特集 治療困難な動脈瘤の手術

原 著

クリッピング困難な内頸動脈瘤に対するバイパス併用手術

杉山 拓¹, 中山 若樹², 数又 研², 新保 大輔¹, 月花 正幸²
内田 和希¹, 穂刈 正昭¹, 浅岡 克行¹, 板本 孝治¹, 寶金 清博²

The Role of Bypass Procedure in the Surgical Treatment of Complex Internal Carotid Artery Aneurysms

Taku SUGIYAMA, M.D.¹, Naoki NAKAYAMA, M.D.², Ken KAZUMATA, M.D.², Daisuke SHIMBO, M.D.¹, Masayuki GEKKA, M.D.², Kazuki UCHIDA, M.D.¹, Masaaki HOKARI, M.D.¹, Katsuyuki ASAOA, M.D.¹, Kouji ITAMOTO, M.D.¹, and Kiyohiro HOUKIN, M.D.²

¹Department of Neurosurgery, Teine Keijinkai Hospital, and ²Department of Neurosurgery, Hokkaido University Graduate School of Medicine, Sapporo, Hokkaido, Japan

Summary: The treatment of complex internal carotid artery (ICA) aneurysms is still a controversial issue. This study aimed to evaluate the safety and efficacy of a surgical strategy using the bypass procedure in such patients. We retrospectively reviewed the clinical and radiological records of 50 consecutive patients with 52 complex ICA aneurysms who underwent bypass surgery. In this study, we divided the ICA into 3 segments based on the origin of the ophthalmic artery (OphA) and posterior communicating artery (PCoA). All patients with an aneurysm located in the portion proximal to the OphA (segment 1) were treated with bypass and proximal ICA occlusion, and only 1 patient (5.2%) experienced an ischemic complication. Among patients with an aneurysm located between the OphA and PCoA (segment 2), 14 were treated with bypass and trapping, and 10 were treated with clipping under bypass. Among these, 3 (12.5%) had an ischemic complication and 1 (4.2%) had a hemorrhagic complication. Among patients with an aneurysm located distal to the PCoA (segment 3), clipping under temporary bypass was performed in 2, clipping with bypass and proximal occlusion in 4, trapping in 2, and bypass and proximal occlusion in 1. However, 4 of 9 (44.4%) patients had an ischemic complication. Finally, 41 of 50 (82.0%) patients showed a favorable outcome (modified Rankin scale 0-2) in this series. In conclusion, the results of our surgical strategy using a bypass procedure were acceptable; however, ischemic complications were a persistent problem in aneurysms located distal to the PCoA.

Key words:

- complex aneurysm
- complication
- extracranial-intracranial bypass
- high-flow bypass
- internal carotid artery

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 44: 183-188, 2016

はじめに

大型/巨大脳動脈瘤、解離/血豆状脳動脈瘤、治療後再発の動脈瘤などは、時に通常の脳動脈瘤頸部クリッピングや瘤内コイル塞栓術では治療が困難である⁴⁾⁷⁾。これらに対

し、バイパス併用手術の重要性が指摘されている³⁾⁷⁾。しかしながら、バイパスの目的は、内頸動脈(internal carotid artery: ICA)血流の完全な血行再建、動脈瘤への血流量の減少を意図した血行再建、母血管遮断に対する一時脳虚血保護など多岐にわたり、やや混沌としている印象があ

¹手稲溪仁会病院 脳神経外科, ²北海道大学大学院 医学研究科 脳神経外科(受稿日 2015. 8. 8)(脱稿日 2016. 2. 10)[連絡先: 〒006-8555 北海道札幌市手稲区前田1条12丁目1-40 手稲溪仁会病院 脳神経外科 杉山 拓][Address correspondence: Taku SUGIYAMA, M.D., Ph.D., Department of Neurosurgery, Teine Keijinkai Hospital, Maeda 1-12, Teine-ku, Sapporo, Hokkaido 006-8555, Japan]

る。また、flow diverter と総称されるステント治療が新たに脚光を浴びつつある現在⁹⁾¹¹⁾¹³⁾、こういった症例に対してバイパス手術が有効であるかを検討する必要性がある。

ICA は、前大脳動脈(anterior cerebral artery : ACA)と中大脳動脈(middle cerebral artery : MCA)の血流を担い、さらには、後交通動脈(posterior communicating artery : PComA)やその穿通枝、前脈絡叢動脈(anterior choroidal artery : AChA)、眼動脈(ophthalmic artery : OphA)などの重要血管が分枝するという特徴を有する。何らかの母血管閉塞を伴うバイパス併用手術においては、脳動脈瘤の大きさや形状以上に、これら重要血管との位置関係が手術成功に影響すると考えられる⁶⁾¹⁰⁾。

本研究では、血管分枝に応じて内頸動脈を3つに分類し、それぞれにおける手術戦略を整理した。また、治療成

績、合併症を検討することで、手術の問題点を考察したので報告する。

対象と方法

1. 血管分岐位置による内頸動脈瘤の分類

動脈瘤を血管分岐の観点から、以下のごとく分類した(Fig. 1)。

- ① Segment 1 : ICA 起始部から OphA 分岐部
- ② Segment 2 : OphA 分岐部から PComA 分岐部
- ③ Segment 3 : PComA 分岐部から終末部

なお、ICA-OphA 分岐部動脈瘤は Segment 2, ICA-PComA 分岐部動脈瘤および ICA 先端部動脈瘤は Segment 3 に含めた。

2. 手術戦略

ICA 領域、すなわち ACA および MCA 領域の両者の再建は、high flow bypass(HFB)を原則とし、われわれは、閉塞試験を通常は実施していない。HFB の手技の詳細は、他の文献を参照されたい¹⁾²⁾⁵⁾。

以下に、バイパス血流の流出経路の視点から、各 segment ごとの手術コンセプトを提示する。

① Segment 1

バイパスおよび近位部(頸部)内頸動脈の結紮を実施する。すなわち、バイパスの血流、あるいは PComA や AComA を介した血流は、ICA を逆行性に流れ、OphA に流出する形となる(Fig. 2)。

② Segment 2

バイパス下の trapping を基本とする。原則的には、OphA の遠位と、PComA の近位で trapping する(Fig. 3)。すなわち、ICA の順行性血流は OphA に流出する形となり、バイパスの血流は、PComA に流出される形とな

Fig. 1 The internal carotid artery (ICA) is divided into 3 segments based on the origin of the ophthalmic artery (OphA) and posterior communicating artery (PComA).

A|B|C Fig. 2 Representative case of large aneurysm in segment 1 (A, B). The drawing shows the surgical strategy using bypass and proximal ICA occlusion (C).

A|B|C Fig. 3 Representative case of large aneurysm in segment 2 (A, B). The drawing shows the surgical strategy using bypass and trapping (C).

A|B|C Fig. 4 Representative case of large aneurysm in segment 2 (A, B). The drawing shows the surgical strategy using bypass and trapping (C).

る。また、結果的に clipping が可能であるが、剥離に時間を要すると考えられる症例などでは、腕挙げ法などの temporary use のバイパスのもと、全遮断や suction decompression 法などを用いてこれを行う (Fig. 4)。

③ Segment 3

AChoA などの穿通枝の温存が焦点になる。バイパスおよび近位部内頸動脈閉塞を実施することにより、動脈瘤への血流を逆向性に変化させるとともに血流量を減じ、そのうえで clipping に挑戦する手法が一法である (Fig. 5D)。また、trapping を行う場合でも、clip blade を ICA に対して斜めに挿入することにより、PCoMA の温存を試みるのが一法である (Fig. 5E)。

対象と治療成績

2002 年 4 月から 2014 年 4 月までにわれわれの施設で、バイパス併用手術を実施した 50 症例 52 内頸動脈瘤を対象

とし、後方視的に治療成績と手術合併症を調査した。年齢は 55.3 ± 15.4 歳、男性 10 人、女性 40 人であった。動脈瘤の性質としては、大型/巨大/血栓化が 35 例、解離/血豆状が 15 例、治療後再発が 2 例であった。部位別には、Segment 1 が 19 例、Segment 2 が 24 例、Segment 3 が 9 例であった。破裂症例は 22 例(そのうち、World Federation of Neurological Surgeons[WFNS] grade 1-3 の軽症例は 9 例、4-5 の重症例は 13 例)、未破裂が 30 例(そのうち、10 例が症候性)であった。

治療成績には、modified Rankin Scale(mRS)を用い、mRS 0-2 を転帰良好とした。術後合併症は、明らかな神経症状の変化を伴う症例でかつ画像上術後に新たに確認された虚血性合併症、虚血性眼症を含めた。さらに、再出血 event、その他の神経症状の悪化を伴う合併症を調べた。破裂症例においては、脳血管攣縮による虚血性合併症と区別するため、虚血性合併症の画像評価は、発症後 1-3 日目

Fig. 5 Representative case of ruptured blister-like aneurysm (white arrow) in segment 3 (**A–C**). The drawing shows the surgical strategy of clipping using bypass and proximal ICA occlusion (**D**). Alternative strategy using bypass and trapping (**E**).

までのものを用いた。全例が発症2日以内に手術されていた。

手術合併症に関係する因子

手術合併症に関係する因子は、ロジスティック回帰分析にて検討した。多変量解析に先立ち、患者側の要因(年齢、性別)、動脈瘤による要因(破裂/未破裂、性状、部位)、手術法による要因(バイパスの種類、動脈瘤治療の種類)の各因子と、術後合併症の有無との関係の単変量解析をそれぞれ行った。単変量解析にて $p < 0.10$ となる因子にて多変量解析を実施した。 $p < 0.05$ を有意水準とした。統計解析ソフトはExcel 統計 Ver. 6.05(エスミ、東京)を使用した。

結 果

結果のまとめを **Table 1** に示す。

バイパスの種類としては、ACA への血流が対側から十分に賄われていた2例、軟部組織の腫瘍で graft の通過が困難であった1例で、また、ICA 先端部の血栓化動脈瘤の1例では血流量の減少を意図して、low flow bypass (LFB) を選択した。結果、浅側頭動脈(superficial temporal artery : STA)-MCA bypass 4例、外頸動脈(external

carotid artery : ECA)-橈骨動脈(radial artery : RA)-MCA bypass 40例、temporary RA bypass(腕挙げ法) 8例であった。動脈瘤治療法としては、Segment 1では全例が近位部閉塞を実施、Segment 2では、14例で trapping、8例で temporary bypass のもとでの clipping、2例で近位部閉塞下の clipping を実施した。Segment 3では、5例で近位部閉塞下 clipping、2例で trapping、1例で temporary bypass のもとでの clipping、1例では LFB 下の近位部閉塞を実施した。術後の全成績としては、50例中41例で良好な転帰が得られた。

術後の出血性合併症は、1例にのみ認めた。Segment 2の血豆状動脈瘤に対して、腕挙げ法のもと clipping を実施した症例で、術直後に再出血が認められた。その他、Segment 3の症例で感染性合併症を1例に認めた。

虚血性合併症は、8例に認められた。1例は、OphthAをも trapping に含めた Segment 2の大型動脈瘤で、術後に虚血性の視神経障害を呈した。LFBを選択した4例のうち2例では、血行力学的な梗塞と考えられる分水界領域の皮質梗塞が認められた。また、塞栓性の梗塞と考えられる皮質梗塞が HFB の2例に認められた。穿通枝領域の梗塞は3例に認め、そのうち1例は Segment 2のものであった。この症例は、穿通枝は trapping に含まれていなかった。

Table 1 Summary of clinical characteristics, surgical procedures and, outcomes in this series

	Segment 1	Segment 2	Segment 3
n	19	24	9
Patient Characteristics			
Age	56.8 ± 16.0	49.5 ± 12.9	67.2 ± 13.5
Sex (Male/Female)	2/15	4/20	4/5
Unruptured	19	10	1
Ruptured (poor grade)	0	14 (8)	8 (5)
Aneurysm Characteristics			
Giant-large	19	14	2
Blister-like	0	10	5
Previously treated	0	0	2
Bypass			
STA-MCA bypass	1	1	2
ECA-RA-MCA	18	16	6
Temporary RA bypass	0	7	1
Treatment			
PO	19	0	1
Trapping	0	14	2
Clipping	0	8	1
PO & clipping	0	2	5
Complication			
Ischemic (%)	1 (5.2%)	3 (12.5%)	4 (44.4%)
Hemorrhagic (%)	0	1 (4.2%)	0
Other (%)	0	0	1 (11.1%)
Outcome			
mRS 0–2 (%)	19 (100%)	19 (79.2%)	4 (44.4%)

ECA: external carotid artery, MCA: middle cerebral artery, mRS: modified Rankin Scale,
PO: proximal occlusion, RA: radial artery, STA: superficial temporal artery

Table 2 Univariate analysis for detecting the predictors of surgical complications

	Complication (–)	Complication (+)	Univariate analysis	
			OR (95% CI)	p
n	42	10		
Characteristics of PT				
Age	54.4 ± 15.8	57.2 ± 14.8	1.00 (0.96–1.05)	0.838
M; F	5; 37	4; 6	4.93 (1.02–23.8)	0.047*
Characteristics of AN				
Ruptured; Unruptured	15; 27	7; 3	4.20 (0.94–18.7)	0.059
Giant-large; Blister-like; Previously treated	30; 11; 1	5; 4; 1	2.31 (0.74–7.28)	0.151
Location (segment 1; 2; 3)	18; 20; 4	1; 4; 5	5.10 (1.54–16.9)	0.008**
Surgical procedure				
Bypass (HFB; LFB)	40; 2	8; 2	5.00 (0.61–40.9)	0.133
PO; Trapping; Clipping; PO + Clipping	18; 12; 7; 5	2; 4; 2; 2	1.45 (0.76–2.76)	0.256

PT: patients, AN: aneurysm, HFB: high flow bypass, LFB: low flow bypass, OR: odds ratio, PO: proximal occlusion, *p<0.05, **p<0.01

たが、PComA が adult type であった。その他の 2 例の穿通枝梗塞は、いずれも Segment 3 の血豆状動脈瘤の症例であった。

合併症率を部位別に示すと、Segment 1 で 5.2%，Segment 2 で 16.7%，Segment 3 で 55.6% と、Segment 3 で

合併症が多く認められた。単変量解析では、術後の合併症に関係する因子として、“性別”と“動脈瘤の部位”が有意であり、特に後者は強い相関が示唆されたものの (Table 2)，多変量解析では、いずれの因子も有意と判定されなかった。

本研究の結果、複雑な内頸動脈瘤に対する治療法として、バイパス併用手術の結果は全体としては良好であった。しかしながら、治療成績は瘤の部位に応じて異なり、特に Segment 3、すなわち PComA よりも遠位部の動脈瘤では、治療成績に課題が残ることが浮き彫りになった。

今回、われわれの提示した手術コンセプトは、基本的に“穿通枝を盲端化しない”という思想背景のもとに構築されている。穿通枝は、単に開存していればよいのではなく、血流の終点が穿通枝で終わってしまう形にした場合（盲端化）、血栓化が生じてしまう可能性が指摘されているためである⁷⁾¹⁰⁾¹²⁾。そのため、バイパス血流の流出路を OphA や PComA に求めることから方法論を構築している。

事実上の結果からも、Segment 1 に対する治療は、ほぼすでに確立されていると問題ないと思われる。LFB を使用せざるを得なかった 1 例で皮質梗塞を生じている以外に合併症は認めていなかった。バイパスおよび近位内頸動脈閉塞にて全例で良好な転帰が得られている。

Segment 2 の症例においても、バイパス術はきわめて高い有用性を発揮する。先にも述べたが、trapping しても血流の流出路を OphA と PComA に求めることが可能であり、理論上は動脈瘤の性状にかかわらず治療が可能となるからである。しかしながら、OphA をも巻き込むような症例で OphA をどう処理するか、PComA が hypoplastic な症例で、これを流出路にしてよいのか、またその場合には、いったい何 mm 以上の径があれば大丈夫なのか、抗血小板薬でこの問題を解決できるのか、など今後課題が残っているのも事実である。われわれのシリーズにおいても、これらの問題に直面し合併症を生じたケースが認められていた。

Segment 3 は、理論的にも治療法の選択が困難である。われわれの提示した 2 つの手法は、時に有効であると考えられるが、これらで対処不可能な症例に対しては、AChoA の犠牲は免れ得ない。AChoA への再建の報告もあるが¹⁰⁾、あくまでもリカバリーの手法であり、計画して行うものではない。血豆状動脈瘤に対しては、wrap-clipping は魅力的な手法であるが⁸⁾、やはり Segment 3 では、AChoA を避けて wrap することは困難である。

これらを考慮すると、Segment 3 の困難な動脈瘤に対しては、新たな治療として flow diverter には大きな期待がもたれるものと考えられる。しかしながら、この手法も相当の習熟を要するうえ、出血および血栓症など治療成績が定まっておらず、自然歴や従来の治療法との優劣はいまだ

明らかではないことに留意が必要である¹³⁾。

結 語

clipping 困難な内頸動脈瘤に対して、バイパス併用手術の治療成績は良好である。しかし、PComA より末梢部のものでは課題が残っている。

文 献

- 1) Houkin K, Kamiyama H, Kuroda S, *et al*: Long-term patency of radial artery graft bypass for reconstruction of the internal carotid artery. Technical note. *J Neurosurg* 90: 786-790, 1999
- 2) Ishikawa T, Mutoh T, Nakayama N, *et al*: Universal external carotid artery to proximal middle cerebral artery bypass with interposed radial artery graft prior to approaching ruptured blood blister-like aneurysm of the internal carotid artery. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 49: 553-558, 2009
- 3) Ishishita Y, Tanikawa R, Noda K, *et al*: Universal extracranial-intracranial graft bypass for large or giant internal carotid aneurysms: techniques and results in 38 consecutive patients. *World Neurosurg* 82: 130-139, 2014
- 4) Kalani MY, Ramey W, Albuquerque FC, *et al*: Revascularization and aneurysm surgery: techniques, indications, and outcomes in the endovascular era. *Neurosurgery* 74: 482-497, 2014
- 5) 上山博康：橈骨動脈を用いたバイパス手術。脳神経外科 22: 911-924, 1994
- 6) Kazumata K, Kamiyama H, Ishikawa T, *et al*: Impact of cervical internal carotid clamping and radial artery graft bypass on cortical arterial perfusion pressure during craniotomy. *Neurosurg Rev* 37: 493-499, 2014
- 7) Kazumata K, Nakayama N, Nakamura T, *et al*: Changing treatment strategy from clipping to radial artery graft bypass and parent artery sacrifice in patients with ruptured blister-like internal carotid artery aneurysms. *Neurosurgery* 10(Suppl 1): 66-72, 2014
- 8) Kubo Y, Ogasawara K, Tomitsuka N, *et al*: Wrap-clipping with polytetrafluoroethylene for ruptured blisterlike aneurysms of the internal carotid artery. Technical note. *J Neurosurg* 105: 785-787, 2006
- 9) Lylyk P, Miranda C, Ceratto R, *et al*: Curative endovascular reconstruction of cerebral aneurysms with the pipeline embolization device: the Buenos Aires experience. *Neurosurgery* 64: 632-642, 2009
- 10) 太田伸郎, 谷川緑野, 江田大武, ほか：巨大血栓化動脈瘤に対する外科治療—安全な主幹動脈再建と穿通枝の再建。脳卒中の外科 43: 267-274, 2015
- 11) Szikora I, Berentei Z, Kulcsar Z, *et al*: Treatment of intracranial aneurysms by functional reconstruction of the parent artery: the Budapest experience with the pipeline embolization device. *AJNR Am J Neuroradiol* 31: 1139-1147, 2010
- 12) 高橋 淳, 宮本 亨：部分血栓化巨大中大脳動脈瘤に対する手術。No Shinkei Geka 39: 129-139, 2011
- 13) van Rooij WJ, Sluzewski M, van der Laak C: Flow diverters for unruptured internal carotid artery aneurysms: dangerous and not yet an alternative for conventional endovascular techniques. *AJNR Am J Neuroradiol* 34: 3-4, 2013