内頸動脈前壁動脈瘤破裂に対する高灌流 EC-IC bypass/ 動脈瘤トラッピング術後急性期の脳循環動態と MR 所見の検討

藤村 幹^{1,3}, 清水 宏明², 井上 敬², 木村 尚人¹
江面 正幸¹, 上之原広司¹, 富永 悌二³

High Flow EC-IC Bypass and Aneurysmal Trapping for Ruptured IC Anterior Wall Aneurysm: Postoperative Evaluation of SPECT and MRI/MRA Findings in the Acute Stage

Miki FUJIMURA, M.D.,^{1,3} Hiroaki SHIMIZU, M.D.,² Takashi INOUE, M.D.,²
Naoto KIMURA, M.D.,¹ Masayuki EZURA, M.D.,¹ Hiroshi UENOYARA, M.D.,¹ and
Teiji TOMINAGA, M.D.³

¹Department of Neurosurgery, National Hospital Organization, Sendai Medical Center,

²Department of Neurosurgery, Kohnan Hospital, and ³Department of Neurosurgery, Tohoku University Graduate School of Medicine, Sendai, Miyagi, Japan

Summary: Background: Extracranial-intracranial (EC-IC) bypass is a powerful tool for treating complex cerebral aneurysm. Ruptured aneurysms at the non-branching site of the internal carotid artery (ICA), the so-called blister-like aneurysm, have been treated with high flow EC-IC bypass and aneurysmal trapping, but postoperative cerebral hemodynamics following flow conversion have remained unclear.

Methods: The present study investigated six cases with ruptured blister-like ICA aneurysm, who were managed by high flow EC-IC (ECA-M2 or CCA-M2) bypass using interposed saphenous vein graft followed by microsurgical aneurysmal trapping. Postoperative cerebral blood flow (CBF) was evaluated by N-isopropyl-p-[¹²³I]iodoamphetamine single-photon emission computed tomography (SPECT) in the acute stage. Routine magnetic resonance imaging (MRI) and magnetic resonance angiography (MRA) were also performed in the acute stage.

Results: No patient suffered from intra-operative aneurysmal rupture, and no patient manifested procedure-related ischemic complications. Postoperative SPECT in the acute stage (1-3 days after surgery) demonstrated a mild decrease in CBF in the operated hemisphere. Postoperative MRA demonstrated apparently patent EC-IC bypass in all cases. One patient manifested a delayed vasospasm and required a diagnostic angiogram and an intra-arterial infusion of fasudil hydrochloride. The clinical outcome was as follows: GR (good recovery) in four patients, and MD (moderately disabled) in two patients.

Conclusion: High flow EC-IC bypass followed by aneurysmal trapping (ICA trapping) was found to be a safe and effective treatment for ruptured blister-like ICA aneurysm. We recommend

Key words:

- blister-like aneurysm
- EC-IC bypass
- complex cerebral aneurysm
- non-branching site of ICA
- single-photon emission computed tomography

Surg Cereb Stroke

(Jpn) 41: 201-206, 2013

¹ 国立病院機構 仙台医療センター 脳神経外科, ² 広南病院 脳神経外科, ³ 東北大学 神経外科学分野 (受稿日 2012.8.1) (脱稿日 2012.11.8) (連絡先: 〒980-8574 宮城県仙台市青葉区星陵町 1-1 東北大学 脳神経外科 藤村 幹) [Address correspondence: Miki FUJIMURA, M.D., Department of Neurosurgery, Tohoku University Graduate School of Medicine, 1-1 Seiryomachi, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 980-8574, Japan]

はじめに

内頸動脈(internal carotid artery; ICA)前壁動脈瘤破裂によるくも膜下出血(subarachnoid hemorrhage; SAH)は、通常の動脈瘤頸部クリッピングによる対処が難しく、術中破裂のリスクもまれでないため治療困難と考えられている¹⁾⁸⁾。本動脈瘤破裂に対してはこれまでclip on wrapping material⁶⁾や、高灌流・頭蓋外内(EC-IC)バイパスとICA trapping術の組み合わせの有効性が報告されてきた¹⁾³⁾⁷⁾¹⁰⁾。一方、ICAの順行性血流を頭蓋外内バイパスに変換するにあたり虚血性合併症の潜在的リスクを伴うが、術後急性期の脳循環やMR所見については不明な点が多い。

慢性閉塞性脳血管障害患者に対するEC-IC bypass後には虚血性合併症のみならず過灌流症候群が潜在的合併症として知られているため、血行再建術後急性期の脳循環動態評価の重要が指摘されている一方²⁾⁹⁾、血行再建術を伴う動脈瘤手術における術後急性期の脳循環動態評価の意義についてはいまだ確立された見解はない。本研究においてはICA前壁動脈瘤破裂に対して高灌流EC-ICバイパスと動脈瘤トラッピングを行い、術後急性期の脳循環動態をN-isopropyl-p-¹²³I iodpamphetamine single-photon emission computed tomography(¹²³I-IMP-SPECT)にて評価した。さらに術後急性期にmagnetic resonance imaging (MRI)/magnetic resonance angiography (MRA)を行うことで術後急性期病態を検証した。

対象と方法

対象は2008年4月から2011年12月まで広南病院ならびに仙台医療センターにてICA前壁動脈瘤破裂(SAH)に対して高灌流EC-IC bypassと動脈瘤トラッピング(ICA trapping)を施行した連続6例(平均52.2歳)である。術前のHunt and Kosnik分類ではgrade 2が2例、grade 3が3例、grade 4が1例であった。6例中5例において発症3日以内に根治術を施行した。1例においては急性期に血管内手術による部分塞栓を行い急性期再破裂は回避したが、亜急性期に瘤の増大を認めたため発症30日目に高灌流EC-IC bypassと動脈瘤トラッピング(ICA trapping)を行った。手術は全症例において中大脳動脈(MCA)のM3～M4に浅側頭動脈・中大脳動脈(STA-MCA)吻合術をassist bypassとして行ったのちに伏在静脈グラフトを用いた外頸動脈(ECA)-中大脳動脈(M2)バイパスまたは総頸動脈(CCA)-中大脳動脈(M2)バイパスを施行した。その後に動脈瘤にアプローチし前脈絡叢動脈より心臓側で動脈瘤トラッピング(ICA trapping)を施行した。なお、われわれは破裂動脈瘤に対するICA trapping時には原則として高灌流EC-IC bypassを行うため術前のballoon test occlusionは行わなかった。

全症例において術後急性期に¹²³I-IMP-SPECT (POD1-, 12-)とMRI/MRA (POD1-3)を行った。¹²³I-IMP-SPECTの機種としてはPRISM IRIX(島津社製)を用い、定性においては¹²³I-IMP 222Mbpを投与後、20分後から約30分間データ収集を行った。この定量法としてはauto-radio-

Table 1 Summary of six cases with ruptured ICA trunk aneurysm managed by high flow EC-IC bypass with aneurysmal trapping

	H&K grade	Timing of surgery (Day)	Complication (Association*)	GOS	MRA	IMP-SPECT (POD1-3)	IMP-SPECT (POD7-14)
52/F	G3	3	none	GR	STA+/Vein+	Mild Hypo.	Equivalent
43/F	G3	3	none	GR	STA+/Vein+	Equivalent	Mild Hypo.
58/F	G2	2	none	GR	STA+/Vein+	Mild Hypo.	Mild Hypo.
49/F	G2	2	SVS, hydrocephalus	MD	STA-/Vein+	Mild Hypo.	Hypo.
52/F	G4	0	(sylvian hematoma*)	MD	STA-/Vein+	Hypo.	Hypo.
59/F	G3	30	none	GR	STA+/Vein+	Mild Hypo.	Mild Hypo.

SVS: symptomatic vasospasm

Mild Hypo.: Mild decrease in CBF on the hemisphere operated on, compared to the contra-lateral hemisphere

Equivalent: Equivalent CBF compared to the non-operated hemisphere

Fig. 1 Plain computed tomography (CT) on admission demonstrating subarachnoid hemorrhage at the basal cistern extending to bilateral sylvian cisterns and interhemispheric cistern (A-C).

A | B | C

Fig. 2 A, B; Pre-operative left internal carotid angiogram (three dimensional digital angiography) showing blister-like aneurysm (arrows) at the non-branching site of left internal carotid artery.

A | B

graphic (ARG)法を用い、投与後10分後に動脈採血を行い装置付属のOdysseyにて解析し定量値を求めた。ROIは片側MCA領域全体に設定し、非手術側に対して-80%の血流低下を示したものを「高度血流低下」、81-95%のものを「軽度血流低下」と定義した。定性評価のみ行った症例では定性値の対側比にて上記に準じた。

結 果

結果のまとめをTable 1に示す。6例全例を通して術中破裂をきたしたものはなく、手術に関連した虚血性合併症も認めなかった。術直後の¹²³I-IMP-SPECTでは、5例において非手術側と比較して同等または軽度血流低下を認め、sylvian hematomaを伴った1例においては非手術側と比較して高度な血流低下を認めた。術後MRI(拡散強調画像;DWI)では、6例中5例においては新たな虚血巣を認めなかったが、vasospasmを呈した1例で遅発性に

small high spotを認めた。MRAでは全例で高灌流EC-IC bypassは明瞭に描出され、STA-MCA assist bypassも多くの症例で確認可能であった。経過中、1例において症候性vasospasmがみられたため、脳血管撮影によるvasospasmの診断と塩酸ファスジル選択的静注を要した。脳血管撮影では全例で動脈瘤の消失とバイパスの開存が確認された。亜急性期¹²³I-IMP-SPECTでは6例中4例で対側と同等から軽度血流低下、sylvian hematomaを伴ったgrade 4の1例は血流低下のまま、vasospasmを呈した1例で明らかな血流低下を認めた。入院経過中、脳虚血症状を呈したものはvasospasmを認めた1例のみであった。退院時のGlasgow Outcome Scaleは4例がgood recovery、2例がmoderately disabled(高次脳機能障害1例、軽度失語1例)であった。退院後にSAHを再発した症例はなく、経過観察中に新生動脈瘤を認めた症例もなかった。

Fig. 3 Intra-operative microscopic view after left fronto-temporal craniotomy and dural incision (A). High flow CCA-M2 bypass using saphenous vein graft was attempted after STA-MCA (M3) assist bypass (B). After the completion of vascular reconstruction, the ICA-trunk aneurysm was trapped with microsurgical clips (C). Final view of the microsurgical procedures (D).

A | B
C | D

Fig. 4 Postoperative ^{123}I -IMP-SPECT at one day (A) and 12 days (B) after surgery demonstrating mild decrease in CBF on the left hemisphere operated on.

A
B

Fig. 5 Temporal profile of postoperative MRA at three days (**A, B**), five days (**C**), and 12 days (**D**) after surgery. Patency of CCA-M2 bypass using vein graft was demonstrated both at cervical segment (arrow in **A**) and intracranial segment (arrows in **B-D**). The signal of the MCA was equivocal on the left hemispheres operated on.

A	B
C	D

代表症例

58歳女性。既往歴には高血圧以外に特記事項なし。突然の激しい頭痛にて発症翌日に外来受診した。来院時 computed tomography (CT) では脳底槽と両側シルビウス槽に SAH を認めた (**Fig. 1**)。脳血管撮影にて左 ICA 前壁動脈瘤を認めた (**Fig. 2**)。術直前の Hunt and Kosnik 分類では grade 2、発症2日目に全身麻酔下に左前頭側頭開頭にて高灌流 EC-IC bypass と ICA trapping 術を施行した (**Fig. 3A**)。はじめに MCA 末梢 (M3) に STA-MCA assist bypass を行ったのちに伏在静脈グラフトを用いた CCA-M2 バイパスを施行した (**Fig. 3B**)。その後に動脈瘤にアプローチし前脈絡叢動脈より心臓側で動脈瘤トラッピング (ICA trapping) を施行した (**Fig. 3C**)。運動神経誘発電位 (MEP) の波形に変化がないことを確認し硬膜内操作を終了 (**Fig. 3D**)、閉創し手術を終了した。術後新たな神経脱落症状を認めず、経過中症候性 vasospasm もみられなかった。術翌日ならびに術後12日目の ^{123}I -IMP-SPECT では術側に軽度の血流低下を認めるのみであった (**Fig. 4**)。術後3日目の MRA では CCA-M2 bypass と STA-MCA bypass とともに明瞭に描出された (**Fig. 5A, B**)。術後5日目、12日目の MRA においても CCA-M2 bypass と STA-MCA bypass とともに描出良好であった (**Fig. 5C, D**)。経過中 MRI では虚血巣を認めなかった。発症25日目に神経脱落症状なく独歩自宅退院となった。

考察

本研究においては、6例の ICA 前壁動脈瘤破裂に対する伏在静脈グラフトを用いた高灌流 EC-IC bypass/動脈瘤トラッピング術について検証した。術中・術後も含めて手術手技に起因する合併症はなく、従来治療困難と考えられてきた ICA 前壁動脈瘤破裂¹⁾⁸⁾に対する本法は安全、確実な治療法と考えられた。術後急性期の ^{123}I -IMP-SPECT はおおむね軽度血流低下で経過したが、脳虚血症状については遅発性に症候性 vasospasm をきたした1例を除いて認めなかった。また急性期 MRA により高灌流バイパスの評価は全例で可能であり、術後急性期の ^{123}I -IMP-SPECT と MRI/MRA の併用が病態把握に有用と考えられた。一方、 ^{123}I -IMP-SPECT が軽度血流低下で経過すること、ならびに MRA による術側 MCA のシグナルは、代表症例で提示したとおり術直後から亜急性期を通じて微弱なため vasospasm の診断確定には脳血管撮影を要するものと考えられた。

ICA 前壁動脈瘤破裂に対する治療については Ogawa らが clip on wrapping material の有用性を報告した⁶⁾。血行再建のような煩雑な手技を伴わず、動脈瘤手術に習熟した術者には現在でも第一選択となりうる方法と考えられる。一方、wrapping material で ICA を包埋するためには動脈瘤周囲の十分な exploration が必須であり、premature rupture をきたした場合の虚血耐性の問題など、多

様な技量の術者すべてに汎用されうるかは疑問な点もある¹⁾⁸⁾¹⁰⁾。一方、近年は治療困難な脳動脈瘤手術における血行再建術併用の有用性が確立されており⁴⁾、ICA 前壁動脈瘤破裂に対しても EC-IC bypass を併用した動脈瘤トラッピング術の有効性が相次いで報告されている¹⁾³⁾⁵⁾⁷⁾¹⁰⁾。特に、動脈瘤へのアプローチを行う前に高灌流 EC-IC bypass を行い ICA 閉塞後の脳血流も確保したうえで、親血管と動脈瘤を露出しトラップすることにより良好な治療成績が報告されている³⁾⁷⁾。本シリーズにおいても 6 例全例で高灌流 EC-IC bypass を設けたのちに動脈瘤にアプローチすることにより術中破裂をきたしたものはなく、バイパス手技に習熟している限りにおいて本法は安全・確実な方法と考えられた。

慢性閉塞性脳血管障害患者に対する EC-IC bypass においては STA-MCA bypass のような low flow bypass においても過灌流症候群が潜在的合併症として知られているが²⁾⁹⁾、親動脈閉塞を伴う脳動脈瘤手術における EC-IC bypass 併用後の急性期脳循環については不明な点も多かった。本シリーズではバイパスからの血流量が多いとされる伏在静脈グラフトを用いたため、手術による flow conversion 後の急性期脳循環については興味のもたれるところであった。結果としては術後 ¹²³I-IMP-SPECT はおおむね軽度血流低下で経過し、術後に吻合部局所に異常高灌流を呈した症例もなかった。その機序として、今回 STA-MCA assist bypass を全例使用したため M2 遮断による虚血侵襲がなく post-ischemic hyperperfusion も惹起されなかったこと、そして、くも膜下出血による侵襲の影響を除けば通常バイパスの対象となる閉塞性脳血管障害患者にみられるような慢性脳虚血病態による脳血流自動調節能の著しい破綻はなく、flow conversion 直後からある程度自動調節能が機能していたことが推測された。最近では頭蓋内ステントを ICA 前壁動脈瘤破裂の治療に応用する報告もなされ⁵⁾、血管内治療にも期待がもたれるところであるが、SAH 急性期のステント内血栓のリスクと抗血小板剤多剤使用の問題など今後に残されている課題も多い。

結 語

ICA 前壁動脈瘤破裂に対する高灌流 EC-IC bypass/動脈瘤トラッピング術は安全、確実な治療法と考えられた。術後 ¹²³I-IMP-SPECT はおおむね軽度血流低下で経過する。

急性期 MRA によりバイパスの評価は可能であり、術後急性期に ¹²³I-IMP-SPECT と MRI/MRA を併用することにより病態把握が可能と考えられるが、MRA による術側 MCA のシグナルは術直後より微弱なため vasospasm の診断確定には脳血管撮影を要する。

文 献

- 1) Başkaya MK, Ahmed AS, Ateş O, *et al*: Surgical treatment of blood blister-like aneurysms of the supraclinoid internal carotid artery with extracranial-intracranial bypass and trapping. *Neurosurg Focus* 24: E13, 2008
- 2) Fujimura M, Shimizu H, Inoue T, *et al*: Significance of focal cerebral hyperperfusion as a cause of transient neurologic deterioration after EC-IC bypass for moyamoya disease: Comparative study with non-moyamoya patients using ¹²³I-IMP-SPECT. *Neurosurgery* 68: 957-965, 2011
- 3) 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
- 4) Lawton MT, Hamilton MG, Morcos JJ, *et al*: Revascularization and aneurysm surgery: current techniques, indications, and outcome. *Neurosurgery* 38: 83-94, 1996
- 5) Lee BH, Kim BM, Park MS, *et al*: Reconstructive endovascular treatment of ruptured blood blister-like aneurysms of the internal carotid artery. *J Neurosurg* 110: 431-436, 2009
- 6) Ogawa A, Suzuki M, Ogasawara K: Aneurysms at non-branching sites in the supraclinoid portion of the internal carotid artery: internal carotid artery trunk aneurysms. *Neurosurgery* 47: 578-586, 2000
- 7) Shimizu H, Matsumoto Y, Tominaga T: Parent artery occlusion with bypass surgery for the treatment of internal carotid artery aneurysms: clinical and hemodynamic results. *Clin Neurol Neurosurg* 112: 32-39, 2010
- 8) Sim SY, Shin YS, Cho KG, *et al*: Blood blister-like aneurysms at nonbranching sites of the internal carotid artery. *J Neurosurg* 105: 400-405, 2006
- 9) Yamaguchi K, Kawamata T, Kawashima A, *et al*: Incidence and predictive factors of cerebral hyperperfusion after extracranial-intracranial bypass for occlusive cerebrovascular diseases. *Neurosurgery* 67: 1548-1554, 2010
- 10) Yu-Tse L, Ho-Fai W, Cheng-Chi L, *et al*: Rupture of symptomatic blood blister-like aneurysm of the internal carotid artery: clinical experience and management outcome. *Br J Neurosurg* 26: 378-382, 2012