

特集 ★★★

原著

内シヤントを全例に使用した CEA に関する検討 —無血で安全な手術手技と治療成績に関して—

鷺見 賢司, 水谷 徹, 杉山 達也, 飯塚 一樹
久保美奈子, 廣瀬 瑛介, 新井晋太郎, 松本 政輝
佐藤 洋輔, 桑島 淳氏, 中條 敬人

Carotid Endarterectomy with Routine Shunting: Bloodless and Safe Surgical Procedure, and Outcome

Kenji SUMI, M.D., Tohru MIZUTANI, M.D., Ph.D., Tatsuya SUGIYAMA, M.D., Ph.D., Kazuki IIDUKA, M.D., Ph.D., Minako KUBO, M.D., Eisuke HIROSE, M.D., Shintaro ARAI, M.D., Masaki MATSUMOTO, M.D., Yosuke SATO, M.D., Ph.D., Atsueji KUWAJIMA, M.D., Ph.D., and Takahito NAKAJO, M.D., Ph.D.

Department of Neurosurgery, Showa university School of Medicine, Tokyo, Japan

Summary: CEA for the patient of cervical internal carotid artery stenosis is an effective treatment proved by multiple large clinical trials. We perform CEA for adaptive cases with a unified surgical procedure. In order to avoid ischemic complications associated with carotid artery clamping during surgery, we use indwelling shunt for almost all cases (routine shunting).

In this article, we evaluate the effectiveness and safety of routine shunting retrospectively focusing on surgical techniques and results at our facility.

In 234 patients/ 255 CEA was performed at our facility from April 2012 to March 2018. Among 255 CEAs, DWI positive lesions were found in 14 cases (5.5%). However, no symptomatic cerebral infarction was observed. As a result of examination of the complications, 4 cases (1.6%) had symptomatic complications at 30 days after surgery, of which 1 case (0.4%) died.

We conclude that good surgical result of CEA with routine shunting have been raised by unified surgical procedure and careful hemostasis.

Key words:

・ CEA routine shunting

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 49: 000-000, 2021

はじめに

頸部内頸動脈狭窄症に対する CEA は、複数の大規模臨床試験により evidence が証明された治療法である¹⁾。当施設では適応症例に対し積極的に CEA を施行しており、統一した手術手技を用いている。特に術中の頸動脈遮断に伴

う虚血性合併症を回避するため、原則全例に内シヤントを使用 (routine shunting) している。

しかし、内シヤント挿入により塞栓性合併症や神経障害・末梢側内頸動脈解離の合併が多いという意見もあり⁹⁾⁶⁾¹³⁾、CEA 全例に内シヤントを使用すべきかどうかに関しては現在も議論のあるところである⁴⁾⁶⁾¹⁵⁾。

昭和大学医学部 脳神経外科 (受稿日 2019. 3. 19) (脱稿日 2019. 8. 22) [連絡先: 〒142-8666 東京都品川区旗の台 1-5-8 昭和大学医学部 脳神経外科 鷺見賢司] [Address correspondence: Kenji SUMI, M.D., Department of Neurosurgery, Showa university School of Medicine, 1-5-8 Hatanodai, Shinagawa-ku, Tokyo 142-8666, Japan]

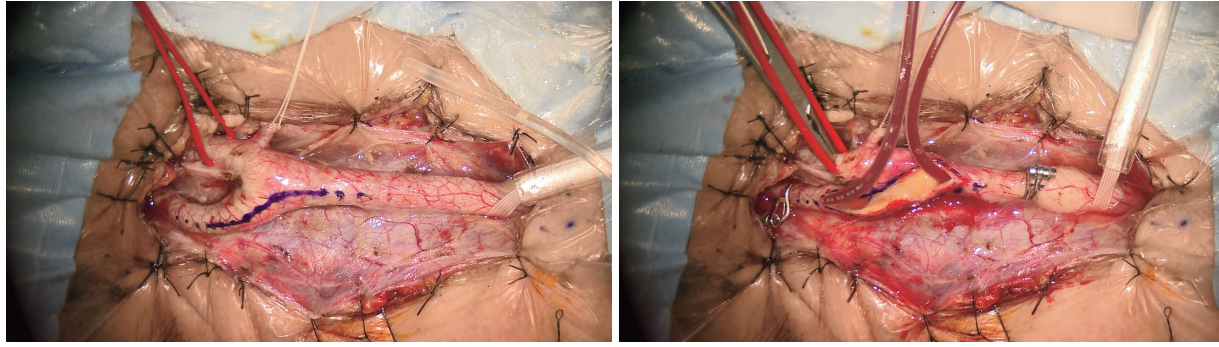


Fig. 1 Intraoperative photograph of right CEA.

A|B

A: We develop a shallow surgical field by lifting the carotid sheath to the skin. Sufficient hemostasis is necessary to create a bloodless surgical field.
B: Both internal and common carotid arteries are fully exposed. The internal shunt can be inserted safely and without blood.

今回、routine shuntingの有効性と安全性に関して、当施設での手術手技と手術成績を中心に retrospective に検証した。

対象および方法

2012年4月から2018年10月までに当施設でCEAを施行した250人/271側を対象とした。治療適応は、脳卒中治療ガイドライン2015に則り、症候性病変は狭窄率50%以上、無症候性病変は狭窄率60%以上の症例とした。以下に示した手術手技、内シャントの使用、術者選定、モニタリング使用とし、画像評価は原則術後48時間以内に行い、神経学的異常所見は術後30日時点で残存しているものを集計した。術後合併症の頻度などについて他の文献を参考に比較検討した。

手術手技

手術は全例全身麻酔下に行う。鈍的操作は極力控え、鋭的操作や丁寧な止血を入念に行い、無血的な術野をつくる。皮下組織や頸動脈鞘は4-0サージロンで表皮に縫いつけ、これにより術野を浅く吊り上げる。内頸動脈末梢側については、術前3DCTAngiographyなどでplaque遠位端の位置を詳細に評価しておき、さらに内シャント挿入のため約1cm遠位まで余裕をもたせて露出する。通常、頸動脈分岐部から約3.5cm以上末梢まで露出させることが多い(**Fig. 1**)。内頸動脈末梢側まで十分に露出した時点で、ヘパリン3000-5000単位を全身投与し、以後ACTを適宜測定して220秒以上に維持する。頸動脈遮断は原則的に外頸動脈、総頸動脈、内頸動脈の順に行い、内シャントを挿入する。内シャント挿入は、内頸動脈側、総頸動脈側の順に行い、ヘパリン生食で十分に内シャントを洗浄、気泡を除去してから内シャントを開通させる。特に内頸動脈側は

2回以上洗浄し、塞栓性合併症の低減に留意する。また、総頸動脈側は頸動脈分岐部から約5cm以上露出させ、総頸動脈側へ内シャントを挿入する際に無血的な操作を行う。内シャント開通後はplaqueを剥離するが、ここで内頸動脈末梢側のplaque遠位端を血管の短軸方向にrollingさせながら鋭的に切離し、plaque断端がめくれ上がらないように注意する。この操作によりtucking sutureは大半の症例で不要である(**Fig. 2**)。血管縫合完了前に頸動脈を再度遮断し、内シャントを抜去する。抜去は挿入時と逆順に行い、ここでも総頸動脈側は無血的な操作を行う。縫合完了後、血管内の気泡やdebrisを外頸動脈側に排出するため、まず外頸動脈と総頸動脈のみ遮断を解除し、その90秒後に内頸動脈の遮断を解除する。閉創時も十分に止血を行い術後血腫形成がないように留意する。

使用内シャント

古井式バイバルーンシャント〔No.330-30(3wayタイプ、外径3.0mm、全長30cm)、クリエートメディック(株)製〕を使用している³⁾。バルーン過拡張による解離性血管障害の合併を予防するため、内シャント挿入前に術者と助手で血管径に合わせたバルーンの拡張をシミュレーションしている。

モニタリング

CEA術中のモニタリングは近赤外線酸素モニターを用いた無侵襲混合血酸素飽和度監視システム(INVOS 5100C Medtronic社製)を使用している。術後過灌流症候群を合併する可能性が高い場合や、術中の頸動脈遮断解除後にINVOS値が遮断前と比較して著明に上昇した場合は術後ICUにおいてもモニタリングを継続している。

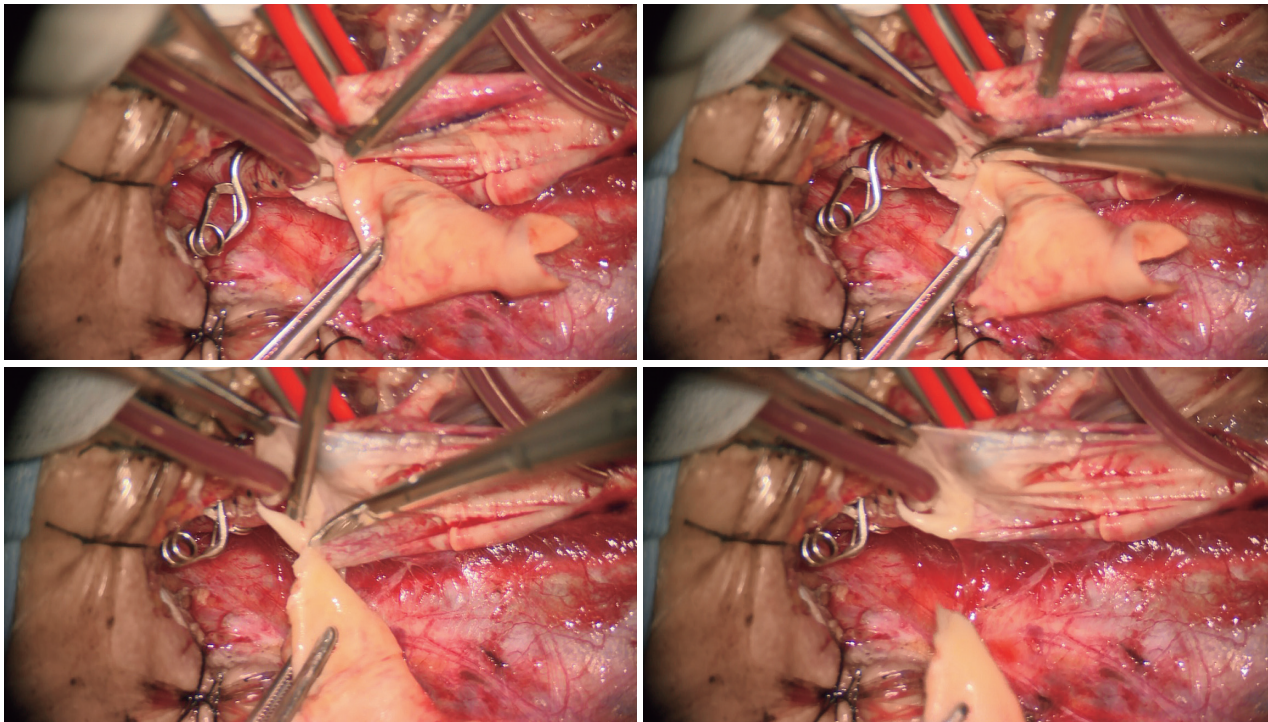


Fig. 2 Intraoperative photographs showing the procedure of plaque detachment.

A | B
C | D

A: Make an incision along the minor axis of the plaque

B-C: Keep the incision sharp with scissors while rotating the plaque

D: The edge of plaque is not turn up, so tucking suture is unnecessary

画像評価

術前の画像評価として頸動脈エコー，頭部MRI・MRA，頸動脈MRA，頸動脈3DCTAngiographyを行い，頸動脈分岐部の解剖学的位置関係の評価，plaque性状や狭窄範囲の評価，特にplaque遠位端の位置を詳細に評価し，頸動脈の露出範囲を決定する．また，アセタゾラミド負荷SPECTを行い術後過還流症候群の合併に関するリスクを評価する．術後は頭部MRI，頸動脈MRA，頸動脈3DCTAngiography，SPECTを行い新規DWI陽性病変の有無や内頸動脈狭窄の解除，内シャント挿入に伴う遠位側内頸動脈解離の有無，過灌流症候群の合併有無などを評価する．

術後合併症

DWI陽性病変出現の有無は術後48時間以内に施行した頭部MRIによって評価し，四肢の麻痺や感覚障害・嘔声・嚥下障害などの神経学的異常所見に関しては術後30日時点で残存しているものを集計した．過灌流症候群の合併については術翌日以降の症状(頭痛，不穏，けいれんなど)の有無の他，術後SPECTによる血流評価を参考にした．

結果

1. 患者

2012年4月から2018年10月までに当施設でCEAを受けたのは250人/271側である．うち21人に両側CEAを施行した．男性223側，女性48側，平均年齢は70.5歳，無症候性187側，症候性84側，右側136側，左側135側であった(**Table 1**)．

2. 内シャント使用に関する遮断時間など：

本症例群において，内シャント挿入時の頸動脈遮断時間は平均314.9(±100.9)秒で，内シャント抜去時の頸動脈遮断時間は平均470.9(±105.7)秒であった．また，内シャント使用時間は平均2396(±748.3)秒であった．

3. 術後DWI陽性病変

術後MRIを施行できたのは，271例中270例であった．DWI陽性病変は，14例(5.2%)に認められた．症候性頸動脈狭窄に対するCEAでは4例(4.8%)，無症候性頸動脈狭窄に対するCEAでは10例(5.3%)に認められた．これらはいずれも点状の小病変であり，実際に術後新たな神経学的異常所見を合併したものは1例のみで，術後30日時点

Table 1 Characteristics and variables of patients (n = 271)

Variables	
Age (years), mean ± SD	70.5 ± 7.9
Male No. (%)	223 (82)
Female No. (%)	48 (18)
Right sided	136 (50)
Left sided	135 (50)
Symptomatic lesion	84 (31)
Asymptomatic lesion	187 (69)

No.: number, SD: standard deviation

では症状も消失していた (**Table 2**).

4. 術後脳梗塞

上記の通り術後 DWI 陽性病変が出現し、新たな神経学的異常所見を合併した術後脳梗塞症例は1例(0.4%)であった。軽微な脱力所見であり退院時には症状が消失していた。術後30日時点でも症状がないことを確認している (**Table 2**).

5. 神経障害

術後30日時点で残存している神経症状として、嚔声を3例(1.1%)、嚔下障害を1例(0.4%)に認めた。嚔声を合併した3例はその後長期経過観察の結果いずれも症状消失しているが、嚔下障害合併症例に関してはその後入院中に誤嚥性肺炎、ARDSを合併し死亡となった (**Table 2**).

6. 急性期再手術

手術に伴う血腫合併による気道狭窄、血管縫合不全による大出血などで術後急性期に再手術を必要とした症例はなかった (**Table 2**).

7. 内シャント挿入による血管損傷

内シャントに付属したバイバルーンの拡張により遠位側内頸動脈損傷(解離)を合併した症例はなかった。

8. 内頸動脈側シャント迷入によるトラブル

内頸動脈側に内シャントを挿入する際、血管内腔ではなくプラークと血管壁の間に内シャントが迷入した症例を1例に認めた。術者が速やかに気づいたため、内シャントを正しい位置に挿入し直したうえで、過度にめくれ上がったプラークを固定するように数カ所の tucking suture が必要となった。幸い血管解離や塞栓性合併症などの合併は認められなかった。

Table 2 Outcome of surgery

Event	No. (%)
Ipsilateral New DWI lesions	14 (5)
Ipsilateral neurologic event	1 (0.4)
Cardiac event (MI, arrhythmia)	1 (0.4)
Hoarseness	3 (1.1)
Dysphagia	1 (0.4)
Return to OR for hematoma, bleeding	0 (0)
Complications on POD30	3 (1.1)
Perioperative death	1 (0.4)

No.: number, MI: Myocardial Infarction, OR: operating room, POD: post operative day

9. 術後30日時点での合併症率・死亡率

上記すべての合併症を精査し、術後30日時点で症状が残存している症例は4例(1.5%)であり、そのうち1例(0.4%)が死亡した (**Table 2**).

考 察

1. 内シャント挿入に伴うリスク

過去の文献では内シャント挿入による air embolism の危険性が指摘されているが⁶⁾、今回、術後MRIにてDWI陽性病変が指摘された14例(5.2%)のうち、手術ビデオにて内シャント経由の air embolism が強く疑われた症例は2例(0.7%)であった。その他の12例ではDWI陽性病変合併の明らかな原因は不明であったが、血管露出操作時など、内シャント経由以外の原因も考えられた。神経学的異常所見を伴ったものは1例(0.4%)のみであり、術後30日時点で症状残存はなく、いわゆる minor stroke のみであった。術後DWI陽性病変の出現率について言及された文献は少ないが、術後に症候性の脳梗塞(minor or major stroke)を合併した頻度は文献により0-8.9%となっている²⁾⁴⁾⁻⁸⁾¹⁰⁾¹²⁾⁻¹⁵⁾。それら、特に selective shunt method の報告と比較しても十分に良好な成績であると考えられる。

2. 神経障害に関して

内シャント非使用例と比較して内シャント挿入症例では余分な術野展開が必要となり、結果的に術後神経障害を合併しやすい傾向にあると過去の文献で言及されているが⁶⁾、当施設の症例では術後30日時点で神経障害が残存していたのは4例(1.5%)のみであった。他の文献、特に selective shunting method の報告では0.41-5.7%の症例に神経障害を合併しており⁴⁾⁶⁾⁷⁾¹⁵⁾、これらと比較しても遜色ない結果となっている。

3. 内シャント挿入による血管解離について

内シャント挿入・固定に際しシャントチューブに付属したバルーンを拡張させるが、この操作により血管、特に遠位側内頸動脈の解離を合併することが報告されている⁹⁾⁶⁾¹³⁾。当施設の症例では、このような合併症はなかった。その理由として、内シャント挿入前に血管外からシャントチューブをあてがい、実際にバルーンを拡張させて術者と助手で必ず simulation していることが挙げられる。これにより、過不足のないバルーンの拡張が得られるのではないかと考えられる。ただし、1例に内頸動脈側の内シャント迷入を認めた。原因としてプラーク遠位端に対して血管露出範囲が十分でなかったこと、また内シャント挿入がやや盲目的に行われていたことが考えられた。この症例以降は術前に予想されたプラーク遠位端よりさらに1 cm 以上遠位まで余裕をもった血管露出を行い、また内シャント先端を必ず視認しながら挿入するように留意し、同様のトラブルを予防している。

4. 血腫形成による術後急性期再手術について

上記と同様、内シャント挿入に伴う余分な術野展開により、術後著明な血腫形成・急性期再手術のリスクが報告されているが⁴⁾⁷⁾¹⁴⁾、こちらも当施設の症例では認められなかった。われわれはCEAに際し抗血小板薬2剤まで内服中止せずに施行しているが、入念な止血を常に実践しており、これが寄与しているものと考えられた。

5. 術者および術者教育

当施設では、脳神経外科認定専門医取得前後の比較的若い医師でも段階的に術者となれるように術者教育を行っている。まず、頸動脈露出範囲に関する画像的検討や手術手順、術中のポイントに関して術前カンファレンスで発表できるようになってから第2助手を担当し、数件経験後に第1助手を担当する。第1助手では術者の補助の他、特に内シャント挿入・抜去にかかわる操作補助を教育される。それらがいずれも問題なく行えた段階で術者を担当し、頸動脈露出までを行う。その後、上級医を第1助手にしてすべての操作を術者として行えるようになれば、最終的には下級医を第1助手としすべての操作を主体的に術者として施行する。このように解剖学的知識や手術手技を段階的に教育されることにより、安定した手術成績を維持できていると考えられる。

6. 内シャント挿入によるメリット

内シャント挿入は複雑な手順が追加されるが、その最大のメリットとして手術に際し頸動脈遮断時間に左右されることが挙げられる。当施設では若手の術者が定められた

ステップを経ながらCEAの術者を早期から経験しているが、その際頸動脈遮断時間を気にせず手術を施行できることにより安定した手術成績が達成できていると考えられる。また、経験が多い術者においてもCEA術中に予想外のトラブルが生じることはあり、遮断時間に左右されないということはより効果的なトラブルシューティングに寄与できているものと考えられる。さらに、内シャント挿入により脳虚血時間を最小化し、頸動脈遮断前後の再灌流障害や過灌流症候群の発生日本リスクを低減させるメリットも期待されている⁵⁾。実際に本研究の症例においても症候性の過灌流症候群発生は認められていない。これら内シャント挿入によるメリットを効果的に享受し、デメリットを克服するうえで routine shunting による内シャント着脱手技の向上や安定化は重要と考えられる。

結 論

当施設はCEAに際し routine shunting の方針としているが、統一した手術手技および確実な止血を常に実践することにより、十分に安定した手術成績を挙げられているものとする。また、比較的経験の浅い若手の術者でも同様の手術成績を残すことができている。

文 献

- 1) Barnett HJ, Taylor DW, Eliasziw M, *et al*: Benefit of carotid endarterectomy in patients with symptomatic moderate or severe stenosis. North American Symptomatic Carotid Endarterectomy Trial Collaborators. *N Engl J Med* 339: 1415-1425, 1998
- 2) Cho JW, Jeon YH, Bae CH: Selective Carotid shunting based on intraoperative transcranial doppler imaging during carotid endarterectomy: a retrospective single-center review. *Korean J Thorac Cardiovasc Surg* 49: 22-28, 2016
- 3) Furui T, Hasuo M: Indwelling double-balloon shunt for carotid endarterectomy. Technical note. *J Neurosurg* 60: 861-863, 1984
- 4) Gumerlock MK, Neuwelt EA: Carotid endarterectomy: to shunt or not to shunt. *Stroke* 19: 1485-1490, 1988
- 5) Inoue T, Tsutsumi K, Ohwaki K, *et al*: Stratification of intraoperative ischemic impact by somatosensory evoked potential monitoring, diffusion-weighted imaging and magnetic resonance angiography in carotid endarterectomy with routine shunt use. *Acta Neurochir* 155: 2085-2096, 2013
- 6) Jamil M, Usman R, Ghaffar S: Advantages of selective use of intraluminal shunt in carotid endarterectomy: A study of 122 cases. *Ann Vasc Dis* 9: 285-288, 2016
- 7) Kapoor R, Evins AI, Marcus J, *et al*: Selective patch angioplasty and intraoperative shunting in carotid endarterectomy: A single-center review of 141 procedures. *Cureus* 7: e367, 2015
- 8) Kret MR, Young B, Moneta GL, *et al*: Results of routine shunting and patch closure during carotid endarterectomy. *Am J Surg* 203: 613-617, 2012
- 9) Loftus CM, Dyste GN, Reinartz SJ, *et al*: Distal cervical carotid

- dissection after carotid endarterectomy: a complication of indwelling shunt? *Neurosurgery* 19: 441-445, 1986
- 10) Ott DA, Cooley DA, Chapa L, *et al*: Carotid endarterectomy without temporary intraluminal shunt study of 309 consecutive operations. *Ann Surg* 191: 708-714, 1980
 - 11) Pennekamp CW, Immink RV, den Ruijter HM, *et al*: Near-infrared spectroscopy to indicate selective shunt use during carotid endarterectomy. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 46: 397-403, 2013
 - 12) Pennekamp CW, van Laar PJ, Hendrikse J, *et al*: Incompleteness of the circle of willis is related to EEG-based shunting during carotid endarterectomy. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 46: 631-637, 2013
 - 13) Tamaki T, Yoji N, Saito N: Distal cervical carotid artery dissection after carotid endarterectomy: a complication of indwelling shunt. *Int J Vasc Med*, 2010, doi:10.1155/2010/816937.
 - 14) Tan TW, Garcia-Toca M, Marcaccio EJ Jr, *et al*: Predictors of shunt during carotid endarterectomy with routine electroencephalography monitoring. *J Vasc Surg* 49: 1374-1378, 2009
 - 15) Woodworth GF, McGirt MJ, Than KD, *et al*: Selective versus routine intraoperative shunting during carotid endarterectomy: a multivariate outcome analysis. *Neurosurgery* 61: 1170-1176, 2007