Pterional keyhole による未破裂中大脳動脈瘤 clipping 術 —3次元CT angiographyとosteostomy techniqueによる 術前 planningの重要性—

森 健太郎¹, 山本 拓史¹, 中尾 保秋¹, 本間圭一郎²
大山 一孝¹, 江崎 孝徳¹, 丹下 祐一¹

Pterional Keyhole Clipping for Unruptured Middle Cerebral Artery Aneurysms: Importance of Pre-operative Planning Using Three-dimensional CT Angiography with Osteostomy Technique

Kentaro MORI, M.D.,¹ Takuji YAMAMOTO, M.D.,¹ Yasuaki NAKAO, M.D.,¹
Keiichirou HONMA,² Kazutaka OYAMA, M.D.,¹ Takanori ESAKI, M.D.,¹ and
Yuichi TANGE, M.D.¹

Departments of ¹Neurosurgery and ²Radiology, Juntendo University Shizuoka Hospital,
Shizuoka, Japan

Summary: The pterional keyhole approach was used to clip 55 cases of relatively small unruptured aneurysms of the middle cerebral artery (MCA). Three-dimensional (3D) computed tomography angiography and 3D bone imaging with osteostomy technique were used for the pre-operative planning. The spatial relationship between the aneurysm dome and the sphenoid ridge is particularly important to determine the optimal location of the keyhole. The 55 MCA aneurysms were classified into 3 subgroups based on their relationship to the sphenoid ridge, namely sylvian type (25 cases), infra-sylvian type (22 cases), and supra-sylvian type (8 cases). The pterional keyholes were made according to the subtypes to perform minimally invasive clipping procedures. The optimal size and location of the keyholes were determined in each case. The diameter of the pterional mini-craniectomy was as small as 25 mm. One patient developed temporary mild hemiparesis, and 2 patients suffered from incomplete frontalis muscle weakness. No shaving of scalp hair, drain placement, or anticonvulsive agent administration were required. Most patients were discharged by the 3rd post-operative day without functional neurological deficits.

The pterional keyhole approach based on pre-operative imaging allows minimally invasive clipping surgery for unruptured MCA aneurysms.

Key words:

- cerebral aneurysm
- middle cerebral artery
- keyhole
- clipping

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 36: 475-481, 2008

¹順天堂大学医学部附属静岡病院 脳神経外科, ²同 放射線科(受稿日 2008.5.9)(脱稿日 2008.9.9)[連絡先: 〒410-2295 静岡県伊豆の国市長岡 1129 順天堂大学医学部附属静岡病院 脳神経外科 森 健太郎] [Address correspondence: Kentaro MORI, M.D., Department of Neurosurgery, Juntendo University Shizuoka Hospital, 1129 Nagaoka, Izunokuni, Shizuoka 410-2295, Japan]

はじめに

われわれが開発し発表してきた pterional keyhole clipping 術は無剃髪にて、眼窩周辺部に約 40 mm の皮膚切開を置き、側頭筋の部分的剥離と後方への牽引を施行し、pterion 前方部に約 25 mm の mini-craniectomy を施行して中大脳動脈瘤の clipping 術を施行する低侵襲手術である (Fig. 1A, B)⁴⁻⁷⁾。硬膜切開は約 22 mm と制限されるため、設定する pterional keyhole の最適の位置は動脈瘤の位置や sphenoid ridge の発達程度などによって微妙に違っており患者ごとに術前に正確に決めておく必要がある。特に動脈瘤の体部が, sylvian fissure 内に存在するのか, 側頭葉内あるいは前頭葉内に埋没して存在するのかの術前診断は pterional keyhole の設定部位の決定上できわめて重要である。今回, われわれは 55 例の未破裂中大脳動脈瘤に対する pterional keyhole による clipping 術の経験から, keyhole の設定部位を 3 次元 CT angiography (three-dimensional computed tomography angiography: 3D-CTA) と osteostomy technique を用いて決定する術前シミュレーション法と実際の手術方法とその結果について報告する。

対象と方法

当施設では安全上の問題から, keyhole による clipping 術は比較的小さな未破裂脳動脈瘤に適応を制限している。したがって, 基本的に対象は直径 5 mm から 10 mm の小

さな中大脳動脈瘤であるため, 脳血管撮影は施行しない。手術適応は日本脳ドック学会の脳ドックガイドライン 2003 に従い, 2 回以上にわたって患者および家族に経過観察も選択肢の 1 つであることも説明したうえで手術の希望がある場合に限って施行した。今回は 52 人の患者 (女性 43 例, 男性 9 例, 年齢は 43 歳から 78 歳で平均 62.9 歳) に 55 例の未破裂中大脳動脈瘤に対して pterional keyhole clipping 術を施行した症例を対象とした。

3 次元 CT angiography と osteostomy technique による術前 planning

helical CT にて施行した 3D-CTA と bone image の画像 data を work station に転送したのち, 両者の画像を統合する。pterional keyhole が作成される予定の fronto-orbito-zygomatic region に osteostomy technique を用いて人工的に骨窓を作成することによって, 動脈瘤が観察しうる最適の keyhole の位置, 大きさ, 頭部回転角度 (たいていは 30 度から 45 度) をシミュレーションし決定する。その際に重要なことは, 中大脳動脈瘤の体部が Sylvius 裂内に存在するか, あるいは側頭葉内や前頭葉内に埋没しているかを推測することである。そのためには, 動脈瘤と sphenoid ridge との空間的位置関係に注意する。すなわち, 動脈瘤体部が sphenoid ridge とほぼ同位置に存在するか, あるいは動脈瘤体部が sphenoid ridge より下あるいは上に存在しているかに注目することである。われわれは, 便宜的に中大脳動脈瘤が sylvian fissure 内に存在するものを

Fig. 1 Illustrations showing the pterional keyhole for clipping of unruptured middle cerebral artery aneurysm.

A: Safety zone to avoid damage to the frontal branch of the facial nerve (green dotted line). Periorbital skin incision (red line). Area of the temporal muscle periosteal dissection (brown shading).

B: Minicraniectomy in the pterion (pterional keyhole).

The temporal muscle is retracted posteriorly with the skin using galeal hooks.

A | B

Fig. 2 Preoperative 3D osteostomy planning images showing the 3 types of aneurysm of the middle cerebral artery through the bone window in the pterion.

A: Sylvian type, aneurysm dome located at the level of the sphenoid ridge.

B: Infra-sylvian type, aneurysm dome located below the level of the sphenoid ridge.

C: Supra-sylvian type, aneurysm dome located above the level of the sphenoid ridge.

Arrowheads: sphenoid ridge.

“sylvian type”, sphenoid ridge より下で側頭葉内に埋没しているものを “infra-sylvian type”, sphenoid ridge より上で前頭葉内に埋没しているものを “supra-sylvian type” と3つに分類している。また, sphenoid ridge の発達 の程度を把握しておくとともに, その削除範囲もあらかじめ決定しておく。Fig. 2 にこれら3種類の type の中大脳動脈瘤の術前 planning image を提示する。このように術前シミュレーションで脳動脈瘤を3種類の type に分類する理由は, 手術方法の項で説明するように type によって pterional keyhole の設定部位が違うからである。

手術方法

pterional keyhole による中大脳動脈瘤の clipping 術の概要は以前に報告している⁴⁻⁷⁾。皮膚切開に関しては, 重要なことは顔面神経前頭枝 (frontal branch of facial nerve: FBFN) の損傷を避けるために眼窩外上側部から 16 mm, frontozygomatic suture より 18 mm, 頬骨弓基部より 15 mm の範囲以内を安全域として設定して, 皮膚切開をその範囲以内にとどめることである (Fig. 1A)。以前は眼窩外側部での複雑な outer canthal skin incision を施行していたが, 最近では整容的観点から FBFN の安全域内で皮膚

の relaxed skin tension line に沿った単純な periorbital skin incision を施行している (Fig. 1A)。側頭筋筋膜の附着部を superior temporal line に沿って約 1 cm 剥離したのち, 筋膜を皮膚切開に沿って切開して側頭筋を露出し, 筋肉を後方に牽引しながら fronto-orbito-zygomatic region にて Fig. 1A に示している斜線部に限局的に subperiosteal dissection を施行し pterion 前方部の骨を露出する。pterion 部に burr hole を穿ち, sphenoid ridge の外側端を露出したのち high speed drill にて burr hole 前方に直径約 25 mm の mini-craniectomy を施行する (Fig. 1B)。Fig. 3 の頭蓋骨モデルで示すように pterion から parieto-sphenoid suture にかけての部分の頭蓋骨内側部は sphenoid ridge の外側端に一致し, その上方には frontal dura が, 下方には temporal dura が存在する。術前 planning にて動脈瘤が sylvian type と判明した場合は, sphenoid ridge の上下にて frontal dura と temporal dura が均等かやや frontal dura が多めになるように硬膜を露出する (Fig. 4A)。infra-sylvian type の場合は約 2 対 1 の割合で temporal dura 中心に硬膜を露出し (Fig. 4B), 逆に supra-sylvian type の場合は約 2 対 1 の割合で frontal dura 側を中心に出ることである (Fig. 4C)。一方, sphenoid ridge

Fig. 3 Skull model showing the 3 types of pterional keyholes. Semitransparent plastic skull model showing the locations of the 3 types of pterional keyholes. The sylvian type keyhole (black circle) extends equally to both sides of the sphenoid ridge, the infra-sylvian keyhole (red circle) is mainly located below the sphenoid ridge, and the supra-sylvian type keyhole (green circle) is mainly located above the sphenoid ridge. Arrowheads indicate the location of the lateral end of the sphenoid ridge. SS: squamosal suture, CS: coronal suture, PS: parietosphenoidal suture, FS: frontosphenoidal suture, FZ: frontozygomatic suture, P: pterion.

も osteostomy technique による術前 planning に従って削除するのであるが、たとえば動脈瘤が short M1 の場合のように中枢側に存在する場合は、sphenoid ridge を内側に向かって多めに削除しておく必要がある。硬膜切開を施行し、Sylvius 裂を開放するのであるが、この場合 superficial middle cerebral vein を常に前頭葉側で開放する必要はなく、特に Broca 領域を還流する frontosylvian vein を温存するためには場合によっては側頭葉側やあるいは静脈間で解放する必要もある。clipping の際には、keyhole を介する狭い working angle における clipping 操作のため、shaft type の clip applicator (XS Applier; Aesculap AG & Co. KG, Tuttlingen, Germany) を用いるようにしている。動脈瘤の clipping 後には fibrin 糊で固めた SURGICEL® sheet (ETHICON, INC.) と fibrin 糊を用いて開放した Sylvius 裂部の arachnoid plasty を施行する。硬膜を water tight に縫合する。craniectomy 部は 1 つの titanium plate で閉じるが、剥離された部分の側頭筋の萎縮によるこめかみ部の dimple の形成を予防するため plate は外向かって膨らみを持つように形成してから使用する。側頭筋膜と前頭筋は 4-0 Vicril®, 皮下組織は 5-0 の polydioxanone 吸収糸 (PDS, ETHICON, INC.), 皮膚は 6-0 nylon にて縫合するが、ドレーンは留置しない。手術翌日には CT と diffusion 法を含む MR を施行し、術後出血や脳梗塞

Fig. 4 Operative findings of the sylvian (A), infra-sylvian (B), and supra-sylvian types (C) of pterional keyholes. Arrow: sphenoid ridge (partially removed), F: frontal dura, T: temporal dura.

Fig. 5 Photographs obtained during pterional keyhole surgery for an unruptured left middle cerebral artery aneurysm.

A: Black line indicates the orbit, zygomatic arch, superior temporal line, and frontozygomatic suture. Green dotted line shows the safety zone to avoid damage to the frontal branch of the facial nerve. Red line is the planned skin incision.

B: Dural incision and exposed frontal and temporal lobes.

C: After neck clipping of the middle cerebral artery aneurysm.

D: Mini-craniectomy sealed by a single titanium miniplate.

などの合併症がないことを確認するとともに、3D-CTAを施行してclippingの状態を確認する。問題なければ、手術後第2あるいは第3日目に退院する。抗てんかん剤の投与はせず、第7日目に外来にて抜糸する。約1カ月間、創部のテーピング固定をする。Fig. 5およびFig. 6にpterional keyholeによる未破裂中大脳動脈瘤(sylvian type)の代表例の術前、術中、術後写真を提示する。

結 果

今回pterional keyholeによりclippingされた55例の中大脳動脈瘤のtypeは、sylvian typeが25例(45.5%)、infra-sylvian typeが22例(40.0%)、supra-sylvian typeが8例(14.5%)であった。Table 1にこれら3群の手術結果を提示する。3群間の各結果について1元配置分散分析(ANOVA)で比較検討したが、年齢のみsupra-sylvian typeで有意($P < 0.05$)に若かった以外は、3群間で有意の差を認めた項目はなかった。動脈瘤の大きさはsylvian typeに比べて、ややinfraおよびsupra-sylvian typeが大きい傾向があった。施行されたkeyholeの最大径と最小径は3群とも約25-23mm程度であり有意の差は認めなかつ

た。手術時間はsylvian typeに比べinfraおよびsupra-sylvian typeでは約15分程度長く、これは脳に埋没した動脈瘤を剥離するのに要した時間と思われる。53例(96.4%)でcomplete neck clippingが施行され、1例は穿通枝の温存のためreck remnantとなり、1例は血マメ状動脈瘤であったためwrappingにとどまった。1例において、術後穿通枝の障害による空洞性脳梗塞のため一過性の不完全片麻痺(RIND)をきたした。初期にFBFNの障害による不完全な前頭筋の障害を2例(3.6%)で認めたが、FBFNの安全域を設定してから皮膚切開を置くようになってから、残存するような前頭筋の麻痺は認めていない。術後に施行されたMR検査にて2例(3.6%)で空洞性脳梗塞(1例はRIND、1例は無症状)を認めたが、CT検査を含めて出血性の合併症や手術操作による脳挫傷などの異常は認めなかった。RINDを呈した患者(18日)を除くと、平均術後在院日数は3群間に差は認めず第2または第3日目までに退院できた(1例は手術翌日に退院)。したがって、術後3カ月の時点における結果は死亡率0%であり、前頭筋の不完全麻痺を除く障害はまったく認めず全例問題なく社会復帰している。

Fig. 6 A: Postoperative three-dimensional (3D) bone image showing the pterional keyhole sealed by a single titanium miniplate.
B: Postoperative 3D angiography showing the clipping of left middle cerebral artery aneurysm.
C: Photograph on the day after the surgery.
D: Photograph at 3 months after the surgery.

Table 1 Summary of 55 pterional keyhole clipping for unruptured middle cerebral artery aneurysm

Type of aneurysm	Sylvian type	Infra-sylvian type	Supra-sylvian type	Total
Cases (%)	25 (45.5)	22 (40.0)	8 (14.5)	55
Age years [Mean]	65.2 ± 6.5	62.6 ± 8.8	56.4 ± 9.1*	43 ~ 78 [62.9 ± 8.3]
Aneurysm size (mm) [Mean]	6.3 ± 1.8	7.1 ± 1.9	7.0 ± 2.1	3 ~ 11 [6.7 ± 1.9]
Size of keyhole (mm)				
Maximum diameter	24.3 ± 1.8	25.3 ± 3.9	25.5 ± 2.6	24.9 ± 2.9
Minimum diameter	22.5 ± 1.9	23.0 ± 3.0	23.4 ± 2.8	22.8 ± 2.5
Operation time (min)	161 ± 26	180 ± 37	175 ± 43	171 ± 34
Hospitalization (day)	2.2 ± 0.5	2.5 ± 0.8	2.5 ± 1.1	2.4 ± 0.7

Values are mean ± standard deviation, *P<0.05 (One way analysis of variance)

考 察

keyhole conceptに基づく“keyhole”とは、開頭部位の大きさを鍵穴の大きさにすることではなく、頭蓋内病変に到達し治療する surgical corridor を提供するために必要な適正部位に設定された必要最小限の開頭部分を keyhole と定義している⁸⁾⁹⁾。通常の前頭側頭開頭術による中大脳動脈の clipping 術では問題となることはないが、pterional

keyhole による clipping 術では直径 25 mm の mini-craniectomy の設定部位の微妙な違いが問題となる。われわれも pterional keyhole による clipping 術を始めた当初は、硬膜切開を施行したのちに動脈瘤の位置によっては、再び keyhole を前頭骨側あるいは側頭骨側に削り加えなければならない場合があった。この経験から、infra-sylvian type の場合は動脈瘤が側頭葉に埋没しているために側頭葉を下方に retract する必要から、あらかじめ keyhole を側頭葉

側に大きく設定する必要があり、逆に supra-sylvian type の場合は動脈瘤が前頭葉内に埋没しているために前頭葉を上方に retract する必要から keyhole を前頭葉側に大きく設定する必要があることが判明した。3D-CTA と skull bone image を組み合わせた画像に osteostomy 法を使って keyhole の部位を術前シミュレーションする過程において、特に動脈瘤体部と sphenoid ridge との位置関係から中大脳動脈瘤を sylvian type, infra-sylvian type, supra-sylvian type の3種類に分類することによって、必要最小限の mini-craniectomy で動脈瘤の展開と clipping が可能となった。

一般に、keyhole surgery では、頭蓋内病変に対する working space は確保しうが、病変部をいろいろな角度から観察し処置するための working angle が狭くなるという欠点が指摘されている³⁾。しかしながら、今回の検討では比較的小さな未破裂の中大脳動脈瘤に対しては、術前に planning image で設定する keyhole の部位や大きさの検討を十分に行えば、必要最小限の手術侵襲で安全に clipping 術が可能であることも事実である。clipping 術の原則として、clipping 前に親動脈 (M1) を確保することは keyhole clipping 術でも同様である。しかしながら keyhole を介しての狭い working space での proximal control は通常開頭術に比べ困難であるため、われわれは術前検査から temporary clip が必要な症例や、不整形の動脈瘤で multiple clipping が必要と考えられる症例に対しては、keyhole clipping 術ではなく、通常開頭術による clipping 術を選択するようにしている。

pterional keyhole に使われる皮膚切開 (periorbital あるいは outer canthal skin incision) による瘢痕の長期的観察や患者の満足度など整容的観点についての検証は現在追跡調査中である。

pterional keyhole を用いた clipping 術は Cheng ら¹⁾も提唱しているが、彼らの方法では皮膚切開を hair line に施行して側頭筋の一部を前方に牽引して pterion 部を露出しているが、この方法では前方に翻転された側頭筋が keyhole 部分に被さる欠点がある。また、orbital osteostomy²⁾を用いた keyhole clipping 術も提唱されているが、通常の中大脳動脈瘤の clipping 術では眼窩外側部の osteostomy を必要とすることはない。

結 語

未破裂中大脳動脈瘤に対して直径約 25–23 mm の大きさの pterional keyhole による clipping 術を施行し、1 例の RIND の合併例を除く全例が術後 3 日目 (平均 2.4 ± 0.72 日) までに退院できた。3D-CTA と skull bone image を組み合わせた画像に osteostomy 法を使って keyhole の部位を術前シミュレーションすることによって、中大脳動脈瘤を sylvian type, infra-sylvian type, supra-sylvian type の3種類に分類することによって、必要最小限の mini-craniectomy にて動脈瘤の展開と clipping が施行できた。症例ごとに適切な位置に keyhole を設定することによって、比較的小さな未破裂中大脳動脈瘤を安全にかつ必要最低限の手術侵襲で clipping することが可能である。

文 献

- 1) Cheng WY, Lee HT, Sun MH, *et al*: A pterion keyhole approach for the treatment of anterior circulation aneurysms. *Minim Invasive Neurosurg* 49: 257–262, 2006
- 2) Dare AO, Landi MK, Lopes DK, *et al*: Eyebrow incision for combined orbital osteostomy and supraorbital minicraniotomy: Application to aneurysms of the anterior circulation? Technical note. *J Neurosurg* 95: 714–718, 2001
- 3) Figueiredo EG, Deshmukh V, Nakaji P, *et al*: An anatomical evaluation of the mini-supraorbital approach and comparison with standard craniotomies. *Neurosurgery* 59 (4 Suppl 2): ONS212–ONS220, 2006
- 4) 森 健太郎: Keyhole concept に基づく脳動脈瘤 clipping 術—前方循環脳動脈瘤に対する 3 種類の keyhole—。脳神経外科 36: 393–406, 2008
- 5) 森 健太郎, 山本拓史, 中尾保秋, ほか: 未破裂脳動脈瘤に対する Overnight 手術を目標とした Keyhole clipping 術の開発。脳卒中の外科 36: 50–57, 2008
- 6) 森 健太郎: Keyhole clipping 術 (Supraorbital keyhole と Pterional keyhole)。脳外誌 16: 944–953, 2007
- 7) Mori K, Osada H, Yamamoto T, *et al*: Pterional keyhole approach to middle cerebral artery aneurysms through an outer canthal skin incision. *Minim Invasive Neurosurg* 50: 195–201, 2007
- 8) Perneczky A, Muller-Forell W, van Lindert E, *et al*: Current strategies in keyhole and endoscope-assisted microneurosurgery. *in* Perneczky A (ed): *Keyhole Concept in Neurosurgery*. Stuttgart: Thieme Medical Publishers, 1999, pp37–51
- 9) Reisch R, Perneczky A, Filippi R: Surgical technique of the supraorbital key-hole craniotomy. *Surg Neurol* 59: 223–227, 2003