傍鞍部内頸動脈瘤の手術

—視神経の温存—

堀内 哲吉

信州大学医学部脳神経外科

Preservation of the Optic Nerve during Surgery for Paraclinoid Carotid Artery Aneurysm

Tetsuyoshi Horiuchi, M.D.

Department of Neurosurgery, Shinshu University School of Medicine

Recently, endovascular interventions such as coil embolization and flow-diverting stenting are usually used to manage paraclinoid carotid artery aneurysms due to anatomical location and visual complications. However, all paraclinoid carotid artery aneurysms cannot be treated with the endovascular approach. To prevent visual complications, clipping surgery for paraclinoid carotid artery aneurysm, skull base technique, retrograde suction decompression method, intraoperative electrophysiological monitoring, and indocyanine green videoangiography have been developed. In this report, the functional anatomies of the ophthalmic artery and the superior hypophyseal artery feeding the optic apparatus and originating from the paraclinoid carotid artery are summarized. Moreover, the direct surgical procedure used for paraclinoid carotid artery aneurysm is presented.

(Received November 26, 2018 ; accepted December 17, 2018)

Key words : aneurysm, clipping, ophthalmic artery, superior hypophyseal artery, paraclinoid carotid artery aneurysm

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 28 : 391–397, 2019

はじめに

傍鞍部内頸動脈瘤は、血管内で治療される頻度が増加しクリッピング症例は減少している (Fig. 1). この最大の理由として、フローダイバーターをはじめとする血管内治療機器の進歩が著しいことが挙げられる。また、直達手術においては複雑な局所解剖の知識が必要であることに加えて、視症状の出現や悪化が高率に起こることも理由であると思われる。しかし、血管内治療では再発の問題や完全閉塞率が低いなどの問題が未解決である。さ

らに血栓化動脈瘤などの占拠性病変や造影剤アレルギー症例などにおいては、今後も直達手術が必要な症例も存在する。最近では、視覚誘発電位 (visual evoked potential: VEP) による術中モニタリングの向上¹⁹⁾や上下垂体動脈 (superior hypophyseal artery: SHA) の機能解剖理解により⁶⁾⁸⁾⁹⁾、直達手術においても視症状合併症の低下ならびに予防が可能となってきた。本稿では、視神経・視交叉機能を温存するための傍鞍部血管解剖と傍鞍部内頸動脈瘤治療の実際について概説する。

連絡先: 堀内哲吉, 〒390-8621 松本市旭 3-1-1 信州大学医学部脳神経外科

Address reprint requests to: Tetsuyoshi Horiuchi M.D., Department of Neurosurgery, Shinshu University School of Medicine, 3-1-1 Asahi, Matsumoto-shi, Nagano, 390-8621, Japan

Fig. 1 Bar graph showing the number of clipping surgeries performed at Shinshu University Hospital between 1991 and 2017

視症状合併症の頻度と原因

傍鞍部内頸動脈瘤クリッピング術における視症状の出現や悪化は、最大で約30%程度といわれている⁹⁾¹³⁾¹⁶⁾²⁰⁾。この視症状には、自覚的な症状はないものの、眼科視野検査にて視野欠損が発見されるような軽度のものも含まれるが、大きな問題である。出現時期として、術直後に出現するものが多いが、術後しばらくしてから出現するものもあることが知られている¹⁶⁾。視症状合併の危険因子としては、前床突起切除、動脈瘤石灰化、動脈瘤サイズなどが報告されている。視症状出現・悪化の原因として①視神経・視交叉に対する手術操作による視神経自体の損傷、②前床突起切除や視神経管の開放に用いるドリルや超音波手術機器による熱または振動による損傷、③視神経・視交叉・視索などの血流障害、④炎症反応、⑤フィブリン糊などに対するアレルギー反応などが考えられる。現在では、手術中に原因を特定する方法は存在しない。視機能温存のために①内視鏡を用いた病変の視認や確認、②VEPを用いた術中モニタリング、③インドシアニングリーン（ICG）蛍光血管撮影などによる血流の確認などが行われている。これらの方法により視機能温存の治療成績は向上してきているが、原因が特定できない視力・視野障害をときに経験する。

原因が特定できない手術に伴う視症状の出現・悪化に関して、視神経・視交叉の血流障害が一因として考えられる。頭蓋内視神経・視交叉の血流は、眼動脈・SHA・前交通動脈・前大脳動脈・後交通動脈が複雑に関与している。傍鞍部内頸動脈瘤直達手術時に問題となる眼動脈とSHAについて以下に解説する。

眼動脈

眼動脈は、視神経の下方で distal dural ring を貫通した直後の内頸動脈内側壁より分岐する（Fig. 2）。よって眼動脈分岐後に存在する動脈瘤は基本的に硬膜内病変である。眼動脈は、分岐直後に外側方向へ走行し視神経下面で視神経と伴走して視神経管から眼窩内に至る（Fig. 2）。眼動脈は基本的に硬膜内分岐であるが、distal dural ring 内分岐や硬膜外分岐のあることもよく知られている⁴⁾¹⁴⁾。傍鞍部内頸動脈瘤直達治療における検討では、硬膜内分岐が85.7%、硬膜外分岐が7.6%、distal dural ring 内分岐が6.7%であった⁴⁾。Distal dural ring を切離し内頸動脈の可動性を得ることは、傍鞍部内頸動脈瘤直達手術において必要な手技であるが、このバリエーションがあることを知っていないと眼動脈損傷の危険性がある。

視神経の血流支配は、眼窩内、視神経管内、頭蓋内の3つの部位に分類される³⁾。眼窩内の視神経は、眼動脈ならびに中硬膜動脈を代表とする外頸動脈の分枝より栄養されている。視神経管内視神経は、眼動脈からの細かな分枝により栄養されている。頭蓋内視神経は、上面は前大脳動脈より、下面はSHAにより血流供給を受けている。

眼動脈閉塞により視症状が出現することはまれであるといわれているが、その根拠となっているのは、JohnsonとWalkerが発表した1951年の古い論文である¹¹⁾。現在でもこの論文が、眼動脈と視神経虚血の関係について引用されている。論文では、総頸動脈または内頸動脈閉塞例の107例において永続的に失明を認めたのは、11症例（10.3%）であったと報告している。これにより、引用論

Fig. 2 Anatomy of the ophthalmic artery (dorsal view)
ICA : internal carotid artery, ON : optic nerve

文の多くは眼動脈が閉塞しても90%の症例は失明しないと記載している。しかし、この報告は半盲などの視野障害や視力低下などには言及しておらず問題があると思われる。最近の報告として、眼動脈の一時閉塞を施行して血管撮影で検討したものがある¹⁾。14症例に眼動脈の一時閉塞を血管内で行い、外頸動脈経由の側副血行路による網膜血流があるかどうかを検討している。12例(85.7%)において側副血行路による血流が確認できたとのことであり、多くの症例では眼動脈分岐直後の閉塞では、網膜虚血になる可能性は低いことになる。しかし、眼動脈血流低下や血管内治療後塞栓症による網膜虚血はまれでないとされる。傍鞍部内頸動脈瘤治療において眼動脈起始部を含む内頸動脈にフローダイバーターを留置した検討では、85.7%の症例で眼動脈の血流は維持されていたが、35.7%の症例で視症状の合併症を認めたとの報告がある¹⁷⁾。特に眼動脈が動脈瘤体部より分岐する症例では、80% (4/5) の症例に網膜塞栓症を合併した。その理由として動脈瘤内の血栓が、眼動脈内に流入したことが考えられた。また、10.7%の症例に視神経萎縮を合併した。この原因として著者らは、急激な眼動脈血流低下を挙げている。つまり、狭窄が進行して眼動脈血流が徐々に低下するような場合は側副血行路が発達してくるが、急激な血流低下は問題となる可能性があることを示している。

以上のことより、10~15%の症例では急激な眼動脈閉塞により、視症状出現の危険性があることが推察される。よって、傍鞍部内頸動脈瘤クリッピング治療において、視症状の合併症を防止するためには、眼動脈の温存に努めるべきである。

SHA

SHAは、硬膜内のcarotid caveから後交通動脈分岐部までの内頸動脈内側部より分岐する細動脈である⁴⁾⁶⁾⁹⁾。Carotid caveはdistal dural ringより心臓側に位置する硬膜内のポケット(carotid collarと内頸動脈の間にある空間)であるため¹⁵⁾、眼動脈より心臓側に位置している。SHAは発生学的に重要な血管であるとされている。太さは0.25(0.1~0.5)mm程度で、片側1~5本存在する²⁾⁶⁾⁹⁾。SHAは細い血管であるが、ときに視神経・視交叉の重要な栄養血管のこともある。血管撮影でSHAは通常同定が困難であり、バリエーションも豊富なため傍鞍部内頸動脈瘤クリッピング治療においてはSHAの局所解剖を理解しておくことは重要である。

視交叉の血流支配は、上面と下面に分けて分類されている¹⁸⁾。上面は、前大脳動脈、前交通動脈ならびにSHAから血流があり、下面はSHAと後交通動脈からの血流がある。これらの血管は、上面と下面それぞれに豊富な吻合があり、また上面と下面の間にも吻合があるとされている¹⁸⁾。また、両側のSHAは下垂体柄周囲で吻合しているため(Fig. 3)、内頸動脈分岐直後の閉塞では視交叉に虚血を惹起する可能性は低い⁹⁾。しかし、両側のSHA閉塞は虚血を惹起するので注意が必要である⁹⁾。SHAは視交叉上面にも一部血流を供給しているが、主には下面からのものである。このため、動脈瘤直達手術においてはSHAの吻合程度は、直接観察できない。また、optico-carotid spaceが狭い症例では、SHA自体の観察も困難である。Contralateral approach(Fig. 4)では、ipsilateral approachよりもSHAは観察しやすいがやはり下面までは観察できない。よって、直達手術において、どのSHA

Fig. 3 Image showing the vascular network of ophthalmic artery and superior hypophyseal artery (SHA) at the optic nerve and chiasma (ventral view). Occlusion of the SHA at 1 and 2 did not cause ischemia and ischemia of optic nerve or chiasma, respectively.
Rt : right, Lt : left

Fig. 4 Intraoperative temporary occlusion of the hypophyseal artery (SHA)
Preoperative rotational angiography (upper column) and intraoperative photographs of the aneurysm through the contralateral approach (lower column) showing the SHA aneurysm and SHA itself (arrows).

が重要なのかを判断するのは困難である。SHA 動脈瘤の SHA 分岐はさまざまであり温存が困難な症例も存在する (Fig. 5)。よって、術中に SHA の血流温存が難しい症

例では SHA 閉塞試験が必要となる (Fig. 4)⁹⁾¹⁰⁾。内頸動脈分岐直後の片側性 SHA 閉塞は、豊富な側副血行路があるため視交叉への虚血を惹起する可能性は低いと思われ

る⁹⁾。

SHA 閉塞が原因と思われる、血管内治療後の視野障害合併症例が報告されている¹²⁾。症例はSHA 動脈瘤に対して Onyx を用いて、塞栓術を施行した症例である。液体塞栓物質により SHA 自体とその吻合部位まで閉塞されたことが、視野障害の原因と思われた。MRI にて視交叉に虚血巣が出現している。

手術の実際

ここでは、実際に行っている傍鞍部内頸動脈瘤クリッピング方法について紹介する。

セットアップ: われわれは、傍鞍部内頸動脈瘤を①眼動脈分岐部動脈瘤、②SHA 動脈瘤、③carotid cave 動脈瘤、④前壁(“背側”)動脈瘤、⑤その他、と5種類に分類している⁵⁾⁷⁾⁸⁾¹⁰⁾²¹⁾。前壁動脈瘤と眼動脈分岐部動脈瘤は、動脈瘤ならびに内頸動脈の視認が比較的容易であるので ICG 蛍光血管撮影のみで十分なことが多い。一方、SHA 動脈瘤や carotid cave 動脈瘤では、有窓クリップ先端の確認が難しいことや内頸動脈狭窄が起こることがあり、術中血管撮影の適応となることがある。また、suction decompression を用いるような大型動脈瘤でも術中血管撮影が必要であり、ハイブリッド手術室が使用可能な施設であれば、同手術室での治療が推奨される。

傍鞍部内頸動脈瘤直達手術では頸部内頸動脈確保をルーチンで行っている。これは、proximal control の意味と動脈瘤剥離時に一時閉塞し動脈瘤圧を低下させ剥離を容易にできるメリットがある。分岐部が高位で頸部内頸動脈が確保困難な症例は、総頸動脈と外頸動脈を確保する。総頸動脈のみでは、外頸動脈からの逆行性血流で proximal control にならないことがあり注意が必要である。

開頭: 基本的に trans-sylvian approach より subfrontal approach であるため正中側に大きめの開頭が必要である。特に contralateral approach では内側に大きな開頭が必要となる。一時的な虚血が危惧される症例では、浅側頭動脈中大脳動脈吻合術を先行させる。

前床突起削除: われわれは、硬膜内より前床突起削除を行っている¹⁰⁾²²⁾。最大のメリットは、必要な部分のみの削除で済むことである。硬膜内より、動脈瘤と前床突起の関係を把握してクリッピングに必要な骨削除を行う。前床突起の大きさには個人差が大きく、視神経管開放や optic strut 削除に関しては不要な症例もあるので、硬膜内削除は理にかなった方法である。この操作は視症状合併症出現に関与する可能性があるため、より慎重な操作が必要である。ドリルか超音波手術機器で削除する

Fig. 5 Image showing the relationship between the hypophyseal artery (SHA) aneurysm and SHA itself. The SHA branching from the proximal neck, medial neck, distal neck, and aneurysmal body.

PCoA: posterior communicating artery, AChA: anterior choroidal artery

ことが一般的であるが、より安全性の高い超音波手術機器をお勧めする。超音波手術機器使用によるデメリットは、ドリル使用より削除時間がかかることなどが挙げられる。超音波手術機器でも熱損傷は起こるので十分な洗浄は必要である。

Distal dural ring 切離: 通常の硬膜内傍鞍部内頸動脈瘤治療では、distal dural ring 切離が必要になる。前壁動脈瘤や眼動脈分岐部動脈瘤では、切離する範囲は短い。一方、SHA 動脈瘤では全周性に切離が必要なことが多い。

眼動脈・SHA の一時閉塞: 眼動脈分岐部動脈瘤治療において、術中に眼動脈を 10 分程度一時閉塞して、VEP 変化が惹起されるかどうかを検討しているが (Fig. 6)、現時点では VEP 変化を 1 例も経験していない。症例数がまだ少ないため、今後もさらなる検討が必要である。眼動脈は前述したとおり、視神経管内の唯一の血流供給血管であることと、遅発性虚血の可能性が否定できないため温存に努めている。一方、SHA 動脈瘤でも SHA の一時閉塞を施行しているが (Fig. 4)、VEP 変化のない症例では complete clipping を優先している。眼動脈に比して、SHA は細く複数本存在するため、温存可能な SHA と温存できない SHA 分岐形態がある (Fig. 5)。

クリッピング: 大型の SHA 動脈瘤では有窓クリップを用いる必要がある。有窓クリップは有用であるが、微調整が難しい。有窓クリップのアプライ時には、視神経・視交叉にクリップ自体が接触することが多いので、視症

Fig. 6 : Intraoperative temporary occlusion of the ophthalmic artery (OphA). Preoperative three-dimensional computed tomographic angiography (upper column) and intraoperative photographs (lower column) showing the carotid-ophthalmic aneurysm and OphA (arrows).

状の合併症回避には、安易な有窓クリップ使用は控えるべきと思われる。

おわりに

傍鞍部内頸動脈瘤直達治療における眼動脈・SHA の局所解剖と実際の手術方法について概説した。この小論が、読者の手術手技向上につながれば幸いである。

COI : 著者は日本脳神経外科学会への COI 自己申告の登録を完了しています。本論文に関して開示すべき COI はありません。

文 献

- 1) Ahn JH, Cho YD, Kang HS, Kim JE, Cho WS, Jung SC, Kim CH, Han MH : Endovascular treatment of ophthalmic artery aneurysms : assessing balloon test occlusion and preservation of vision in coil embolization. *AJNR Am J Neuroradiol* **35** : 2146-2152, 2014.
- 2) Gibo H, Lenkey C, Rhoton AL Jr : Microsurgical anatomy of the supraclinoid portion of the internal carotid artery. *J Neurosurg* **55** : 560-574, 1981.
- 3) Hendrix P, Griessenauer CJ, Foreman P, Shoja MM, Loukas M, Tubbs RS : Arterial supply of the upper cranial nerves : a comprehensive review. *Clin Anat* **27** : 1159-1166, 2014.
- 4) Horiuchi T, Tanaka Y, Kusano Y, Yako T, Sasaki T, Hongo K : Relationship between the ophthalmic artery and the dural ring of the internal carotid artery. Clinical article. *J Neurosurg* **111** : 119-123, 2009.
- 5) Horiuchi T, Kusano Y, Yako T, Murata T, Kakizawa Y, Hongo K : Ruptured anterior paraclinoid aneurysms. *Neurosurg Rev* **34** : 49-55, 2011.
- 6) 堀内哲吉, 本郷一博 : SHA. 波出石弘, 石川達哉, 田中美千裕編 : 脳動脈コンプリーター開頭手術と血管内治療のために。東京, 中外医学社, 2014, pp.30-36.
- 7) 堀内哲吉, 柿澤幸成, 本郷一博 : 内頸動脈瘤 (近位部) の解剖。宝金清博監, 井川房夫, 宮地 茂編 : 内頸動脈瘤 (ICA Aneurysm) のすべて—近位部 (cavernous-paraclinoid) : シミュレーションで経験する手術・IVR/92 本の WEB 動画付き。大阪, メディカ出版, 2015, pp.7-11.
- 8) 堀内哲吉, 本郷一博 : シミュレーションと手術の実際 IC paraclinoid 下内側向き (SHA)。宝金清博監, 井川房夫, 宮地 茂編 : 内頸動脈瘤 (ICA Aneurysm) のすべて—近

位部 (cavernous-paraclinoid) : シミュレーションで経験する手術・IVR/92 本の WEB 動画付き. 大阪, メディカ出版, 2015, pp.128-134.

- 9) Horiuchi T, Goto T, Tanaka Y, Kodama K, Tsutsumi K, Ito K, Hongo K : Role of superior hypophyseal artery in visual function impairment after paraclinoid carotid artery aneurysm surgery. *J Neurosurg* **123** : 460-466, 2015.
- 10) Horiuchi T, Yamamoto Y, Suzuki Y, Kobayashi M, Ichinose S, Hongo K : Clipping surgery for paraclinoid carotid aneurysm. *Acta Neurochir Suppl* **123** : 27-32, 2016.
- 11) Johnson HC, Walker AE : The angiographic diagnosis of spontaneous thrombosis of the internal and common carotid arteries. *J Neurosurg* **8** : 631-659, 1951.
- 12) Johnson JN, Elhamady M, Post J, Pasol J, Ebersole K, Aziz-Sultan MA : Optic pathway infarct after Onyx HD 500 aneurysm embolization : visual pathway ischemia from superior hypophyseal artery occlusion. *J Neurointerv Surg* **6** : e47, 2014.
- 13) Kamide T, Tabani H, Safaee MM, Burkhardt JK, Lawton MT : Microsurgical clipping of ophthalmic artery aneurysms : surgical results and visual outcomes with 208 aneurysms. *J Neurosurg* **129** : 1511-1521, 2018.
- 14) Kyoshima K, Oikawa S, Kobayashi S : Interdural origin of the ophthalmic artery at the dural ring of the internal carotid artery. Report of two cases. *J Neurosurg* **92** : 488-489, 2000.
- 15) Kobayashi S, Kyoshima K, Gibo H, Hegde SA, Takemae T, Sugita K : Carotid cave aneurysms of the internal carotid artery. *J Neurosurg* **70** : 216-221, 1989.
- 16) Matsukawa H, Tanikawa R, Kamiyama H, Tsuboi T, Noda K, Ota N, Miyata S, Takeda R, Tokuda S : Risk factors for visual impairments in patients with unruptured intradural paraclinoid aneurysms treated by neck clipping without bypass surgery. *World Neurosurg* **91** : 183-189, 2016.
- 17) Rouchaud A, Leclerc O, Benayoun Y, Saleme S, Camilleri Y, D'Argento F, Boncoeur MP, Robert PY, Mounayer C : Visual outcomes with flow-diverter stents covering the ophthalmic artery for treatment of internal carotid artery aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* **36** : 330-336, 2015.
- 18) Salaud C, Ploteau S, Blery P, Pilet P, Armstrong O, Hamel A : Extrinsic and intrinsic blood supply to the optic chiasm. *Clin Anat* **31** : 432-440, 2018.
- 19) Sato A : Interpretation of the causes of instability of flash visual evoked potentials in intraoperative monitoring and proposal of a recording method for reliable functional monitoring of visual evoked potentials using a light-emitting device. *J Neurosurg* **125** : 888-897, 2016.
- 20) Shimizu T, Naito I, Aihara M, Fujimaki H, Asakura K, Miyamoto N, Yoshimoto Y : Visual outcomes of endovascular and microsurgical treatment for large or giant paraclinoid aneurysms. *Acta Neurochir (Wien)* **157** : 13-20, 2015.
- 21) Tanaka Y, Hongo K, Tada T, Nagashima H, Horiuchi T, Goto T, Koyama J, Kobayashi S : Radiometric analysis of paraclinoid carotid artery aneurysms. *J Neurosurg* **96** : 649-653, 2002.
- 22) Tanaka Y, Hongo K, Tada T, Kakizawa Y, Kobayashi S : Protective dural flap for bone drilling at the paraclinoid region and porus acusticus—technical note. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **43** : 416-418, 2003.

要 旨

傍鞍部内頸動脈瘤の手術—視神経の温存—

堀内 哲吉

傍鞍部内頸動脈瘤外科治療の多くは、血管内で施行されている。しかし、全例において血管内治療が可能ではなく、直達治療が必要な症例が存在する。傍鞍部周囲には視神経などの重要構造物があり、局所解剖の知識が必要である。直達手術においては、視野欠損や視力低下などの合併症が問題となるが、そのメカニズムは不明な点が多い。本稿では、視神経・視交叉への血流障害の観点から眼動脈ならびに上下垂体動脈について解説を行った。また、実際の直達治療方法についても提示した。

脳外誌 **28** : 391-397, 2019