原 著

脳動脈瘤手術による穿通枝障害

牛越 聡, 藤原 浩章, 三平 剛志
曲沢 聡, 鈴木 明文, 安井 信之

Injury to Perforating Artery During Aneurysmal Surgery

Satoshi USHIKOSHI, M.D., Hiroaki FUJIWARA, M.D., Takeshi SAMPEI, M.D.,
Satoshi MAGARISAWA, M.D., Akifumi SUZUKI, M.D., and Nobuyuki YASUI, M.D.

*Department of Surgical Neurology, Research Institute for Brain and Blood Vessels-Akita,
Akita, Japan*

Summary: Injuries to perforating arteries are one of the most frequent complications during aneurysmal surgery. Extreme care should be taken to avoid them. Out of 366 cases that underwent radical surgery for cerebral aneurysms, 33 were reviewed that had circulatory impairment of perforating artery (confirmed by CT scan). Of the 33 cases, 18 were internal carotid artery (the incidence was 14.2%), 2 middle cerebral artery (1.3%), 2 horizontal portion of anterior cerebral artery (40%), 6 anterior communicating artery (5.3%), and 5 basilar artery aneurysms (9.3%).

The causes of injury to perforating artery were as follows: insufficient identification of the perforator (9 cases), improper retraction of the brain or vessels (9 cases), temporary occlusion (5 cases), kinking or stenosis due to the clip (5 cases), premature rupture (2 cases), and others (3 cases). A neurological deficit remained in 39.3% of the cases; a particularly high incidence was noted in anterior thalamoperforating artery injuries, anterior choroidal artery injuries, and recurrent artery of Heubner injuries.

In order to reduce perforator injuries, we must manipulate carefully, approach by the minimal brain retraction method, avoid using temporary clipping, and identify perforating artery sufficiently (e.g. using endoscope).

Key words:

- perforating artery
- cerebral aneurysm
- microsurgery
- complication

はじめに

破裂脳動脈瘤の予後不良因子の一つに、脳血管攣縮などとならんで手術操作に伴う合併症があげられる¹⁶⁾。また未破裂動脈瘤の治療においても、術後神経脱落症状をきたすのは手術操作に起因することが多い¹⁵⁾。そこで、脳動脈瘤の手術合併症の中でも最も頻度の高いものの一つである穿通枝障害につき、その頻度、原因、臨床症状、および対策について検討し、報告する。

対象および方法

1986年1月より1991年9月までの間に根治術を施行した脳動脈瘤366症例463個の中で、術後のCTにて、手術操作による穿通枝障害と思われる低吸収域の出現した33症例(9.2%)を対象とした。男9例、女22例。年齢は30~78歳、平均57.6歳であった。術前の重症度は、Hunt & Kosnik (H & K) Grade 2-14例、3-8例、4-4例、5-1例で、未破裂例-6例であった。動脈瘤部位の内訳およびその頻度は内頸動脈18例(14.2%)、中大脳動脈2例

(1.3%), 前大脳動脈水平部 2 例 (40%), 前交通動脈 6 例 (5.3%), 脳底動脈 5 例 (9.3%) であった (Table 1)。

障害された穿通枝およびその原因となった手術操作は手術前後の CT, 脳血管撮影, 手術所見, 術中ビデオをもとに決定し, これらを主に approach 法の違いという観点から, 1. 内頸動脈・中大脳動脈・前大脳動脈水平部動脈瘤, 2. 前交通動脈瘤, 3. 脳底動脈瘤の 3 群に分けて検討した。

穿通枝障害による後遺症は, 脳血管攣縮, 全身合併症といった他の原因により予後不良となった症例を除いた 28 例において, 術後 3 カ月の時点で判定した。

なお, 破裂動脈瘤症例では, 急性期手術を原則としている。また, vasospasm の予防を目的とした積極的なクモ膜下血腫除去は行っておらず, 血腫除去操作に起因した穿通枝障害例はない¹⁸⁾。

代 表 症 例

<症例 1> 59 歳, 男性 (Fig. 1)

突然の激しい頭痛, 嘔気で発症し, day 3 に当科入院となった。CT, 脳血管撮影で, 左内頸動脈-後交通動脈分岐部動脈瘤破裂によるクモ膜下出血の診断となり, 同日術前重症度 Grade 2 (H & K) で手術を施行した。left trans sylvian approach により, 左内頸動脈-後交通動脈分岐部より後方に突出する動脈瘤に Sugita No. 18 の clip をかけたが, 後交通動脈近位部より分岐する穿通枝は確認できなかった。術直後より右片麻痺が出現し, CT で anterior thalamoperforating artery 域に低吸収域が認められ, 脳血管撮影でも術前に描出されていた anterior thalamoperforating artery の閉塞が確認された。中等度の右不全片麻痺を後遺した。

<症例 2> 34 歳, 男性 (Fig. 2)

突然の頭痛, 意識障害で発症し, 某医搬入された。CT にてクモ膜下出血の診断となり, 当科に紹介入院となった。脳血管撮影にて前交通動脈瘤が認められ, 同日術前重症度 Grade 3 (H & K) で緊急手術を施行した。手術は basal interhemispheric approach により行い, 左 A₁-A₂ junction より前方に突出する動脈瘤を認めたが, premature rupture をきたし, point-suction にて neck clipping を行うも, この際 dome と強く癒着していた左 recurrent artery of Heubner を閉塞した。術後の CT で同領域に低吸収域が出現したが, 幸い神経脱落症状は認められなかった。

<症例 3> 65 歳, 女性 (Fig. 3)

頭痛を主訴に某医を受診し診察中に突然意識消失をきたし, 当科に紹介搬入された。CT, 脳血管撮影で破裂脳底動脈-左上小脳動脈分岐部動脈瘤 (H & K Grade 4) の診断

Table 1 Site of aneurysm

IC	18/127	(14.2%)
MC	2/147	(1.3%)
A ₁	2/5	(40.0%)
Acom	6/112	(5.3%)
BA	5/54	(9.3%)
Others	0/18	(0%)
Total	33/336	(9.2%)

IC: internal carotid artery, MC: middle cerebral artery, A₁: anterior cerebral artery horizontal portion, Acom: anterior communicating artery, BA: basilar artery.

Fig. 1 Case 1. A: CT scan on admission. B: Postoperative CT scan shows a low density area at the anterior pole of the thalamus and the anterior portion of the posterior limb of the internal capsule on the left. C, D: Pre- and postoperative left carotid angiogram (lateral view) shows a small branch arising from the posterior communicating artery (arrow) which is occluded postoperatively.

となった。意図的待機手術とし, day 17 に左 trans-sylvian approach にて手術を施行した。内頸動脈に脳べらをかけて内側に圧排し, 後交通動脈の外側より Yasargil No. 720 で neck clipping を行った。術直後より重度右片麻痺が出現し, CT で anterior thalamoperforating artery 領域に低吸収が認められた。内頸動脈および後交通動脈の圧排による穿通枝の循環障害と考えられた。

結 果

1. 内頸動脈・中大脳動脈・前大脳動脈水平部動脈瘤

これらはいずれも trans-sylvian approach にて clipping を行った。障害された穿通枝は, anterior thalamoperforating artery 7 例, anterior choroidal artery 7 例, lateral

Fig. 2 Case 2. A, B: Preoperative CT scan and left carotid angiogram (anteroposterior view). C: Postoperative CT scan shows a low density area at the anterior portion of the caudate nucleus and the anterior limb of the internal capsule on the left. D: Postoperative left carotid angiogram (anteroposterior view).

Fig. 3 Case 3. A, B: CT scan and left vertebral angiogram (anteroposterior view) on admission. C: Postoperative CT scan shows a low density area at the anterior pole of the thalamus and the most anterior portion of the posterior limb of the internal capsule on the left. D: Postoperative left vertebral angiogram (anteroposterior view).

striate artery 3 例, medial striate artery 6 例であった (Table 2A). その原因としては, 穿通枝の確認が十分でなかったものが 9 例と最も多く, その他一時血行遮断 4 例 (不適切な neck clipping により穿通枝も同時に一時的にはさんでしまったもの 3 例, 母血管の temporary clipping 1 例), 過度の脳圧排により穿通枝が伸展され血流障害を引き起こしたもの 4 例, clip による穿通枝の kink あるいは stenosis 4 例, 穿通枝が動脈瘤の dome より直接でており犠牲にせざるをえなかったもの 1 例であった (Table 2B).

2. 前交通動脈瘤

穿通枝障害をきたした前交通動脈瘤のうち 5 例は interhemispheric approach にて, 多発性動脈瘤の 1 例は trans-sylvian approach にて clipping を行った. 障害された穿通枝は recurrent artery of Heubner が 5 例 (両側障害例 1 例) であった (Table 3). 原因としては premature rupture 2 例, temporary clipping 1 例, clip が母血管側に slip し, その穿通枝の閉塞をきたしたもの 1 例, clip による kinking 1 例であった. また, 原因は不明であるが脳梁膝部に低吸収域の出現したものが 1 例あった.

3. 脳底動脈瘤

穿通枝障害をきたした脳底動脈瘤 5 例の内訳は, 脳底動脈分岐部 1 例, 脳底動脈-上小脳動脈分岐部 4 例であった (Table 4). いずれも trans-sylvian approach により, 前者は視神経と内頸動脈の間より, 後者は後交通動脈の外側より clipping を行った. 障害された穿通枝は lateral striate artery 1 例, anterior thalamoperforating artery 4 例であった. これらはいずれも clipping 操作とは直接関係のない部位の穿通枝であり, 脳あるいは血管の圧排による循環障害が原因と考えられた.

4. 神経脱落症状

術後 3 カ月の時点でなんらかの神経脱落症状が認められた症例は 11 例 (39.3%) で, これは全動脈瘤手術症例の 3.0% に相当した. anterior thalamoperforating artery, anterior choroidal artery, recurrent artery of Heubner の障害で各 50% と高頻度で, lateral, および medial striate artery 障害ではそれぞれ 25%, 0% と少なかった (Table 5). 後遺症の内訳は, 対側の不全片麻痺 9 例, 見当識障害 2 例であった.

考 察

近年, 穿通枝の微小外科解剖に関する多数の報告が認められ^{1)7)9)~13)}, その重要性が強調されている. 脳動脈瘤手

術においても、しばしばその温存が問題となる。今回のわれわれの検討では366例中、33症例9.2%と見た以上に高頻度の手術による穿通枝障害が認められ、これは動脈瘤手術合併症のうちで、最も多いものであった。穿通枝障害による後遺症は39.3%で認められ、これは全動脈瘤手術症例の3.0%にすぎないが、術中に、どの穿通枝の障害でどのような後遺症を呈するかの判断は不可能である。また基本的に、動脈瘤手術においては、いかなる血管も損傷すべきではなく、穿通枝障害は極力避けなければならない。そこで今回その原因、対策について検討した。

trans-sylvian approach⁶⁾でclippingを行ったanterior circulationの動脈瘤では、その確認が不十分となった穿通枝の障害が9例と最も多く、特に、anterior thalamoperforating artery, anterior choroidal arteryの確認が問題となることが多かった。後交通動脈からは平均7~8.5本の穿通枝が分岐し、その本数は後交通動脈の太さに関係せず、

Table 2A Injured perforating arteries in cases of IC, MC, and A₁ aneurysms*

	A. Tha. P	A. ch	LSA	MSA
IC	7	7	1	4
PC	6	—	—	1
A. ch	—	4	—	—
terminal	—	1	—	3
duplicated MC	—	—	1	—
giant	1	2	—	—
MC	—	—	2	—
A ₁	—	—	—	2
Total	7	7	3	6

(*: All operations were performed via a trans-sylvian approach).

IC: internal carotid artery, MC: middle cerebral artery, A₁: anterior cerebral artery horizontal portion, PC: posterior communicating artery, A.ch.: anterior choroidal artery, A. Tha. P.: anterior thalamoperforating artery, LSA: lateral striate artery, MSA: medial striate artery.

Table 2B Relationship between the causes of perforator injury and the location of aneurysm

	IC							Total
	PC	A.ch.	terminal	duplicated MC	giant	MC	A ₁	
insufficient identification of perforator	4	1	1	—	1	1	1	9
temporary occlusion of perforator or parent artery	2	1	—	—	—	1	—	4
brain retraction	1	—	2	1	—	—	—	4
kinking of perforator	—	2	1	—	—	—	1	4
perforators arise from aneurysmal dome	—	—	—	—	1	—	—	1
Total	7	4	4	1	2	2	2	

IC: internal carotid artery, MC: middle cerebral artery, A₁: anterior cerebral artery horizontal portion, A.ch.: anterior choroidal artery.

Table 3 Summary of the cases of Acom aneurysm with the perforator injury

	Age/Sex	Approach	Perforator	Cause
1	65/M	AIH	RAH	premature rupture
2	34/M	BIH	RAH	premature rupture
3	64/F	AIH	RAH	temporary clipping
4	57/M	BIH	bilateral RAH*	slipping of clip
5	55/M	AIH	unknown**	unknown
6	47/F	TS	RAH	kinking

M: male, F: female, AIH: anterior interhemispheric approach, BIH: basal interhemispheric approach, RAH: recurrent artery of Heubner, TS: trans-sylvian approach, *: bilateral A₂ territory was also involved, **: infarction of the genu of corpus callosum.

Table 4 Summary of the cases of basilar aneurysm with perforator injury

	Age/Sex	Site of aneurysm	Injured perforator	Cause
1	57/F	Ba-top	LSA	brain retraction
2	65/F	Ba-SCA	A.Tha.P.	retraction of IC
3	57/F	Ba-SCA	A.Tha.P.	retraction of IC
4	56/F	Ba-SCA	A.Tha.P.	retraction of IC
5	66/F	Ba-SCA	A.Tha.P.	retraction of IC

All operations were performed via a trans-sylvian approach. Case 1: between the optic nerve and the internal carotid artery. Case 2-5: lateral to the posterior communicating artery. M: male, F: female, IC: internal carotid artery, BA: basilar artery, A.Tha.P.: anterior thalamoperforating artery, LSA: lateral striate artery, SCA: superior cerebellar artery.

Table 5 Cases with neurological deficit
(3 months after operation)

A.Th.a.P	4/8	(50%)
A.ch.	3/5	(60%)
RAH	2/4	(50%)
LSA	1/4	(25%)
MSA	0/6	(0%)
unknown*	1/1	(100%)
Total	11/28	(39.3%)

*: infarction of the genu of corpus callosum.

The neurological symptom was hemiparesis in 9 cases and disorientation in 2 cases.

A.Th.a.P.: anterior thalamoperforating artery, A.ch.: anterior choroidal artery, RAH: recurrent artery of Heubner, LSA: lateral striate artery, MSA: medial striate artery.

また、前半部により多くの穿通枝が存在する。そのうち最も存在頻度が高く、大きな穿通枝が、anterior thalamoperforating artery (premamillary artery, thalamotuberal artery)と呼ばれ、内頸動脈から2~6 mmの部位より分岐する¹⁰⁾¹³⁾。anterior choroidal arteryは通常1本、ときに数本存在し、そのcisternal segmentから、cerebral peduncle, temporal lobe, anterior perforating substance等へ枝を出している¹²⁾。こういった解剖学的知識を念頭におくことはもちろんであるが、variationも多く、また、術前の脳血管撮影からは穿通枝と動脈瘤の位置関係を完全に把握することは困難であり、術中の確認が重要である。しかし、母血管や動脈瘤、applyしたclipの死角となりどうしても確認できない場合もあり、そういった症例では、近年開発の進んでいる超細径内視鏡の応用が期待される。その他、内頸動脈終末部や前大脳動脈水平部といった比較的高位の動脈瘤では、過度の圧排が原因となることも多く注意が必要である。また、anterior choroidal artery, striate arterial groupといった細い穿通枝は、clipによりstenosis, kinkingをきたしやすく、配慮が必要である。

前交通動脈瘤に対しては、われわれは多発性動脈瘤の場合を除き、原則的にinterhemispheric approachを用いている¹⁷⁾。本法でclippingを行う際に問題となる穿通枝には、recurrent artery of Heubnerおよび前交通動脈から分岐する穿通枝がある。これらの穿通枝の走行、本数にはvariationも多く、Perlmutterらの50例の剖検脳の観察では、recurrent artery of Heubnerは、78%はA₂から、14%はA₁から、8%は前交通動脈のlevelから分岐しており、欠損あるいは2本存在したのは、それぞれ一側ずつのみであったとしている。また、前交通動脈からは0~4本

(平均1.6本)の穿通枝が分岐しており、その大部分は上面あるいは後面から起始していた、と報告している¹¹⁾。しかし、三平ら、Nathalらの手術野での観察では、これらの穿通枝を確認しえなかった例も少なくなく、動脈瘤が両側A₂の間や後方に位置する場合にはその温存に注意が必要である、としている⁸⁾¹⁴⁾。今回の我々の検討では、premature ruptureやtemporary clippingによるrecurrent artery of Heubnerの障害が多かった。interhemispheric approachは、脳に対する圧排が少なく、侵襲の少ないapproachではあるが、術野が狭く深いため、より慎重な手術操作、手技の熟練が要求される。

posterior circulationの動脈瘤では、脳底動脈分岐部1例、脳底動脈-上小脳動脈分岐部4例で穿通枝障害が認められた。脳底動脈分岐部動脈瘤の手術では、動脈瘤周辺に存在する穿通枝として、後大脳動脈近位部(P₁)および脳底動脈のparamedian branch、とくにP₁から分岐するinterpeduncular thalamoperforating arteryの温存の重要性が強調されている¹⁾⁷⁾⁹⁾。一方、脳底動脈-上小脳動脈分岐部動脈瘤はその周辺の穿通枝が問題となることは少ないとされている。しかし今回の検討では、動脈瘤周辺に存在する穿通枝の障害をきたした症例はなく、いずれも到達経路途中にある穿通枝の障害であり、脳や血管に対するretractionが原因と考えられた。とくに、内頸動脈、後交通動脈を内側に圧排し、後交通動脈の外側よりapproachした症例で、anterior thalamoperforating arteryの障害をきたした例が4例と多かった。このapproachでは、視神経と内頸動脈の間、あるいは内頸動脈と後交通動脈の間からのapproachに比し、術野を防げる穿通枝が存在せず、安全な経路であり⁴⁾、脳底動脈分岐部動脈瘤より低位に存在することの多い脳底動脈-上小脳動脈分岐部動脈瘤ではこの経路をとることが多い。しかし、そのdistal neckが高位にある場合、内頸動脈、後交通動脈の圧排により、その穿通枝にtensionがかかり、その循環障害をきたす危険性がある。近年、zygomatic approach³⁾、orbitozygomatic approach⁵⁾、trans-cavernous approach²⁾など、種々の手術法が開発されており、症例毎に脳への侵襲が少なく、広い術野が得られるapproachを選択することが重要である。

ま と め

- 1) 脳動脈瘤手術により穿通枝障害をきたした33症例(9.2%)を検討した。
- 2) 穿通枝障害の原因には、その不十分な確認、temporary clipping, premature rupture, kinkingといったclipping操作自体によるもののほか、脳や血管のretractionによる循環障害も多かった。
- 3) 33%で神経脱落症状を遺し、anterior thalamoperforat-

ing artery, anterior choroidal artery, recurrent artery of Heubner の障害で、その頻度が高かった。

- 4) 対策として、慎重な手術操作、動脈瘤後面の十分な確認、最も侵襲の少ない approach の工夫が重要である。

文 献

- 1) Caruso G, Vincentelli F, Giudicelli G, *et al*: Perforating branches of the basilar bifurcation. J Neurosurg 73: 259-265, 1990
- 2) Dolenc V: Anatomy and Surgery of the Cavernous Sinus, Springer-Verlag, Wien-New York, 1989, pp 196-219
- 3) Fujitsu K, Kuwabara T: Zygomatic approach for lesions in the interpeduncular cistern. J Neurosurg 62: 340-343, 1985
- 4) 宣保浩彦, 田中雄一郎, 小林茂昭, ほか: 脳底動脈瘤手術における到達経路および穿通枝の外科解剖学的検討. 脳卒中の外科 19: 343-347, 1991
- 5) Hakuba A, Liu S, Nishimura S: The orbitozygomatic infratemporal approach-A new surgical technique. Surg Neurol 26: 271-276, 1986
- 6) 上山博康, 川村伸悟, 大田英則, ほか: 中大脳動脈瘤, 内頸動脈瘤に対する distal trans-Sylvian approach. 第 12 回脳卒中の外科研究会講演集, にゅーろん社, 東京, 1983, pp 69-74
- 7) Marinkovic S, Milisavjevic M, Kovacevic M: Interpeduncular perforating branches of the posterior cerebral artery. Surg Neurol 26: 349-359, 1986
- 8) Nathal E, Yasui N, Sampei T, *et al*: Intraoperative anatomical studies in patients with aneurysms of the anterior communicating artery complex. J Neurosurg 76: 629-634, 1992
- 9) Pedroza A, Dujovny M, Ausman JI, *et al*: Microvascular anatomy of the interpeduncular fossa. J Neurosurg 64: 484-493, 1986
- 10) Pedroza A, Dujovny M, Artero JC, *et al*: Microanatomy of the posterior communicating artery. Neurosurgery 20: 228-235, 1987
- 11) Perlmutter D, Rhoton AL Jr: Microsurgical anatomy of the anterior cerebral-anterior communicating-recurrent artery complex. J Neurosurg 45: 259-272, 1976
- 12) Rhoton AL Jr, Fujii K, Fradd B: Microsurgical anatomy of the anterior choroidal artery. Surg Neurol 12: 171-187, 1979
- 13) Saeki N, Rhoton AL Jr: Microsurgical anatomy of the upper basilar artery and posterior circle of Willis. J Neurosurg 46: 563-578, 1977
- 14) 三平剛志, 安井信之, 水野 誠, ほか: 前交通動脈瘤周囲の血管構築について—Interhemispheric approach による術中所見からの検討—. 脳卒中の外科 19: 59-64, 1991
- 15) 安井信之, 鈴木明文, 波出石弘, ほか: 未破裂動脈瘤の治療方針. 第 50 回日本脳神経外科学会総会, 京都, 1991
- 16) 安井信之: 脳動脈瘤の治療, 現代医療社, 東京, 1990, pp 29-40
- 17) 安井信之: 一私の手術法—大脳半球間裂アプローチによる前交通動脈瘤の手術法, にゅーろん社, 東京, 1991
- 18) Yasui N, Ito Z, Ohta H, *et al*: Surgical problems and pathophysiology in severcases with ruptured aneurysm in the acute stage. Acta Neurochir (Wien) 63: 163-174, 1982