コイル塞栓術後脳動脈瘤に対する開頭クリッピング術 —瘤の collapsibility の観点からの検討—

山崎 友郷¹, 加藤 徳之¹, 佐藤 允之², 松村 明²

Microsurgical Clipping for Previously Coiled Intracranial Aneurysms with Special Reference to Aneurysmal Collapsibility

Tomosato YAMAZAKI, M.D.¹, Noriyuki KATO, M.D.¹, Masayuki SATO, M.D.², and Akira MATSUMURA, M.D.²

¹Department of Neurosurgery, National Hospital Organization, Mito Medical Center, Mito, and ²Department of Neurosurgery, Faculty of Medicine, University of Tsukuba, Tsukuba, Ibaraki, Japan

Summary: Treatment for recurrent intracranial aneurysms previously treated with endovascular coiling remains challenging, and an optimal strategy remains to be established. Nine recurrent cases of previously coiled aneurysms were treated with surgical clipping at our institution. Based on the preoperative digital subtraction angiography finding, the remnant volume (V_{remnant}) and coil mass volume (V_{coil}) of each recurrent aneurysm were calculated to assess aneurysmal collapsibility. Three aneurysms were clipped on the coil mass, and the remaining 6 aneurysms were clipped below the aneurysmal neck. All 9 aneurysms were surgically treated with standard clipping. The mean (95% confidence interval) $V_{\text{coil}}/V_{\text{remnant}}$ ratio was 0.27 (0.18–0.36), suggesting that the aneurysms with <36% of the coil mass volume relative to the remnant volume were safely clipped. Clipping is still an important treatment option for recurrent coiled aneurysms if the patients are younger or found unsuitable for the endovascular approach, although preoperative angiographic examination regarding aneurysmal collapsibility should be evaluated.

Key words:

- ・ surgical clipping
- ・ clippability
- ・ collapsibility
- ・ coiled aneurysm
- ・ recurrence

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 47: 231–235, 2019

はじめに

血管内治療のデバイスや技術の進歩に伴い、脳動脈瘤に対するコイル塞栓術症例が増加しているが、コイル塞栓術の問題として再発の頻度が開頭クリッピング術に比べて高いことが挙げられる。再発症例に対する追加治療を血管内治療で行うか、開頭術で治療するかを選択については、症例ごとに検討が必要であり、それぞれの施設で多少の相違

があると思われる。当院ではこれまで破裂・未破裂脳動脈瘤に対してコイル塞栓術を第一に選択しており、再発瘤に対しても同様にまず血管内治療を考慮してきた。しかし、症例によっては開頭クリッピング術を選択しており、その経験症例から、再発瘤の形態的評価に基づくクリッピング術の可否(clippability)について検討を行い、その至適治療選択を検討したい。

¹独立行政法人国立病院機構 水戸医療センター 脳神経外科, ²筑波大学医学医療系 脳神経外科(受稿日 2017. 11. 11)(脱稿日 2018. 4. 13)
[連絡先: 〒 311-3193 茨城県東茨城郡茨城町桜の郷 280 独立行政法人国立病院機構 水戸医療センター 脳神経外科 山崎友郷] [Address
correspondence: Tomosato YAMAZAKI, M.D., Department of Neurosurgery, National Hospital Organization, Mito Medical Center, 280
Sakuranosato, Ibaraki-cho, Higashiibaraki-gun, Ibaraki 311-3193, Japan]

Fig. 1 Schematic diagram of each morphological parameter showing the coil mass volume (V_{coil}), remnant volume (V_{remnant}), coil width (C), and compaction height (H).

対象と方法

2009年4月から2017年3月までの8年間に頭蓋内脳動脈瘤(破裂あるいは未破裂瘤)に対して412例のコイル塞栓術を施行した。そのうち、follow-upの脳血管撮影上 major recanalization を認め、血管内治療による再治療を施行した症例は49例であった。一方、再治療において開頭クリッピング術を選択した症例は9例であった。当施設における再治療の基準であるが、follow-upの脳血管撮影上 Meyers scale で Grade 3-5(体積塞栓率69%以下)の症例を対象としている²⁾。加えて患者の年齢、破裂瘤か未破裂瘤か、治療の安全性、患者の希望などを総合的に考慮して治療を決定している。また、追加治療の方法については、コイル塞栓術を第一に考慮している。しかし、再発瘤の形態上バルーンやステントなどの adjunctive technique の必要性があるものの、遠位に位置し、瘤周囲の血管が細径で蛇行が強いなど、adjunctive technique の使用が容易でない再塞栓術に不向きな動脈瘤(遠位前大脳動脈瘤、一部の中大脳動脈瘤や前交通動脈瘤など)や、高い根治性が求められる若年者症例に対しては開頭クリッピング術を選択した。

本研究では、脳血管撮影所見により以下の瘤の形態的評価を行い瘤の clippability についての評価を行った。初回治療時の動脈瘤のサイズ、塞栓術時の volume embolization ratio(VER)、すでに報告されている aneurysmal clippability の評価法として coil width(C)と compaction height(H)から C/H ratio を求めた³⁾。これは three-dimensional rotation angiography(3D-RA)上、coil width(C)はコイル塊の最大横径とし、compaction height(H)は残存腔の最大縦径とした。さらに本研究では、クリップ閉鎖に伴う動脈瘤のしぼみやすさ(collapsibility)を評価した。これは再発瘤に

おける残存腔(remnant volume)が大きいほど、また、留置された coil mass volume が少ないほど、瘤はつぶれやすい(collapsible)と考え、その指標として coil mass volume (mm^3)と remnant volume(mm^3)を算出し、その比を検討した(**Fig. 1**)。coil mass volume(V_{coil})は使用したコイルのプライマリー径(P)と長さ(L)から $V_{\text{coil}} = \pi \times (P/2)^2 \times L$ の式にて算出加算した。remnant volume(V_{remnant})は瘤残存腔の横径と縦径から楕円形に近似した式を用いて $V_{\text{remnant}} = 4/3 \pi \times C/2 \times H/2 \times (C+H)/4$ にて算出したが、横径は coil width(C)、縦径は compaction height(H)と相同とした(**Fig. 1**)。

結 果

Table 1 に9例の患者背景と塞栓術時 VER, coil mass volume(V_{coil})、再発時の remnant volume(V_{remnant})、 $V_{\text{coil}}/V_{\text{remnant}}$ 比、C/H ratio、クリッピング方法などを示す。全9例で標準的なクリッピングで治療し得た。3例は clipping on coil mass で、残りの6例は neck clipping を行い、コイル塊の取り出しやバイパスを要する症例はなかった。clip on coil mass で治療した症例は、小型瘤で塞栓術時に柔軟なコイルを1-2本留置(コイル長で2-4 cm, V_{coil} で1-2 mm^3)して終了した症例であった。手術手技に伴う合併症は認めなかった。VERの平均(95%信頼区間)は23.8(15.4-32.2)、C/H ratioの平均(95%信頼区間)は1.06(0.8-1.3)、 $V_{\text{coil}}/V_{\text{remnant}}$ 比の平均(95%信頼区間)は0.27(0.18-0.36)であった。

症 例

〈Case 5〉56歳、男性。

頭重感を主訴に偶然みつかった9.2×9.0 mmの左中大脳動脈分岐部未破裂瘤の症例(**Fig. 2**)。本人の強い希望によ

Table 1 Summary of cases

Case No.	Age/sex	Initial presentation	Aneurysm location	Aneurysm size at presentation (mm)	V_{coil} (mm ³)	VER (%)	Interval	Remnant size on follow-up DSA (mm)	V_{remnant} (mm ³)	$V_{\text{coil}}/V_{\text{remnant}}$	C/H ratio	Type of clipping
1	58/M	SAH	ACoMA	3.2×2.3	2	15.2	7 days	3.2×2.3	10.7	0.19	1.1	Clipping on coil mass
2	49/F	SAH	ACoMA	1.8×1.8	1	33.2	7 days	1.8×1.8	3.05	0.33	1.0	Clipping on coil mass
3	38/F	SAH	IC-ant. choroidal A	2.1×2.1	2	39.9	10 days	2.1×2.1	4.48	0.45	1.0	Clipping on coil mass
4	43/F	SAH	VA-PICA	2.6×2.2	3	38.1	10 months	7.3×4.6	105	0.03	0.6	Neck clipping
5	60/M	UCA	MCA	9.2×9	107.6	21.1	6 years	10.4×6.6	305.3	0.35	1.6	Neck clipping
6	47/M	SAH	MCA	8×5.3	20	15	3 months	5.1×5.1	69.4	0.29	1.0	Neck clipping
7	61/F	SAH	Pericallosal A	20×10	134	8.7	7 months	9.8×9.5	470.2	0.28	1.0	Neck clipping
8	73/M	SAH	Pericallosal A	6.3×4.4	12	20.6	3 years	5.1×3.8	45.1	0.27	0.7	Neck clipping
9	40/M	SAH	IC-PcomA	2×2.5	0.7	22.3	5 months	2.2×1.5	3.2	0.22	1.5	Neck clipping

SAH: subarachnoid hemorrhage, UCA: unruptured cerebral aneurysm, ACoMA: anterior communicating artery, IC-ant. choroidal A: internal carotid artery–anterior choroidal artery, VA-PICA: vertebral artery–posterior inferior cerebellar artery, MCA: middle cerebral artery, IC-PcomA: internal carotid artery–posterior communicating artery, DSA: digital subtraction angiography, C/H ratio: coil width-to-compaction height ratio

Fig. 2 Case 5: Unruptured left middle cerebral artery aneurysm.

A | **B** | **C**
D | **E** | **F**

A: Digital subtraction angiography (DSA) image before the initial coiling.

B: DSA immediately after the initial coiling.

C: DSA image 6 years after the initial coiling demonstrated to be a recurrence of the aneurysm due to aneurysmal regrowth.

D: Intraoperative photograph showing coils inside the aneurysm.

E: The aneurysm was clipped below the neck with a straight clip and an additional angled clip.

F: The postoperative three-dimensional DSA image shows the aneurysm to be well clipped.

り初回治療は血管内治療によるコイル塞栓術を施行した。ダブルカテーテルテクニックにて塞栓し、neck remnant (VER 21.1%)にて終了した。6年後に瘤の再増大を認めた。中大脳動脈の分枝の蛇行が強く、ステント支援下でも

分枝温存は困難と考え開頭クリッピング術を選択した。塞栓術時の coil mass volume (V_{coil}) は 107.6 mm³, 脳血管撮影上の再発腔 (remnant volume [V_{remnant}]) は 305.3 mm³ で、その比は 0.35 であった。開頭の際、クリップ閉鎖に伴う

分枝閉塞ないし血流不全に備えて protective bypass のため、浅側頭動脈を graft として採取しておいた。瘤を露出後、15 mm のストレートクリップ(Sugita No. 15)にて瘤本体をクリップしたところ、硬いコイル塊のためクリップの slip in 現象が生じたが、分枝を閉塞するまでは至らなかった。ネックの小さな残存に対して5 mm のL型クリップ(Sugita No. 20)をかけて neck clipping を施行し得た。術中 indocyanine green による蛍光血管撮影にて中大脳動脈分枝の閉塞などを認めず、バイパスの吻合は行わなかった。合併症なく終了した。

考 察

コイル塞栓術後の瘤再発に対する追加治療としては、追加の塞栓術の良好な成績が報告されている⁶⁾。当院でも第一選択としており、追加治療例の58例中49例に対して血管内治療を行っている。症例によってはステント支援下に行うこともあり、過去の報告でも良好な成績が示されている⁶⁾。しかし、追加治療を血管内治療で行う場合、adjunctive technique の可否、根治性やステント使用に伴う抗血小板剤の長期使用の問題など、クリッピングと対比した相互のリスク-ベネフィットを症例ごとに検討する必要がある。

コイル塞栓術後の開頭クリッピング術の方法であるが、標準的クリッピング(neck clipping や clipping on coil mass)で治療可能なものから、瘤閉鎖のためコイルの摘出が必要な場合(clipping with coil extraction)、あるいは分枝温存のためバイパス術(clipping with protective bypass あるいは trapping with bypass)が必要な場合もある³⁾。後者になるに従い複雑な手技が要求されるが、標準的クリッピングで治療可能な症例は、過去の文献から61~86%と報告されている³⁾⁴⁾⁵⁾。標準的クリッピングで治療し得た場合、良好な治療成績を示している一方、coil extraction を要した場合、穿通枝障害や血管損傷により転帰不良につながりやすいと報告されている¹⁾³⁾。したがって、標準的クリッピングで治療可能かどうか、術前を見極めが、良好な転帰には重要である。今回、われわれのシリーズでは、全例 coil extraction を要せず、標準的クリップで治療し得ており、手術合併症の低減につながったと考えている。

neck clipping で治療可能かどうかの瘤形態的評価として、動脈瘤再発腔の形態から clippability を検討することがすでに報告されている。Owen ら³⁾は clippability の指標として、コイル塊の幅(coil width : C)と瘤の再発腔の高さ(compaction height : H)の比(C/H ratio)を挙げている。C/H ratio ≤ 2.5 であれば75%の症例で標準的クリッピングにて治療が可能であったが、C/H ratio > 2.5 の場合、70%の症例でクリップ閉鎖に伴い分枝や親血管閉塞の可能

性が高くなり、coil extraction やバイパスの併用などの複合的手技を要したとしている³⁾⁷⁾。本邦の清水ら⁵⁾は、クリップ閉鎖の可否の指標として coil mass の硬度が重要であるとし、コイル塞栓術時の VER に着目した。残存腔の形態的指標である C/H ratio < 2.0 に加えて、コイル塊の硬度の指標として VER $< 28\%$ を clippability の目安としている。今回われわれのシリーズでは全例 C/H ratio が2.0未満であったが、VER が28%以上でもクリッピングし得たものが3例あった。C/H ratio の問題点としては、コイル塊の硬度が十分に加味されないことであるが、一方、VER は小型瘤では高値を示し、瘤増大例では低値を示す傾向がある。本研究では、瘤のつぶれやすさ(collapsibility)の評価は、クリップ閉鎖に必要な瘤残存スペースとコイル塊の硬度の双方の評価が必要であると考え、coil mass volume と remnant volume から collapsibility を検討した。一般に coil mass volume が小さいほど、remnant volume が大きいほど、瘤の collapsibility は高いと考えられるが、今回クリッピングし得た9例のデータでは、remnant volume に対して coil mass volume が36%以下、つまり約3:1以下の比率であれば、クリッピングによって問題なく瘤がつぶれていることが示された。

過去の文献と今回の検討から、コイル塞栓術後の再発症例に対して開頭クリッピングを積極的に考慮すべき症例を考える。まず、再発瘤の形態上バルーンやステントなどの adjunctive technique の必要性があるが、遠位に位置し、瘤周囲の血管が細径で蛇行が強いなど、adjunctive technique の使用が容易でない再塞栓術に不向きな動脈瘤(遠位前大脳動脈瘤、一部の中大脳動脈瘤や前交通動脈瘤など)が挙げられる。また、高い根治性が要求される若年者も候補となると思われる。瘤形態的観点からは、標準的クリッピング術で治療可能な条件として、クリップ挿入スペースの点から C/H ratio < 2.0 が挙げられる。また、瘤の collapsibility という点から remnant volume と coil mass volume の比率は3:1くらいまでが望ましい。

本研究では、基本的に terminal type の瘤や、side-wall type でも血管分岐部に生じた瘤を想定している。たとえば、side-wall type で non branch の瘤は、collapsibility が低くてもクリップをかけられる可能性が高い。また、remnant 腔が著しく細長い場合などは、今回の結果は当てはまりにくい。現時点で症例数が小規模であるため、あくまでも preliminary な結果であるが、今後もこのような症例は増加する可能性があり、さらなるデータの蓄積を行うことが重要と考えている。

結 語

脳動脈瘤に対してコイル塞栓術で治療される症例が増加

しており，再発症例の追加治療に対する最適解が求められる．血管内再治療困難例，若年者，あるいは瘤増大などの症例に対して，開頭クリッピング術の果たす役割は依然大きいと考えられる．クリップの slip in や分枝閉塞のリスクもあるため，術前の脳血管撮影による瘤再発腔の評価や clippability などを十分検討する必要がある，実際の治療にあたっては，クリップの工夫やバイパス支援など，脳血管外科のさまざまな工夫を念頭に置く必要がある．

著者全員は日本脳神経外科学会への COI 自己申告を完了しています．本論文の発表に関して開示すべき COI はありません．

文 献

- 1) Daou B, Chalouhi N, Starke RM, *et al*: Clipping of previously coiled cerebral aneurysms: efficacy, safety, and predictors in a cohort of 111 patients. *J Neurosurg* 125: 1337-1343, 2016
- 2) Meyers PM, Schumacher HC, Higashida RT, *et al*: Reporting standards for endovascular repair of saccular intracranial cerebral aneurysms. *AJNR Am J Neuroradiol* 31: E12-E24, 2010
- 3) Owen CM, Montemurro N, Lawton MT: Microsurgical management of residual and recurrent aneurysms after coiling and clipping: an experience with 97 patients. *Neurosurgery* 62 (Suppl 1): 92-102, 2015
- 4) Romani R, Lehto H, Laakso A, *et al*: Microsurgery for previously coiled aneurysms: experience with 81 patients. *Neurosurgery* 68: 140-153, 2011
- 5) 清水 崇, 堀中直明, 大石英則, ほか: コイル塞栓術後脳動脈瘤に対する外科治療—特に clippability に関する検討. *脳卒中の外科* 42: 408-413, 2014
- 6) Tahtinen OI, Manninen HI, Vanninen RL, *et al*: Stent-assisted embolization of recurrent or residual intracranial aneurysms. *Neuroradiology* 55: 1221-1231, 2013
- 7) Waldron JS, Halbach VV, Lawton MT: Microsurgical management of incompletely coiled and recurrent aneurysms: trends, techniques, and observations on coil extrusion. *Neurosurgery* 64(5 suppl 2): 301-317, 2009