CT 血管造影を用いた high flow bypass における graft route の検討

反町 隆俊, 長田 貴洋, 重松 秀明, 西山 淳
井上 剛, 百瀬 浩晃, 滝沢 賢, 青木 吏絵
Kittipong Srivatanakul, 松前 光紀

Evaluation of Graft Routes of High Flow Bypass Using Source Images of the CT Angiography

Takatoshi SORIMACHI, M.D., Ph.D., Takahiro OSADA, M.D., Ph.D., Hideaki SHIGEMATSU, M.D., Jun NISHIYAMA, M.D., Go INOUE, M.D., Hiroaki MOMOSE, M.D., Ken TAKIZAWA, M.D., Rie AOKI, M.D., Kittipong SRIVATANAKUL, M.D., and Mitsunori MATSUMAE, M.D., Ph.D.

Department of Neurosurgery, Tokai University, Isehara, Kanagawa, Japan

Summary: Because the passage of a graft for a high flow bypass between an anastomosis site of the cervical external carotid artery to the temporal base is made in a blind manner, knowledge of anatomy is essential for a surgeon to perform the high-flow bypass. A radial artery graft provides better long-term patency but shorter available length in comparison to a saphenous vein graft. The radial artery graft, therefore, demands a shorter graft route. The purposes of this study were to confirm a relationship among a graft, surrounding muscles, vessels, and bones on a source image of a computed tomography angiogram (CTASI), and to investigate the shortest graft route. Fourteen patients undergoing high flow bypass for internal carotid artery aneurysms between 2008 and 2015, with a graft demonstrated on a CTASI, were evaluated. The following four types of graft routes including routes 1–3, which were submandibular routes, were classified on CTASIs. Route 1: A graft passes through the medial space to both the posterior belly of the digastric muscle and the stylohyoid muscle. Route 2: A graft goes up to the lateral space to the digastric muscle and turns to the medial space to the stylohyoid muscle. Route 3: A graft goes up to the lateral space to both the digastric muscle and the stylohyoid muscle. Route 4: A subcutaneous route lateral to the mandible. Measurement of the graft length on CTASIs revealed that the route 3 was the shortest among the four routes. The graft in route 3, however, was so close to the external carotid artery between the styloid process and the mandible on a CTASI that a passage tube for the graft could have disturbed the blood flow in the superficial temporal artery, which was used as an assist bypass. In consideration of the limitation of an available graft length, a submandibular route lateral to both the digastric and stylohyoid muscles was the most suitable for high flow bypass using a radial artery graft. Pre-operative observation of the graft routes on CTASIs seems to be useful to prepare for the procedure.

Key words:

- cerebral infarction
- complications
- giant cerebral aneurysm

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 44: 94–101, 2016

はじめに

内頸動脈の大型・巨大動脈瘤や blistering aneurysm に対する内頸動脈閉塞時の虚血対策に、high flow bypass が用いられる²⁾⁴⁾⁻⁶⁾。graft route は、外頸動脈から頭蓋内入口部間で作成した tunnel を通るが、route 作成は blind 操作になるため解剖学的知識が必須である。また、橈骨動脈 graft は大伏在静脈に比べ長期開存率がよいが、長さに制限があり、graft route は短いほうが有利である¹⁾。graft route は submandibular route と subcutaneous route があり、submandibular route は posterior belly of digastric muscle (以下、digastric muscle) の内側か外側か、stylohyoid muscle の内側か外側かの選択があるが、route により graft の屈曲や長さが異なる可能性がある。

本研究の目的は、high flow bypass 術後症例の CT 血管造影元画像から、graft と周囲組織との関係を確認すること、graft route の中で最短で屈曲の少ない route を明らかにすることである。

方法と結果

1. 対象

2008 年 1 月から 2015 年 3 月までに high flow bypass を

行い、術後の CT 血管造影の元画像で吻合部間のバイパス走行を確認し得た症例を対象とした。本研究は東海大学医学部倫理委員会の承認を受けた。

2. 手術方法

頭部は frontotemporal craniotomy を行い、側頭骨頭蓋底骨を十分に削除した。頸部は総頸動脈と内頸動脈、外頸動脈の分岐部を露出した。24 Fr chest tube を用いて submandibular tunnel を作成した。浅側頭動脈を M2 吻合のための一時閉塞の assist bypass として遠位 M3-M4 に吻合した。その後、橈骨動脈を chest tube tunnel 内を通し、遠位端を M2 に吻合した。chest tube を除き外頸動脈起始部と橈骨動脈の近位端を吻合し、内頸動脈を閉塞した²⁾⁴⁾⁻⁶⁾。graft route は原則として submandibular route とし、細部は症例ごとに術者の判断で選択した。初期の症例では subcutaneous route で bypass を行った。

3. CT 血管造影

CT は、2011 年までは 40 列 CT (Brilliance; Philips, Best, The Netherlands)、2012 年からは 128 列 CT (Definition AS; Siemens, Erlangen, Germany) を用いた。CT 血管造影は 3 mm 厚の axial multiplanar reformat images と volume

Fig. 1 A schema of the method to measure the graft length and the external carotid artery anastomosis site to the temporal base (EC-TB) distance on a source image of a computed tomography angiogram.
A|B **A:** Two consecutive slices with a 3-mm interval are adjusted each other. A distance between the distal sides of the graft on the two slices is measured (X mm).
B: The graft length between the slices is calculated by the following equation: $Y = \sqrt{X^2 + 9}$ (mm). The total graft length is obtained by the sum of the Ys. The EC-TB distance is also calculated using the same method.

Fig. 2 Left side "route 1".

A
B
C

A: A schema of route 1.

B: A trace of a graft on a volume-rendered image (white line).

C: A trace of a graft (white arrow) on a source image of a computed tomography angiogram. The graft leaves the external carotid artery (ECA) and goes up in the medial space to both the digastric muscle and the stylohyoid muscle. Then, it passes through the medial pterygoid muscle and on the dorso-caudal side of the lateral pterygoid muscle. It goes up between the temporal muscle and the temporal bone, and then enters to the intracranial space.

rendering image を保存した。すべての画像は digital imaging and communications in medicine (DICOM) 画像で取り出し、OsiriX v.3.6.1 (Osirix foundation, Geneva, Switzerland) を用いて検討した。

4. graft 走行の検討

CT 血管造影の元画像で、graft と筋肉や外頰動脈分枝との関係を調べた。

また、CT 血管造影の元画像で、graft 起始部(外頰動脈吻合部)から側頭骨頭蓋底部までと、graft 起始部から M2 との吻合部までの 2 つの graft 長を計測した(**Fig. 1**)。graft 長は内頰・外頰動脈分岐部の高さ、体格(頰・顔・頭の大きさ)、M2 吻合血管の位置の影響を受ける。そこで、

症例間で graft route による graft 長を比較するため、graft 起始部(外頰動脈吻合部)から側頭骨頭蓋底の graft 通過部までの graft 長をこの間の最短距離で除した比率を external carotid artery (ECA)-temporal base (EC-TB) ratio として計測した。頭蓋内部分の graft 長は route の影響は少ないため、比較に含めなかった。各 route 間の EC-TB ratio の比較は Student's t-test で統計学的検討を行った。

結 果

期間中に high flow bypass を行い、術後に CT 血管造影の元画像で graft 走行を検討できた患者は 14 例であった。男性 7 例、女性 7 例、平均年齢 57.6 歳、疾患と手術

Fig. 3 Left side "route 2".

A: A schema of route 2.

B: A trace of a graft on a volume-rendered image (white line).

C: A trace of a graft (white arrow) on a source image of a computed tomography angiogram. A graft goes up in the lateral space to the digastric muscle, then turns into the medial space to the stylohyoid muscle. Then, it runs similar to route 1.

はくも膜下出血発症の blistering aneurysm に対する内頸動脈 trapping が 6 例、くも膜下出血発症の大型内頸動脈瘤に対する内頸動脈一時閉塞が 2 例、海綿静脈洞部の症候性大型・巨大内頸動脈瘤の内頸動脈閉塞が 6 例であった。graft は 13 例で橈骨動脈、1 例で大伏在静脈を用いた。

1. graft 走行の解剖学的検討

graft 走行は digastric muscle と stylohyoid muscle, mandible との関係から 4 つに分類した。route 1 は、外頸動脈吻合部から digastric muscle と stylohyoid muscle の内側を通る route で 6 例あった (**Fig. 2**)。volume rendering 画像では graft のおもな屈曲部位は、digastric muscle の内側に向かう部位、stylohyoid muscle の内側を通り抜けた部位、側頭骨頭蓋底を経て頭蓋内に向かう部位の 3 カ所であった。route 2 は digastric muscle の外側を通り、stylohyoid muscle の内側を通る route で 1 例であった (**Fig. 3**)。volume rendering 画像での屈曲は route 1 と似ていたが、

1 番目の屈曲で digastric muscle の外側を通り、その後で stylohyoid muscle の内側に向かうため屈曲が大きかった。route 3 は digastric muscle の外側を通り stylohyoid muscle の外側を通る route で 4 例あった (**Fig. 4**)。この route には、digastric muscle の内側を通る 1 例も含んだ。volume rendering 画像では stylohyoid muscle の外側に出る部位の屈曲はあるが、頭蓋内に入る屈曲までは直線的であった。route 1-3 は mandible の内側を通るが、route 4 は digastric muscle の外側から mandible の外側を通り、zygomatic arch の内側に入る route で 3 例あった (**Fig. 5**)。

2. graft 走行の定量的検討

14 例の graft の全長は 143.4 mm から 213.3 mm であった。graft 長の相対的指標として外頸動脈吻合部と側頭骨頭蓋底通過部までの graft の長さを最短距離で割った率 (EC-TB ratio) を計測した。EC-TB ratio の平均は、route 1 では 1.199, route 2 では 1.239, route 3 では 1.098, route

Fig. 4 Right side "route 3".

A
B
C

A: A schema of route 3.

B: A trace of a graft on a volume-rendered image (white line).

C: A trace of a graft (white arrow) on a source image of a computed tomography angiogram. After the graft leaves the external carotid artery, it goes up in the lateral space to the digastric muscle and turns into the medial space to the medial pterygoid muscle. It passes through the lateral pterygoid muscle and into the medial space to the temporal muscle. The graft is close to the external carotid artery (ECA) in a narrow space surrounded by the stylohyoid muscle, styloid process, medial pterygoid muscle, and mandible (black dot circle).

4では1.259であった。route 3のEC-TB ratioはroute 1, route 2, route 3に比べて有意に小さかった($p=0.0084$, $p=0.0242$, $p=0.0013$)。他のroute間では症例数が少ないこともあり、有意差はなかった。

3. 各 route の問題

2例でroute 3にtunnel tubeを通したところ、assist bypass用の浅側頭動脈の拍動が消失した。そこで、route 1に変更したところ、浅側頭動脈の拍動が回復した。route 3では、mandibleの内側でstylohyoid muscleとstyloid processの外側を通過する際に外頸動脈本幹の近傍を通る

(**Fig. 4C**)。この部位で、tubeが外頸動脈を圧迫したものと考えられた。また、1例はstyloid processが長く、route 1ではgraft走行が長くなりstyloid processでgraftを絞扼する可能性があった。そこでstyloid processを骨折させることでstylohyoid muscleが外側に移動し、graftが内側に圧迫されることを回避した(**Fig. 6**)。

考 察

1. submandibular route の利点・欠点

high flow bypassのgraft routeには、大きく分けてsubmandibular routeとsubcutaneous routeがある。

Fig. 5 Right side “route 4”.
A: A schema of route 4.
B: A trace of a graft on a volume-rendered image (white line).
C: A trace of a graft (white arrow) on a source image of a computed tomography angiogram. A graft leaves the external carotid artery and goes up on the lateral side of the mandible.

submandibular route は走行距離が短く、外観も優れ、外傷による損傷が少なく、頸や下顎の動きに影響されないという利点がある。graft としては橈骨動脈と大伏在静脈が代表的であるが、動脈は静脈に比べ長期開存がよい¹⁾。しかし、橈骨動脈 graft では採取可能な graft 長が短いため、走行距離の短い submandibular route が有利である。submandibular route の作成は blind 操作になるため、route の解剖を熟知することが重要である。

2. CT 血管造影を用いた定量的 graft 評価

今回は、症例間の route 走行距離を比較するため、EC-TB ratio を用いた。この比較から route 3 が最も短く、続いて route 1, route 2, route 4 の順であった。route 1-3 の submandibular route は、volume rendering 画像で筋肉による屈曲が少ない順に route 長も短かった。橈骨動脈 graft を用いる場合は長さに関りがあるため、route 3 が最も適していると思われた。また、走行距離と屈曲が少ない

ことで、route 内での graft のねじれが少なく、graft の血流障害が起きにくい可能性も推測された。

3. 術前・術中の注意点

styloid process の長さなど、route 走行部位を術前の CT 血管造影元画像で確認しておくことは、安全な手技に有用と思われる。graft 走行部位は parapharyngeal space に近くまれに耳鼻科的疾患が出現し得る場所であり³⁾、腫瘍や血管奇形がないことを確認したほうがよい。

橈骨動脈 graft が通る chest tube を最短の route 3 に通すには、まず頸部側で digastric muscle 外側(頸動脈分岐が高位のときは内側)を鈍的に剝離し、示指を medial pterigoid muscle 内側に沿い styloid process が触れるまで頭側に入れておく。この鈍的剝離により外頸動脈分枝の損傷を回避する。次に、頭側で temporal muscle 内側、zygomatic arch のなるべく後頭部側から、弱弯ケリー鉗子の先端を後頭部側に向けたまま示指に向けて鉗子を進め

A | B

Fig. 6 A computed tomography angiogram of a long styloid process (white arrow).

A: A pre-operative image.

B: A post-operative image. The styloid process is fractured during surgery, therefore, discontinuity of the process is shown (black circle).

る。示指に触れた所で鉗子先端が外側を向くように1/4回転させながら示指に沿い頸部側に鉗子先端を出す。この鉗子先端でchest tube先端を挟み鉗子を頭側に引き抜くことでgraftを通すtunnelが作成できる。また、route 1・2を通す場合は、鉗子先端を内側に向けて進め、styloid processの内側で示指に触れる。その後、鉗子先端が外側を向くように1/2回転しながら頸部側に出す。

本シリーズの中で、route 3のroute tubeが外頸動脈を圧迫し、浅側頭動脈の拍動が消失した症例があった。CT

血管造影の元画像の検討で、mandible, styloid process, stylohyoid muscle と medial pterygoid muscle の間の比較的狭い部位を外頸動脈が通過していることが確認できた。対策は他routeへの変更、あるいは先にgraftとM2との吻合を行いassist bypassが不要になってからroute tubeを通すことで解決できる。

4. limitations

CT 血管造影の元画像は、3 mm スライスで保存してい

る。この間での走行は直線状であると仮定して graft 計測しているため、実際よりも本研究で計測した graft 長が短い可能性がある。また、症例が少ないため、route 1, route 2, route 4 間で統計学的有意差が出なかった。今後、症例を重ねて検討することが必要と思われる。

ま と め

high flow bypass の route は stylohyoid muscle の外側を通ると最短距離で屈曲も少なかった。術前に予定 route を CT 血管造影の元画像で確認することは有用と思われた。

本論文の要旨は第 44 回日本脳卒中の外科学会総会(2015 年 3 月)で発表した。

著者全員は日本脳神経外科学会の COI 自己申告を完了

しており、本論文に関して開示すべき COI はない。

文 献

- 1) Baaj AA, Agazzi S, van Loveren H: Graft selection in cerebral revascularization. *Neurosurg Focus* 26: E18-21, 2009
- 2) 宝金清博：脳血行再建術。中外医学社，東京，2000，pp104-116
- 3) 上山博康：橈骨動脈を用いたバイパス手術。No Shinkei Geka 22: 911-924, 1994
- 4) Riffat F, Dwivedi RC, Palme C, *et al*: A systematic review of 1143 parapharyngeal space tumors reported over 20 years. *Oral Oncol* 50: 421-430, 2014
- 5) 谷川緑野：大型脳動脈瘤に対する high flow bypass を用いた治療法(1)。脳外科速報 20: 807-813, 2010
- 6) 谷川緑野：大型脳動脈瘤に対する high flow bypass を用いた治療法(2)。脳外科速報 20: 933-942, 2010