

私の no.12 手術戦略



杏林大学脳神経外科教授

塩川芳昭

Yoshiaki SHIOKAWA

塩川芳昭先生プロフィール

- 1982年 東京大学医学部卒業
- 1989年 ルンド大学（スウェーデン）
カロリンスカ研究所（スウェーデン）
- 1992年 富士脳障害研究所脳神経外科
- 1993年 杏林大学脳神経外科講師
- 1998年 杏林大学脳神経外科助教授
- 2003年 杏林大学脳神経外科教授



コイル塞栓 クリッピング



〔聞き手〕 本誌編集委員
近畿大学脳神経外科教授

加藤天美

Amami KATO

術後の 手術

GO → 

原則的には、最初に血管内治療をした場合は再治療も血管内でやってほしいと思いますが、どうしてもそれでは難しい場合があります。そこでわれわれは、小型で接近の容易な場所限定していますが、再治療時にクリッピングを実施しており、これまでに10例の経験があります。技術的な難度は高いですが、このような血管内治療の後、あるいは先行治療されている動脈瘤の再治療という局面が今後増えると思われます。動脈瘤手術をある程度専門性を持ってやりたい方には、病態や治療の困難さについてぜひ理解しておいていただきたいと思います。(塩川芳昭)

れば明らかなように、1人あたりの生涯手術経験数は限られています。わが国の年間の手術総数や医師の数などの統計から単純計算してみると、1人あたりの将来の脳動脈瘤経験総数は数百件程度のオーダーしかありません。そうすると学習曲線のある程度高めるためには数十件で技術的なピークに達している必要があります。「代打でホームランを打つための訓練」と言うところとちょっと大げさかもしれませんが、限られた経験でも上達できるような指導を心がけています。

【加藤】卒業して地域の病院に就職となったときに、今の医師は少ない経験数でもあるレベル以上の医療結果が求められます。そういう意味では今は大変な時代ですね。

【塩川】同感です。技能を高めるには長期的視野に立った指導も大切になってくると思います。大学病院離れと言われますが、外科医の場合は各個人の個性や能力に応じて、長い年月、10年ぐらいの単位で訓練する必要があります。大学病院はその手術トレーニングのための教育プログラムを提供しているわけです。われわれの組織に対する求心力の根本のところでは、「うちにいればサムライになれる」、つまり、「杏林で一生懸命やれば一人前の技術が身につく」ということを全員のコンセンサスとして持てるように努めています。

【加藤】たしかに少ない経験数で効率良く技術を上げるのは理想的ですが、診療と教育のジレンマというものが当然また別の観点からあるわけですね。練習台になりたい患者さんは1人もいない。

【塩川】はい。最善を尽くす臨床医の立場と訓練する教育者の立場のジレンマは当然あります。これは佐野圭司先生以来の東大脳神経外科の伝統でもあります。結果が同じであれば時間が倍かかってでも若手にやらせるという精神が根本にはあります。

2 動脈瘤手術の基本手技

【塩川】手術アプローチの選択、患者背景や病態に応じた手術操作の順番が、特に動脈瘤手術の場合には重要になります(表1)。術中の問題、例えば親血管確保や破裂させやすい操作、穿通枝や動脈瘤近傍の神経損傷など、症例ごとに起こりうる問題というのは幾つかのポイントがありますので、それを事前に明確に意識させています。

【加藤】まず、「順番」について少し詳しくお話しいただけますか？

4

脳外科医1人あたりの将来の脳動脈瘤経験総数は数百件程度のオーダーしかない。学習曲線のある程度高めるためには数十件で技術的なピークに達している必要があります。限られた経験でも上達できるような指導を心がけている。

5

われわれの組織に対する求心力の根本のところでは、「うちにいればサムライになれる」、つまり、「杏林で一生懸命やれば一人前の技術が身につく」ということを全員のコンセンサスとして持てるように努めている。

6

結果が同じであれば時間が倍かかってでも若手にやらせるという精神が根本にはある。

表1 動脈瘤手術の基本手技

| |
|--------------------------|
| 順序に従った安全な手術 |
| クモ膜下腔の最大限の開放 |
| 静脈温存 |
| バイパス、頭蓋蓋手術手技の応用 |
| 死角を少なくするアプローチの選択、内視鏡 |
| 動脈瘤閉塞手技を単純化させる |
| 動脈瘤、関連血管に大きな可動性を与える |
| 確認作業の徹底 (MEP、内視鏡、術中血管撮影) |

7

前交通動脈瘤では手術進行のなかで親血管確保が多少遅れても、最終的に動脈瘤が見やすくなることを優先させたアプローチを推奨している。

8

手術では、最終的な段階でも治療の選択肢が多いような状況が維持できるように進めている。

9

動脈瘤周囲の血管がくも膜下腔の中で完全にフリーになるように剥離する。

10

後のアプローチや術野を考えて、意図的な静脈切断が大きな利益につながるようなときには、細い静脈について何が何でも温存ということにはこだわらない。

【塩川】 動脈瘤手術では、特に、順序に従った安全な手術をすることが求められます。前交通動脈瘤では手術進行のなかで親血管確保が多少遅れても、最終的に動脈瘤が見やすくなることを優先させたアプローチを推奨しています。ただ、破裂例で経験の少ない術者のときには親血管確保をある程度優先させることもあります。また脳動脈瘤はくも膜下腔に位置する病変なので、くも膜下腔をできるだけ広く開くようにします。親血管が確保されたら、特に初心者の場合にはテンポラリークリップを掛ける予行演習を実際に行ってもらいます。動脈瘤に近づいたら破裂部位から離れたところから操作を進め、動脈瘤の頸部を出すような作業を行わせています。

【加藤】 準備をしっかりとしておくということですね。

【塩川】 どんな手術でもそうですが、最終的な段階でも治療の選択肢が多いような状況が維持できるように進めます。「これしかない」という戦略でやっていくと、トラブルがあったときにそこからの回復が難しい。複雑な手術の場合は、例えばバイパスの準備もしておく。親血管確保等もその場になってから慌てるのではなく、事前に頸部を露出しておく、反対側の頸動脈も押さえられるようにするといった作戦を立てておきます。動脈瘤閉塞の方法を検討する段階ではいろいろな方向から死角を最小限にするような術野をつくり、親血管や穿通枝が確実に温存できる状況を目指します。

【加藤】 くも膜下腔の開放も若い人にやってもらおうと、開ける範囲がたいてい狭いですね。

【塩川】 言葉では「最大限に開く」などと言いますが、どの範囲を、どの深さまで何を開くかという点を解剖学的にきっちり話します。また、動脈瘤周囲の血管がくも膜下腔の中で完全にフリーになるように剥離します。動脈瘤周辺だけを露出するのではなく、関係する血管を長い範囲にわたって脳表から剥がして完全に浮かせると、病変も含めた血管そのものの可動性が増して治療の選択肢が増えます。

【加藤】 静脈の温存についてはどうお考えですか？

【塩川】 私は脳全体の灌流を見て判断します。静脈を閉塞させていくと、脳の retraction に対する耐性が下がりますので基本的に温存を目指します。ただ、静脈還流というのは周囲の静脈と相補的な関係になっていますので、後のアプローチや術野を考えて、意図的な

静脈切断が大きな利益につながるようなときには、細い静脈について何が何でも温存ということにはこだわっていません。

【加藤】頭蓋底手術手技を応用されているとのことですが、

【塩川】動脈瘤はくも膜下腔の手術ですが、頭蓋底構造物の削除により動脈瘤周囲の手術空間を頭蓋底側へ拡げることができます。動脈瘤手術で頭蓋底手術手技を応用する際に、ほとんどの小型の動脈瘤では頭蓋底構造は正常ですので、頭蓋底手術の経験が少ない人でも cadaver dissectionなどで訓練していればできるという利点があります。具体的に言うと、前床突起の削除や orbito-zygomatic approach, far lateral approach などですね。椎骨動脈 V3 部の露出や、内頸動脈 C3 部の確保などは、硬膜内病変であっても頭蓋底手術手技を応用することにより、動脈瘤閉塞のときに周囲の空間が広がります。つまりたくさんの選択肢を持ったまま、最終的に手術の本質的部分の操作ができるわけで、経験の少ない人には心の余裕にもつながり、とても大事なことだと思います。

3 治療困難な動脈瘤

【加藤】動脈瘤治療ではいろいろと困難な症例、局面があります。

【塩川】動脈瘤は事前に大きさや形を予測することができますが、血管壁や動脈瘤壁の硬さ、動脈瘤内に血栓があるかどうかなどの情報は実際に現場へ行ってみないとわからない場合が多いです(表2)。難しい要素があるときには、先ほどお話ししたような幾つかの治療の選択肢を残しておくことが重要で、バイパス手術なり、工夫を要するクリッピングをする必要があります。若手の人にテント上の小型の破裂動脈瘤を手術してもらうときにはそういう要素が少ないことをきちんと確認しています。例えば C2 前壁の解離かもしれないというような血豆状動脈瘤では親血管そのものの物理的な脆弱さが予測されます。そういう場合には、小さな瘤でも、クリッピングではなくバイパス手術を行っています。目標とする疾患の技術的な困難さを事前によく検討してから手術を行うべきだと思います。

【加藤】特に今は、手術の他に血管内治療という選択肢があります。

【塩川】はい、動脈瘤治療では破裂瘤における再破裂の予防、あるいは未破裂瘤の将来の破裂予防というときに、治療の完成度の高さ、

11

動脈瘤手術で頭蓋底手術手技を応用する際に、ほとんどの小型の動脈瘤では頭蓋底構造は正常なので、頭蓋底手術の経験が少ない人でも cadaver dissectionなどで訓練していればできるという利点がある。

表2 脳動脈瘤手術前に予測困難な要因

- (a) 両在
- (b) 大きさ
- (c) 広い頸部
- (d) 親血管や動脈瘤壁の動脈硬化
- (e) 動脈瘤内血栓 (coil後の手術)
- (f) 穿通枝
- (g) 再発 (clip, coil後の手術)
- (i) 親血管、動脈瘤頸部の脆弱性 (C2前壁動脈瘤)

12

目標とする疾患の技術的な困難さを事前によく検討してから手術を行うべきである。

13

小型で接近の容易な場所に限定しているが、動脈瘤の再治療時にクリッピングを実施している。

根治性が当然問題になるわけです。現時点では直達手術の完成度が高く、血管内治療は今の器具や技術水準ですと、中に詰めるだけで動脈瘤の入り口は開いているため、どうしてもある確率でその後の再発が起きます。すると、部分血栓化動脈瘤の状態となり、特に動脈瘤の入り口付近にコイルが入っている場合には、クリップによる頸部閉塞が難しく、かつその部分が硬くてコイルの摘出も難しいという複雑な状況になるわけです。

【加藤】 どのような対応が考えられますか？

【塩川】 原則的には、最初に血管内治療をした場合は再治療も血管内でやってほしいと思いますが、どうしてもそれでは難しい場合があります。そこでわれわれは、**小型で接近の容易な場所に限定してはいますが、再治療時にクリッピングを実施**しており、これまでに10例の経験があります。技術的な難度は高いですが、このような血管内治療の後、あるいは先行治療されている動脈瘤の再治療という局面が今後増えてくると思われます。動脈瘤手術をある程度専門性を持ってやりたい方には、病態や治療の困難さについてぜひ理解しておいていただきたいと思います。

4 「人生を手術する」

【加藤】 外科系各科の入局希望者の減少が伝えられている現状から、「今なぜ脳神経外科か」といった問いも発せられます。若い人たちに何かメッセージをお願いします。

【塩川】 「真に全人的医療を行いたい」、これが脳神経疾患に取り組む者の原点になる理念ではないでしょうか。特に**脳外科医は崇高な脳にメスを加えるという重大な役目を持っていますので、「病気ではなくて人生を手術している」という意識を持たねばなりません**。治療の合併症が患者の（少なくとも社会的な）生命を脅かす事態が日常的に起こりうるのが脳外科の厳しいところでもあります。だからこそ、医者をやめるからにはそういった「人生を手術するんだぞ」という覚悟、決意があってほしいと思います。それを持っている人はぜひ脳外科を選択してほしいですね。

【加藤】 ありがとうございます。ではここからは症例に沿って、血管内治療後の再手術についてお話しさせていただきます。

14

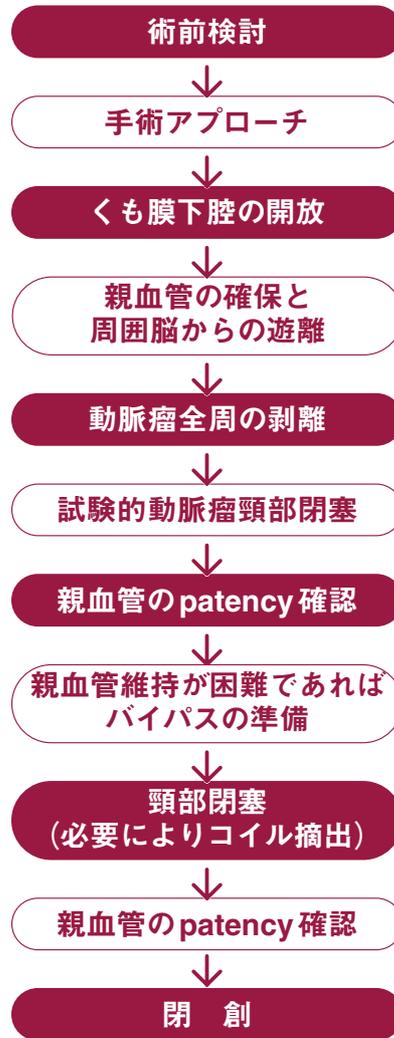
脳外科医は崇高な脳にメスを加えるという重大な役目を持っているので、「病気ではなくて人生を手術している」という意識を持たねばならない。

症例提示

48歳，男性。

WFNS grade 2のクモ膜下出血で発症した（図1A左上，右上）。前交通動脈瘤（Acom A）。搬入時，狭心症発作を併発していたため，コイル塞栓術を施行（図1A左下）。

術前シミュレーション



術前のチェックポイント

- 動脈瘤の頸部閉塞ができない場合の循環維持の手段
- 動脈瘤の頸部でクリップによる閉塞が可能な空間の有無

くも膜下腔開放のポイント

- 動脈瘤の全周が観察可能なように最大限に開放する

一般の動脈瘤手術との相違

- コイルのために動脈瘤が硬く，裏側の穿通枝の確認などは動脈瘤自身をリトラクトできないため困難→内視鏡の使用なども有用

親血管のpatency確認

- コイルの摘出に固執して親血管に損傷をきたさないことが最も重要

試験的動脈瘤頸部閉塞

- 癒着が強い場合，把持力の強いクリップでコイルごと動脈瘤頸部閉塞を試みるのも一法

コイル塞栓術後のクリッピング手術 戦略のポイント

- 手術の難度の高さを認識する。
- 動脈瘤手術を困難化させる因子（表3）を理解する。

表3 動脈瘤手術術前に予測困難な要因

| |
|----------------------------|
| (a) 局在 |
| (b) 大きさ |
| (c) 広い頸部 |
| (d) 親血管や動脈瘤壁の動脈硬化 |
| (e) 動脈瘤内血栓 (coil後の手術) |
| (f) 穿通枝 |
| (g) 再発 (clip, coil後の手術) |
| (i) 親血管，動脈瘤頸部の脆性 (C2前壁動脈瘤) |

1 術前検討

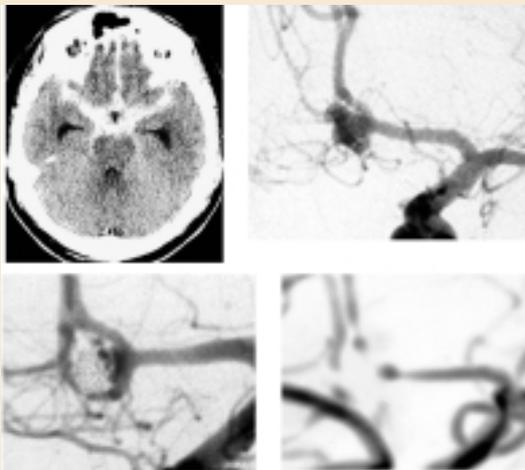


図1A 上段: 来院時CT (左), 左内頸動脈撮影正面像 (右)
下段: コイル塞栓術直後の血管撮影 (左) とMRA (右)

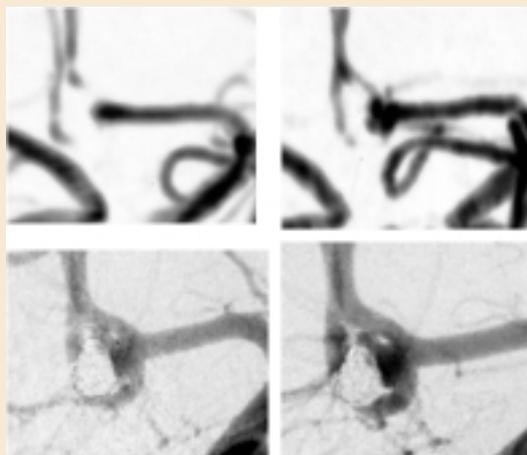


図1B 上段: MRA コイル塞栓術後, 4ヵ月 (左), 11ヵ月 (右)
下段: Angiography 左内頸動脈撮影, コイル塞栓術後,
9ヵ月 (左), 1年2ヵ月 (右)

【加藤】血管内治療が行われた症例にクリッピング術を行うにあたり、注意すべきことは何でしょうか？

【塩川】基本的な戦略のポイントは前ページに示したとおりで、手術の原則は前述した一般の動脈瘤手術と同じです。すなわち**順序にしたがった安全な手術、くも膜下腔の最大限の開放と静脈の温存**、それから**バイパスや頭蓋底手術手技の応用**といったことを考えます。特に、**コイルの存在が手技を複雑化させるので、動脈瘤閉塞手技をなるべく単純化させる、動脈瘤や関連血管の可動性を大きくする**、閉塞困難な場合には**迷わずバイパス術を加えられる選択肢を維持しておく**、などが大事だと思います。

【加藤】術前のチェックポイントは？

【塩川】動脈瘤の頸部閉塞ができない場合の循環維持の手段、そして動脈瘤の頸部でクリップによる閉塞が可能な空間があるかどうかをあらかじめ検討しておきます。この症例では、コイル直後の血管撮影でもわずかに動脈瘤内の造影部分が認められますが（**図1A左下**）、退院前のMRAでは動脈瘤は完全に消失しています（**図1A右下**）。しかしながら、予想された経過ではありますが外来での観察中に動脈瘤の再発がMRAおよび血管撮影でも明らかとなり、初回塞栓術から1年2ヵ月後に再手術となりました（**図1B**）。

2 手術アプローチ

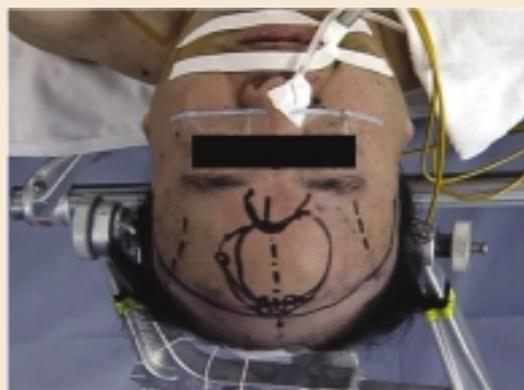
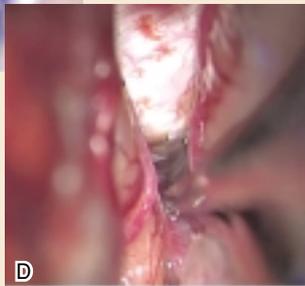
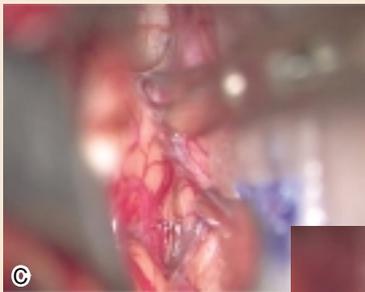
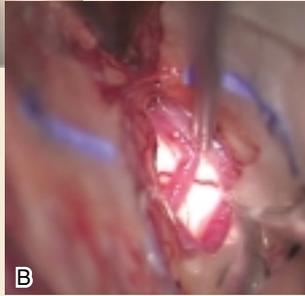


図2 皮切と開頭範囲。開頭、前頭洞の位置もマーキングされている。

【加藤】手術アプローチについて何かお考えはありますか？

【塩川】私は、**Acom Aを含む一般のテント上動脈瘤**については原則として**pterional approach**を第一選択としています。すなわち上体を15° 挙上させた仰臥位で頭を健側へ45° 振って固定し、**hair lineに沿った皮切で側頭筋を含む一層の皮弁を作成**しています。これはアプローチ自身の汎用性に加えて、「**同一体位・同一頭位にして熟練度を高める**」（『脳動脈瘤』福光太郎、文光堂）ことにより、限られた経験数を最大限に生かそうという意図から行っています。ただ、本症例では頸部閉塞が不可能な場合のバイパス（A3-A3 bypass）の**選択肢を残しておく**ために、**interhemispheric approach**で行いました（**図2**）。

3 くも膜下腔の開放



【加藤】まず、開頭はどのように進めますか？

【塩川】 Interhemispheric approach では、皮切が hair line 内に入り、かつ鼻根部まで骨を露出できるような大きめの冠状切開を置きます。本アプローチでまず問題となるのは前頭洞の大きさ（図 2）で、開放される場合には皮弁反転時に有茎骨膜弁を作成しておきます。最も重要なのは上矢状静脈洞へ入る静脈の位置ですが、本症例では術野の妨げとなる位置に発達した静脈は認められず、前頭洞直上までの開頭範囲で対応可能でした。

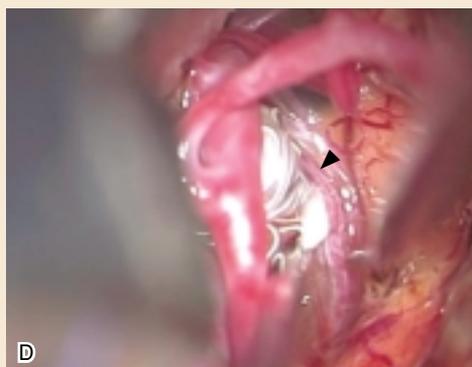
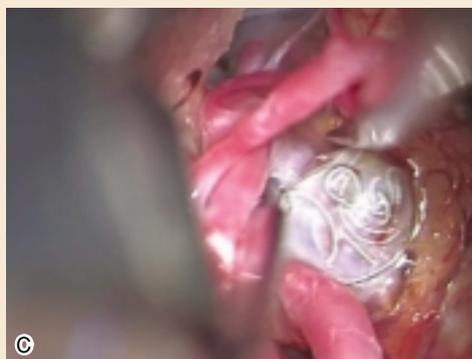
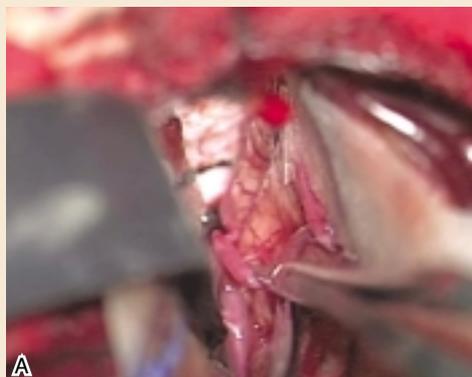
【加藤】次にくも膜下腔の開放ですが、どのように進めますか？

【塩川】まず上矢状静脈洞を結紮したのち falx を前頭側で切断します（図 3A）。切断しなくても未破裂動脈瘤症例は可能ですが、本症例では動脈瘤周囲でいろいろな操作を行う可能性があるからです。通常は脳梁の膝部を目安に頭蓋底方向へ進むのですが、その前に脳梁の上で A3-A3 bypass の準備をしています（図 3B）。半球間裂のくも膜下腔を開く方法も、原則的にはシルビウス裂を開く方法と変わりありません。重要なことは剥離する部位に正確にテンションをかけることで、左右の前頭葉を持ち上げるようにかけた脳べらの間で、吸引管で剥離部位に適切な方向に引いて鋭的切離を行います（図 3C）。動脈はもちろん、静脈についてもどちら側の半球を還流する血管かを見極めて剥離します。血管の周囲にはくも膜の trabecula がありますので、必ず鋭的に切開します。癒着の強い部分では、縦に切り進むのに上山先生のハサミが有用です（図 3C）。最終的に鞍結節まで半球間裂を開きます（図 3D）。

【加藤】くも膜切開のコツは、trabecula 処理ですね。

【塩川】はい。動静脈の太いものはくも膜に包まれており、細いものでもくも膜の trabecula と並走していますので、完全にくも膜を切離する必要があります。この処置により、くも膜は伸びませんが静脈は伸びるので血管への可動性が高まります。半球間裂では、A2 周囲のくも膜下腔を除いて広い脳槽が少ないことと、一部で軟膜同志が直接接触している部位があるため、少しでも剥離のための空間をうまく作り出すのに、脳を手前に持ち上げるような脳べらの引き方も重要です。動脈瘤周囲を除き、ほぼ半球間裂が開放された術野の全景を示します（図 3E）。手前でフォーカスのぼけた綿片（乾燥防止のため塩酸パピペリンを塗布）のある位置が、はじめに準備した A3-A3 bypass の部位にあたります（図 3B）。

4 親血管の確保と周囲脳からの遊離，動脈瘤全周の剥離



【加藤】くも膜下腔開放後の処理はどのように進めますか？

【塩川】まず親血管の確保を目指します。また本症例では左右のA2を大きく移動することが必要なので、A2の枝を前頭葉から剥離します(図4A)。動脈瘤に接近するときも、まず関連する血管を周囲の脳から剥がしていくという原則があります。いきなり動脈瘤のほうを目掛けて進むと、親血管や動脈瘤の可動性が少ないときに穴が開いてしまう危険があります。その場合、術野の一番深いところで止血操作を行うことになり、対応する手段も限られてしまいます。

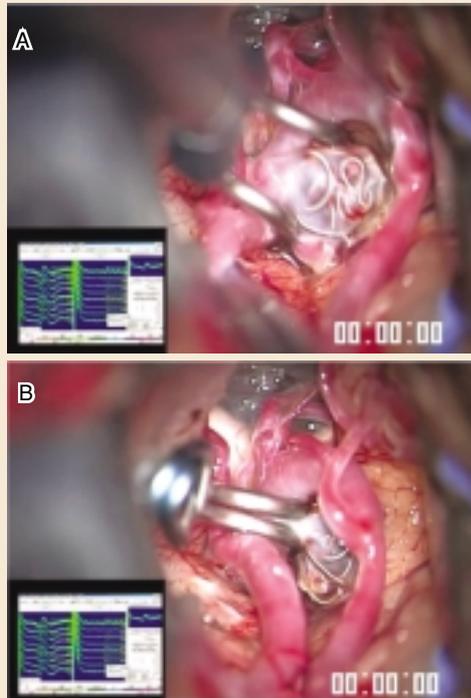
【加藤】前述の、「治療の選択肢が多い状況を維持する」ということですね。

【塩川】はい。特に動脈瘤手術のときは出血したときにどう対応するかということを考えながら行います。広い範囲で血管を完全に浮かせると、くも膜下腔内にある動脈瘤に可動性が出てきます。左A1が確保されたあと(吸引管の奥)、コイルの入った動脈瘤を右A2(ハサミの下)の左側から見ています(図4B)。次いで、右A2を左側へ移動させ(吸引管の左)、動脈瘤全体を表面から観察します(図4C)。動脈瘤の奥には視床への穿通枝(矢印)が確認されました(図4D)。

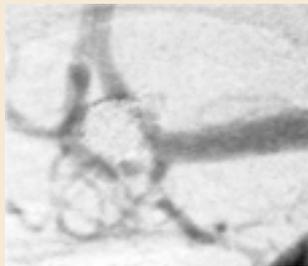
【加藤】くも膜下腔の血管はarachnoid sheathで固定されており、それを切れば術野が展開できる。そういったことは本にもたくさん書いてありますし、皆さんもよく勉強していることだと思います。けれども、実際の作業はそれほど簡単ではありませんね。

【塩川】そうです。かなりの根気仕事になります。編集されたビデオで、例えば動脈瘤の処置だけ見ると、上手な人がやっていたら簡単そうに見える。この症例でも実際は途中で、A2からの枝を広い範囲で脳から剥がして進めています(図4A)。そうすることにより、左右のA2が非常に動きやすくなって、安全に動脈瘤にクリップを掛けることができました。最後の景色は簡単そうに見えますが、途中でどういう工夫をしているかというのは、やはり手術を現場で見て、そして学ぶ必要があると思いますね。

5 頸部閉塞



6 術後



インタビューを終えて

高度な手術テクニックを培うべく研鑽に励むことは当然のことですが、それにも増して重要なことはテクニックに過度に依存することなく、安全に手術を完遂することです。特に脳動脈瘤の手術はちょっとしたピットフォールが重大な結果を招くので油断できません。

塩川先生は私立大学という「教育病院」のなかで手術の訓練や効率的な学習方法・指導方法を長年追究されており、その豊富なご経験をもとに、限られた医療資源において、最大の効果を得るための手術の心得、基本的な手術戦略、さらに高度な応用として今回のトピックスである、「コイル塞栓術後のクリッピング手術」をご披露いただきました。本来、神業的な技術の集大成のように思われる

【加藤】肝心の頸部の閉塞ですが、どのように進めますか？

【塩川】本症例の場合、今までの操作でつまめるネックの部分がありそうだと確認できています。まず、通常の動脈瘤と同様に動脈瘤のサイズの計測、親血管の血流測定を行います。動脈瘤ネックに小さいブレブがありますので(図5A)、そこも挟めるようにバイオネット型のクリップをアプライしています。親血管や穿通枝の閉塞、術中破裂などが起こりうるので、SEP、MEPなどの電気生理学的モニタリングや遮断時間の計測態勢下にクリップで閉塞させました(図5B)。動脈瘤の中にコイルがあって奥の穿通枝が十分に確認できませんでしたので、穿通枝の起始部が狭窄している所見が認められました。そこで掛けたクリップを外して、兎玉先生の方法、すなわち動脈瘤と穿通枝の間にゼルフォーム®を入れてスペースを確保し、もう一度クリップを掛けました。

【加藤】動脈瘤の中のコイルはどうしますか。

【塩川】コイルと動脈瘤内壁との癒着の程度によります。動脈瘤頸部閉塞の妨げになる場合、摘出可能であれば取り除きますが、数ヵ月以上経過したコイルはどこで血管壁と癒着しているかわかりません。別のケースではコイルごとクリップで挟んだこともあります。クリップを幾つも重ね、動脈瘤を潰してしまうわけです。動脈瘤の手術でいちばん困るのは、ネック付近に裂け目ができたり、本幹まで裂けてしまうような場合です。こうなると修復作業にバイパス術などを併せて行うこととなりますので、なるべくそういう状況に陥らないように、ネック付近までコイルがある場合は、その部分を穴あきクリップでまたいで掛けるようなこともあります。図6が術後の画像です。

「コイル塞栓術後のクリッピング手術」も基本的な手技を順序立てて構成することが安全・確実な手術の秘訣であると、それぞれのステップごとに教育的な立場でわかりやすく解説いただきました。

これからの脳神経外科医には少ない経験でも確実な結果が求められており、塩川先生のおっしゃる「learning curveを早く立ち上げる訓練」がますます重要なものと思われます。さらに、「術者交代の条件」は塩川先生のお考えが凝縮されており、教育する者、教育される者、双方にとって意味深いものと拝聴いたしました。読者の皆様には日々の研鑽においてご参考にしていただければ幸いです。