる送血を徐々に減少させる。送血量が 0 ml/min になったところで ICA に留置されたシースを抜去する。その際、あらかじめ準備しておいた巾着縫合をシース抜去と同時に完成させ、ICA からの出血をコントロールする。回路内に残存した血液は、大腿動脈を介し体内に戻している。

Fig. 4 Intraoperative photographs

- A : CCA is exposed for a long distance.
 B : Plaque is dissected from the lumen of the CCA.
 C : Plaque is removed completely from the CCA and ICA.
 D : Carotid artery is completely closed.

症例提示

【症例 1】

患者：66 歳，男性

左症候性頸動脈狭窄＋右無症候性頸動脈閉塞 (Fig. 2). 術前精査で左大脳半球に対する側副血行路が乏しいことが予想されたため，BOT を施行した．BOT は CCA および ECA を同時に閉塞させる tandem occlusion で施行している (Fig. 2). その結果 5 分で右麻痺，失語を認めたため，体外循環シャントを選択した．周術期合併症を認めず，術後検査で狭窄の解消を確認し，遠位 ICA に解離などの異常も認めなかった．

【症例 2】

患者：64 歳，男性

CCA～ICA の long segment 症候性頸動脈狭窄症 (Fig. 3).

CCA 狭窄による脳梗塞発生率についての自然歴は不明であり，治療方法も統一されていないが当科では積極的に CEA を施行している．CCA におよ 8 cm 以上の狭窄では遮断時間の長期化を考慮して体外循環シャントを用いており，本症例でも体外循環シャント下に CEA を施行した (Fig. 4). 狭窄が長いこと手術操作に通常よりも時間を要したが，術後検査で狭窄の解消を確認し，

遠位 ICA にも解離を認めなかった．

【症例 3】

患者：77 歳，男性

頸動脈偽性動脈瘤．舌癌に対し抗癌剤動注療法＋放射線治療を施行した．約 20 年後，発音障害を機に増大傾向を伴う頸部腫瘍として発見された．内部には血栓が充満しており偽性動脈瘤と診断した (Fig. 5). 手術は偽性動脈瘤切除＋patch graft による再建を計画した．不用意な剥離で壁欠損部から出血をきたす可能性があり，病巣部を遮断下に剥離することにした．頸動脈剥離前では通常の内シャントを留置できないため，体外循環シャントを形成し，術前の計画どおり手術を施行した (Fig. 6). 周術期合併症は認めず，術後の画像検査でも偽性動脈瘤は消失していた．

結 果

全症例で体外循環シャントを形成することができ，術中もシャントの維持が可能であった．脳波モニタリングでも異常は認めず，術後に脳梗塞や過灌流症候群を呈した症例も認めなかった．術後の画像検査上も病巣は解消されており，ICA の解離や急性閉塞は認めなかった．

Fig. 5 A : 3D-CT angiogram showing a pseudoaneurysm in the left CCA.
B, C : Axial CT scans showing a pseudoaneurysm (An.) outside the left CCA.

考 察

近年周術期脳梗塞の発生率はステントでより高いとの報告もあり³⁾, 当科では CEA を第一選択としている. 反対側頸動脈閉塞, 高度狭窄の合併は Willis 輪を介した側副血行路が不十分であると推測されるため, 手術のリスクファクターとして認識されている. これまで当科では, 周術期リスクを少しでも減らすためさまざまな工夫をしてきたが⁹⁾²⁰⁾, このような症例に対しては遮断時間を減少させることで周術期リスクを低減できると考え, 本方法を考案し使用してきた. 本法の源流は 1960 年代にまでさかのぼることができ¹³⁾¹⁴⁾, その後も同様な報告が散見されている⁶⁾⁸⁾¹⁷⁾.

それらの報告にもあるように, 体外循環シャントによるメリットとしては, ①内頸動脈の遮断時間をゼロにできること, ②病巣より遠位にシースを留置するため術野を妨げないこと, ③ポンプで送血するため体血圧に依存せず脳血流の維持が可能であること, ④既存の機材でシステムの構築が可能で, 操作も比較的容易であること, などが挙げられる. これらのうち最大のメリットは, 術

Fig. 6 Intraoperative photographs

- A : Sheath is inserted into the ICA before dissection of the carotid pseudoaneurysm.
- B : Pseudoaneurysm is dissected after carotid clamping.
- C : Pseudoaneurysm is removed completely from the CCA.
- D : CCA is completely closed with a patch graft.

中の遮断時間をゼロにできることにある。内シャント挿入に伴う遮断程度では、脳波異常をきたす症例はあっても、その後内シャントを挿入すれば速やかに回復し、術後に神経学的異常を認めないとする報告がみられる¹⁴⁾。側副血行がある程度期待できる場合は、通常の内シャントで十分であると考え、BOT で 5 分以内に神経学的異常を呈するような症例の一時遮断に伴うリスクについて言及した報告は、われわれが渉猟しえたかぎりでは認めていない。また過去に stump pressure が 18 mmHg で内シャントを用いて CEA を施行したが、術後に一過性麻痺を認めた症例を経験した。挿入時に手技上の問題はなく、遮断時間も 5 分以内であり、MRI でも脳梗塞を同定できなかったため血行動態の悪化に伴う症状と推測した。このようなことから、側副血行路が乏しく BOT で 5 分以内に神経学的異常を呈する場合には、本方法を絶対的適応と考え体外循環シャントを使用している。一方、問題点としては、①閉塞性動脈硬化症合併例では大腿動脈からの脱血が困難であること、②高位病変では ICA にシースの留置が困難であること、③ICA にシースを留置時に頸動脈解離および塞栓症を発生する可能性があること、④心臓外科手術に習熟した臨床工学技士の協力が必須であることが挙げられる。

以上より、当初反対側狭窄、閉塞などの症例を中心に使用してきたが、現在は通常の内シャントを挿入するまでに時間がかかるような CCA 起始部～ICA までの long segment の狭窄や、頸動脈偽性動脈瘤といった症例にも応用している。これまでのところ体外循環シャントによる周術期合併症は認めておらず、頸動脈手術を安全に行うための手段の 1 つとして考慮してもよいと思われた。

遮断中の血流に関しては、直径が 3 mm の内シャントでは灌流圧が 100～150 mmHg で 150～200 ml/min 程度の送血量であるとの報告や⁷⁾、正常 ICA 血流が 181～372 ml/min であるとする過去の文献報告²⁾¹⁰⁾¹⁶⁾から 200 ml/min に設定した。脳波異常をきたした症例はなく、術後虚血性合併症、過灌流症候群も認めなかったことより、現時点では妥当な設定値だと思われた。また脳血流をポンプによる定常流で維持することに関しても古くから意見が分かれるところであり、定常流によって脳血流、代謝が低下するとの報告もあれば¹²⁾¹⁸⁾、定常流も拍動流も脳に与える影響に差はないとの報告もある⁵⁾¹¹⁾。これまでのところ術後に新たな合併症をきたしておらず、本手術程度の時間であれば定常流による脳損傷の可能性は低いと思われるが、ポンプの流量も含め、引き続き検討が必要であると思われた。

結 論

体外循環シャントは、より安全に頸動脈手術を行うための device になりうると考えられた。

文 献

- 1) Aburahma AF, Stone PA, Hass SM, Dean LS, Habib J, Keifer T, Emmett M: Prospective randomized trial of routine versus selective shunting in carotid endarterectomy based on stump pressure. *J Vasc Surg* 51: 1133-1138, 2010.
- 2) Boysen G, Ladegaard-Pedersen HJ, Valentin N, Engell HC: Cerebral blood flow and internal carotid artery flow during carotid surgery. *Stroke* 1: 253-260, 1970.
- 3) Brott TG, Hobson RW 2nd, Howard G, Roubin GS, Clark WM, Brooks W, Mackey A, Hill MD, Leimgruber PP, Shiffet AJ, Howard VJ, Moore WS, Voeks JH, Hopkins LN, Cutlip DE, Cohen DJ, Popma JJ, Ferguson RD, Cohen SN, Blackshear JL, Silver FL, Mohr JP, Lal BK, Meschia JF: Stenting versus endarterectomy for treatment of carotid-artery stenosis. *N Engl J Med* 363: 11-23, 2010.
- 4) Chaturvedi S, Bruno A, Feasby T, Holloway R, Benavente O, Cohen SN, Cote R, Hess D, Saver J, Spence JD, Stern B, Wilterdink J: Carotid endarterectomy—An evidence-based review: Report of the Therapeutics and Technology Assessment Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology* 65: 794-801, 2005.
- 5) Chow G, Roberts IG, Harris D, Wilson J, Elliott MJ, Edwards AD, Kirkham FJ: Stöckert roller pump generated pulsatile flow: Cerebral metabolic changes in adult cardiopulmonary bypass. *Perfusion* 12: 113-119, 1997.
- 6) Fachinetti P, Bellocchi S, Ramponi G, Sardella M, Dorizzi A: Carotid endarterectomy: A new technique replacing internal shunts. *Acta Neurochir (Wien)* 143: 457-464, 2001.
- 7) Furui T, Hasuo M: Indwelling double-balloon shunt for carotid endarterectomy. Technical note. *J Neurosurg* 60: 861-863, 1984.
- 8) Ghosh J, Ashleigh R, Baguneid M: Use of an extracorporeal femoral-carotid shunt in the management of complex supra-aortic disease. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 38: 755-757, 2009.
- 9) 原 貴行, 水谷 徹, 湯山隆次, 今泉陽一: 頸部内頸動脈狭窄症に対する頸動脈内膜剝離術—安全な手術を目指して工夫していること—。脳卒中の外科 36: 355-360, 2008.
- 10) Hardesty WH, Roberts B, Toole JF, Royster HP: Studies of carotid-artery blood flow in man. *N Engl J Med* 263: 944-946, 1960.
- 11) Hindman BJ, Dexter F, Smith T, Cutkomp J: Pulsatile versus nonpulsatile flow. No difference in cerebral blood flow or metabolism during normothermic cardiopulmonary bypass in rabbits. *Anesthesiology* 82: 241-250, 1995.
- 12) Ji B, Undar A: An evaluation of the benefits of pulsatile versus nonpulsatile perfusion during cardiopulmonary bypass procedures in pediatric and adult cardiac patients. *ASAIO J* 52: 357-361, 2006.
- 13) King H, Shumacker HB Jr: Femoral-internal carotid bypass as an adjuvant in carotid thromboendarterectomy. *Surg Gynecol Obstet* 115: 505-507, 1962.
- 14) Norman AG, Burton JD, Taylor DE, Kinmonth JB:

- Carotid artery reconstruction with the aid of perfusion. *Br J Surg* 49: 219-221, 1961.
- 15) Plestis KA, Loubser P, Mizrahi EM, Kantis G, Jiang ZD, Howell JF: Continuous electroencephalographic monitoring and selective shunting reduces neurologic morbidity rates in carotid endarterectomy. *J Vasc Surg* 25: 620-628, 1997.
 - 16) Samnegard H, Carlens P: Effect of physical exercise on internal carotid artery blood flow after arterial reconstruction. *Scand J Thorac Cardiovasc Surg* 9: 220-228, 1975.
 - 17) Schönholz C, Ikonomidis JS, Hannegan C, Mendaro E: Bailout percutaneous external shunt to restore carotid flow in a patient with acute type A aortic dissection and carotid occlusion. *J Endovasc Ther* 15: 639-642, 2008.
 - 18) Tranmer BI, Gross CE, Kindt GW, Adey GR: Pulsatile versus nonpulsatile blood flow in the treatment of acute cerebral ischemia. *Neurosurgery* 19: 724-731, 1986.
 - 19) Woodworth GF, McGirt MJ, Than KD, Huang J, Perler BA, Tamargo RJ: Selective versus routine intraoperative shunting during carotid endarterectomy: a multivariate outcome analysis. *Neurosurgery* 61: 1170-1176, 2007.
 - 20) Yoshino M, Fukumoto H, Mizutani T, Yuyama R, Hara T: Mandibular subluxation stabilized by mouthpiece for distal internal carotid artery exposure in carotid endarterectomy. *J Vasc Surg* 52: 1401-1404, 2010.

要 旨

体外循環シャントを用いた頸動脈手術

吉野 正紀 水谷 徹 湯山 隆次
原 貴行 太田 貴裕 飯島 明

反対側頸動脈強度狭窄・閉塞の症例のうち、術前バルーン閉塞試験で5分以内に脳虚血由来の症状が出現する場合は、通常の内シャント挿入でも虚血性合併症をきたす可能性があると考えている。当科では、このような症例に対して体外循環シャントを使用し、術中の遮断時間をゼロにするような工夫をしてきた。現在は狭窄病変が長く、通常の内シャント挿入までに時間を要するような症例や、頸動脈遮断下に頸動脈剥離を行ったほうが安全な頸動脈偽性動脈瘤といった症例にも応用している。全例で体外循環シャントを形成、維持することが可能であり、安全に手術を行うことができた。周術期合併症を認めた症例もなく、より安全に頸動脈手術を行うための device になりうると思われた。

脳外誌 20: 604-610, 2011

Editorial Comment

体外循環シャントを用いた頸動脈手術

北海道大学医学部脳神経外科 黒田 敏

頸動脈内膜剥離術 (CEA) の妥当性が証明されてから久しい。ただ、CEA の意義は周術期合併症の頻度が十分に低い場合にのみ発揮されることをわれわれは常に銘記しなければならない。本論文の著者らも長年にわたってその努力を継続していることは周知の事実である。内シャントの使用はいまだに議論の尽きない領域であるが、術中に脳が虚血に暴露される時間を大幅に短縮することで頸動脈遮断中の昇圧や脳保護薬の投与を不要なものとし、脳梗塞や過灌流症候群などの合併症を減少させることができると考えられている。さらに内シャントは、頸動脈の遮断時間を気にする必要なく顕微鏡下に丹念に内膜を剥離・摘出できる点で有用であろう。内シャント

チューブを挿入するための頸動脈遮断は通常2~5分程度の施設が多いと思われる。今回、著者らはさらに遮断時間を短縮させるために体外循環シャントを10例で使用している。本法の長所・短所は著者が本文中で述べているとおりである。内頸動脈遠位部でのシースの安全な挿入・固定にはそれなりの習熟が必要であろう。また、本法はきわめて特殊な手技であり、その適応はきわめて限定的であると考えられる。また、CEAの術前は3D-CTAが標準の検査となりつつある昨今、術前に常にバルーン閉塞試験 (BOT) を行う必要があるかどうかについても、今後、議論を要するであろう。