

脳動静脈奇形 の手術

Surgical Treatment of
Brain Arteriovenous Malformations

S. Tominaga

富永紳介

富永病院院長

序

脳動静脈奇形の手術の原稿書きや校正が一段落した。5年以上の歳月を要した。浅学非才の私には重い課題で何度も断念しようとした。今やっと失望と挫折の淵から抜け出せた感がある。

ある先輩から「にがい結末の症例に手術のコツが含まれている。一例一例とくに、失敗例こそ記録に残すように」と忠告をうけた。以後、この忠告を脳動脈瘤やAVMの症例について忠実に実行してきた。この教訓があって本書はでき上がったと思う。

某全国紙による手術ランキング本の発刊の初めから当院が脳動脈瘤の手術数全国1位を得、以降、何度か1位を占めていた頃に、師、半田 肇 先生（京都大学名誉教授）から「次はAVMだね」と言われ、口癖の「やるからには誰にも負けないように」と付け加えられた。私のライフワークに脳動脈瘤を選んでくれたのも、AVMに目を向けさせたのも恩師である。以来、誰が見ても恥ずかしくない手術をと念じながらAVMの手術に努めた。ときには見学に来られた当院外の先生方とアプローチや手技について議論を交した。端 和夫 先生（札幌医科大学名誉教授）や中富 浩文 先生（東京大学脳神経外科准教授、現杏林大学脳神経外科教授）にはAVMの摘出に加わっていただいた。当院でのAVM手術の全例をライブ放映やhome pageの動画により紹介、公開し、手術例のご家族や紹介医に見学の希望があれば手術室に入ってもらうこともある。

往年に比べマイクロサージャリーの手術適応域が広く手術成績がよくなり、手術所要時間が縮まり、手術に伴う出血量も減った。しかし、摘出手術となり難い大きいAVMやdeep eloquent AVMが今日でも、依然として存在する。これらに挑戦するため、これまでに得られた知識を整理すべきときかと思った。

端 和夫 先生には適切な御校正、御校閲を賜っている。

本書は前半がAVM手術の基本的事項、後半がAVM摘出術の実際で構成されている。

AVMをその所在に基づき10 AVM type, 36 AVM subtypeに分け、著者が2004年以降に執刀したAVM計415例の中から、Spetzler–Martin grade (SMg) 3以上 (SMg 3以上がないsubtypeはSMg 2)を選んで摘出術の実際を示した。

本書が脳動静脈奇形の治療の一助になればと切に願う。

端 和夫と中富 浩文 両先生には心から御礼申し上げます。

中外医学社の鈴木 真美子 様、沖田 英治 様にはご支援を賜りました。当院医局の諸君と事務職員の諸君の御力添えを賜りました。感謝申し上げます。

2023年6月

富永 紳介

2 AVM の画像診断

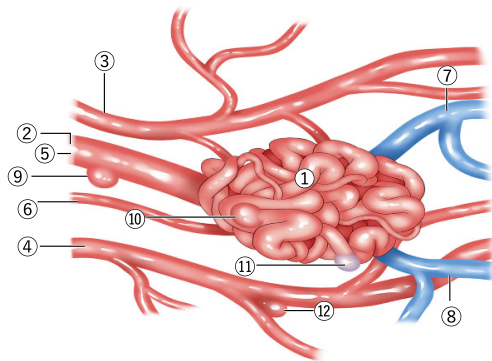
● 脳血管写 (catheter angiography)

脳血管造影検査は手技やカテーテル操作に伴う合併症のリスクや、血管内腔のみが描出される短所はあるが、高い空間的・時間的分解能をもって病変の血行動態の描出が可能で、今日に至るまで脳血管障害における画像診断の gold standard である。

AVM の形態や feeder, drainer を立体的に描出可能である。

● 術前の検討

Feeder, nidus と drainer は AVM の基本的な構成成分である **図2-1**。



a. : artery, AN : aneurysm, v. : vein

- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| ① : nidus | ⑦ : main (primary) draining v. |
| ② : terminal feeding a. | ⑧ : accessory draining v. |
| ③ : transit feeding a. | ⑨ : extranidal flow related AN |
| ④ : bystander a. | ⑩ : intranidal AN |
| ⑤ : dominant feeding a. | ⑪ : intranidal varix |
| ⑥ : supplementary feeding a. | ⑫ : pedicle (non flow related) AN |

図2-1 血管写により認められる AVM の基本的血管構造

Feeder

Conventional angiography により feeder の由来, feeder の数と口径, feeder の nidus への関与の形態, 動脈瘤の合併や high flow AVM の二次的変化の有無などを知る。

Feeder は nidus への関与の形態に基づいて分類される。Yaşargil らの分類がある **表2-1**。

Yaşargil は feeder を次の 3 種に分けた **図2-2**。

- Terminal feeding a.: AVM の nidus に終わる動脈である。正常脳 (normal brain) には分枝を出さない。
- Transit feeding a.: 正常脳にも AVM にも分枝を出す動脈である。
- A. en passage (transit a. without participation): AVM を貫通あるいは近傍を通過し正常脳のみに分枝を出す。AVM に分枝を出さない。血管写上, AVM の一部に見えるが, feeder と異なって enlarge せず, nidus 摘出術中から分離し温存に努める。
- Lawton の分類¹⁾では AVM の feeder を terminal feeding a., transit a.(a. en passage), bystander a., perforating a., choroidal a. の 5 種に分けた。Lawton のいう transit a. は Valavanis の pseudoterminal a. か indirect a. に, bystander a. は transit a. に相当する **表2-1**。

Dominant feeder と supplementary feeder

Nidus の大きい部分を栄養する feeder を dominant feeder, 小さい部分を栄養する feeder を supplementary feeder と呼ぶ。通常 dominant feeder は supplementary feeder よりも太く, 血流量が多い。Supplementary feeder は dominant feeder と同じか異なる parent a. から, とくに dominant feeder から分枝して

表 2-1 AVM の feeder の定義

動脈	Yaşargil	Valavanis	Lawton
Nidus のみを栄養する	terminal FA	terminal FA	terminal FA
Nidus も正常脳も栄養する	transit FA	pseudoterminal FA or indirect FA	transit FA or a. en passage
Nidus を栄養しないで nidus の近傍を通る	a. en passage	transit a.	bystander a.

FA: feeding a.

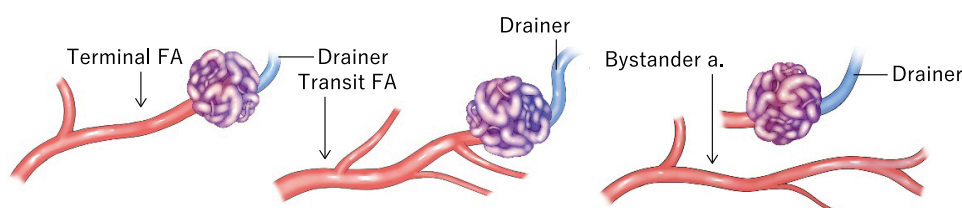


図2-2

AVM の feeder の定義について Valavanis, Yaşargil, Lawton の間に違いがある。

症例1

45歳, 男性

Lateral frontal AVM.
Compact, corticosubcortical type. (SMg: 3)

Location: Lt. lateral frontal surface

Feeder: ACA feeder (pericallosal a., callosomarginal a.)

MCA inferior trunk (angular a., anterior parietal a.)

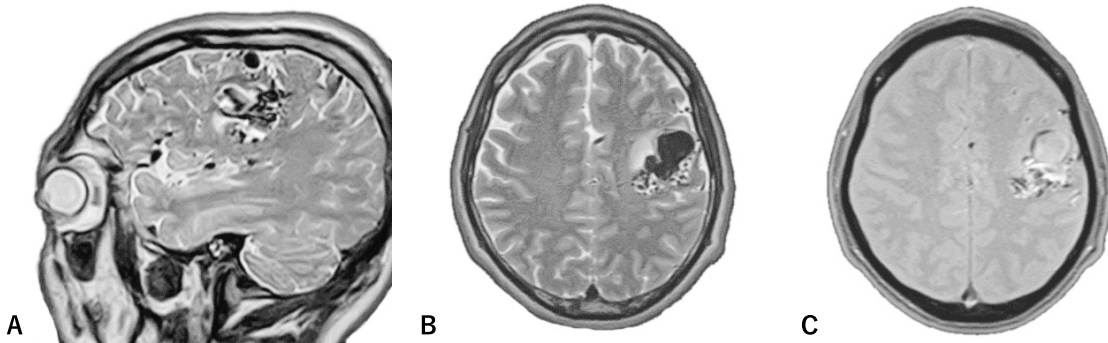
LSA

Drainer: V. of Trolard が SSS に流入している.

Nidus: Compact, 長径: 4.5 cm, oval form

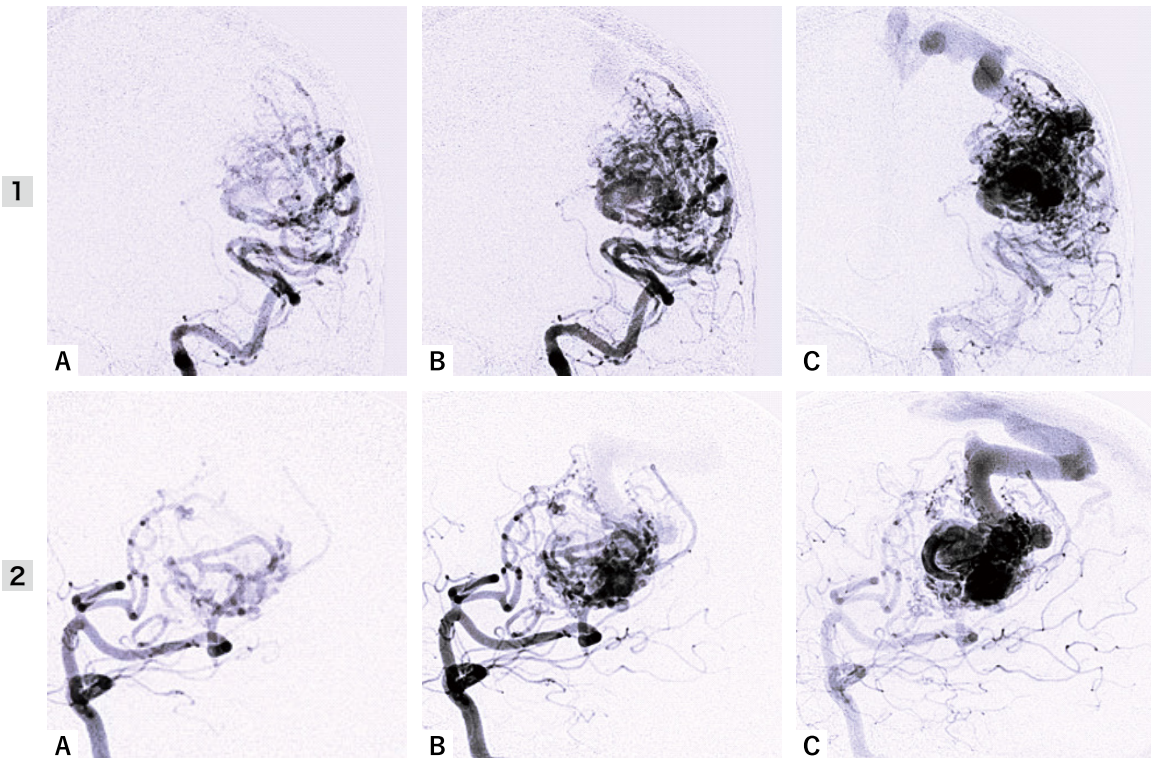
SMg: 3 (S2, E1, V0)

●術前術後の画像



1 MRI

A: T2WI sagittal view, B: T2WI axial view, C: T2*WI axial view. 左前頭葉 middle frontal region の corticosubcortical に nidus を認め、その前方に drainer の大きな flow void と gliosis を疑う高信号域を認める。T2*WI では背側に出血の既往を疑う、小さな低信号域を認める。



2 DSA Lt. ICAG

1 AP view, 2 lateral view, A: early arterial phase, B: midarterial phase, C: intermediate phase. Lt. MCA の angular a. が拡張して main terminal feeder として nidus の下方から流入している。Nidus の上方からは拡張した anterior parietal a. が terminal feeder として流入している。Intermediate phase では拡張した v. of Trolard が main drainer として SSS に流入している。

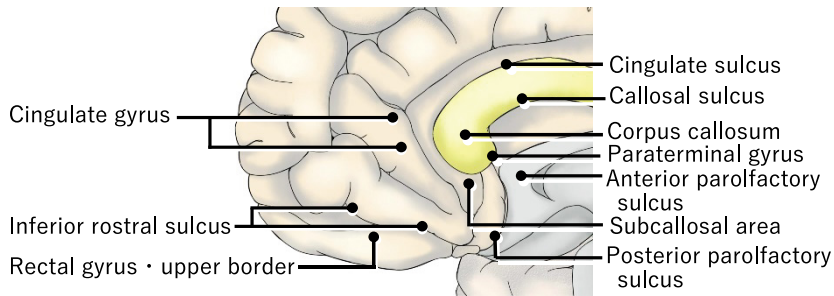


図15-1-3 Medial surface of the frontal lobe

Corpus callosum の rostrum や genu の下半の病変や rostrum から終板の後方の第3脳室にのびた AVM の摘出術には一般に anterior interhemispheric appr. が選ばれる。

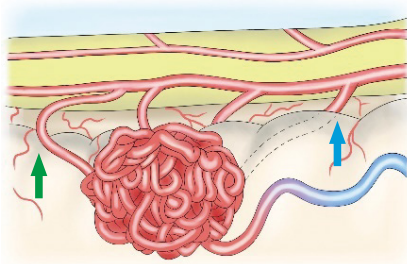
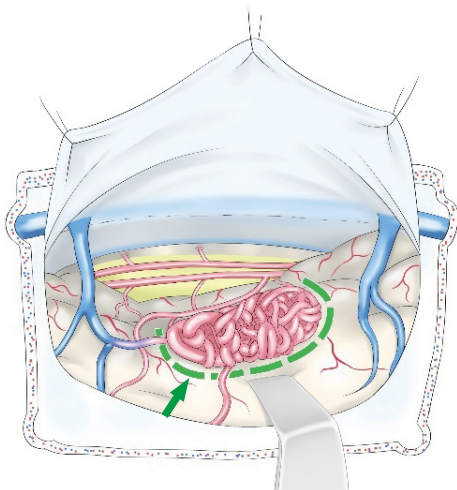


図15-1-4

●解剖

- Anterior paramedian frontal AVMは、大脳穹窿面と大脳半球内側面の両面にまたがる上前頭回の medial と lateral との組合せ¹⁾の AVM で、supplementary motor area が含まれるか近接していることが少なくない。
 主要な arterial supply は ACA 由来である。ときに nidus が大きい例や外側面に広がる例では MCA の anterior branch¹⁾が関与する。PCA 由来の parietooccipital a. や splenial a. の分枝の加わることもある。
- Posterior paramedian frontal AVM では primary motor area と primary sensory area が含まれるか接している。
- Dominant branch feeder (↑) が nidus の前縁より 1 cm、ときにそれ以上前方から起始していることがある (図15-1-4)。また nidus の後縁レベルよりも後方で pericallosal a. から出て反回して nidus の後縁に入る feeder (↑) もある。



1

●Strategy

- Paramedian AVM の中、とくに medial parietal AVM の難易度は高い。その原因には、②nidus への到達角度が接線方向であること、⑤半球間裂を横切る bridging vein があるので半球を SSS の側壁から分け離すことが制約され、往々に広い術野が得難い、③nidus の摘出が完了するまで温存せねばならない main drainer が nidus から出て medial surface を昇り SSS に入ることが多く、その走行が surgical corridor の一角を占めて nidus の剝離操作を妨げること、が挙げられる。
- 手術台の傾斜を絶えず微調整することで、gravity retraction を利用して interhemispheric (ih) fissure を開大する。
- Ih fissure の底に corpus callosum が出現する。Corpus callosum 上に左右の ACA が対となって近接し、ほぼ平行に走行している。
- 当初 ACA の内側縁に沿って、ACA を確認しつつ後方で nidus の後端 level まで露出する。Corpus callosum、次いで同側 ACA (pericallosal a.) の外側縁に沿って A3 から A4 へと feeder のみ切断する。Nidus と同側の、ときに両側の pericallosal a. がほとんどの例で nidus に供給している。Transit a. の branch feeder をその起始部で捉えようとするとき nidus の前縁から 1~2 cm も前方 (proximal) の ACA の剝離が必要となるが、(preoperative embolization が行われなかった例では) proximal feeder occlusion は nidus の margin 近くで捉えても支障を来すことはまずなく、剝離操作前の、nidus がまだ軟らかく圧縮性のある間に行うとよい。

●Paramedian frontal AVM の摘出術

Gravity retraction が可能な体位で頭部を固定し、開頭、硬膜切開、硬膜弁の翻転の後、bridging vein の周りのくも膜を切って可動性を高めて、ヘラを対側半球に当て対側に引く。

Ih fissure の幅を広げる。

Medial surface に当て、medial surface に沿って ih fissure に入り corpus callosum に至る。両側の ACA (A3) が corpus callosum 上を後方に走るのが見える

1.

Nidus の前縁より約 1 cm 前方の corpus callosum に至る。ACA の内縁次いで外側縁に沿って ACA を確認しつつ患側 pericallosal a. の内側縁に沿って A3 から

● 後部視床(Posterior thalamus)

- Posterior thalamus のほとんどの部分を視床枕 (pulvinar) が占めている。Pulvinar は splenium の下に位置する。後上方から interhemispheric (ih) fissure を経て pulvinar に接近すると、まず splenium の後端と出会う。Splenium の下を正中線上に前方に向かうと pineal gland があり、pineal gland の左右の外側に pulvinar の下半分に相当する cisternal part が存在する。
- Pulvinar は視床外側核群の背側核群に属し、上丘、視蓋前野や前部後頭葉の皮質 (Brodmann area 17, 18, 19) から主に視覚刺激を受け、後頭葉、頭頂葉や側頭葉に投射する。

- Posterior thalamus は ventricular part (lateral ventricle body と trigone に面する) と cisternal part (quadrigeminal cistern と ambient cistern に面する) とに分けられる (それぞれ lateral pulvinar, medial pulvinar と呼ばれることもある)。
- Choroidal fissure と crus of fornix は pulvinar の superior, posterior, inferior の 3 つの surface にまたがって存在し、ventricular pulvinar surface と cisternal pulvinar surface との境になっている。
- Pulvinar の外側面から外側上面にかけては内包後脚や visual radiation の外科的に不可侵領域に接しているので、外側や外側上方からの pulvinar への access は内包後脚や visual radiation の機能が廃絶されていない限り採られない。

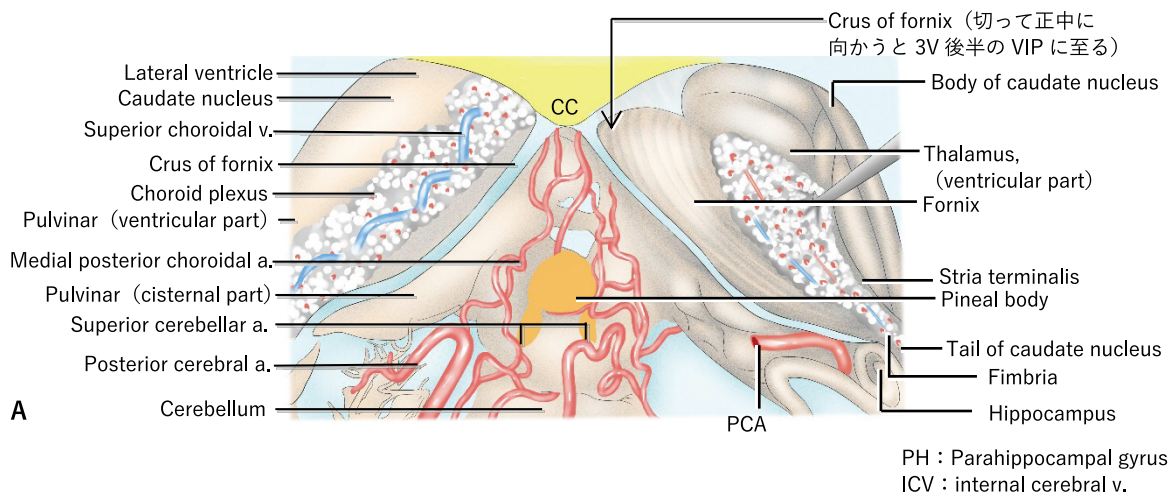


図16-3-2-3-2 Ventricular pulvinar AVM と cisternal pulvinar AVM の周囲構造との位置関係

A は側脳室三角部、頭頂葉の冠状断による三角部を後方から見ている。右側では choroid plexus を外側に引いて、脳弓脚を露出している。三角部前壁の内下部に脳弓脚、外側部に視床枕脳室部 (ventricular pulvinar)、両者の境界が脈絡裂で脈絡叢が附着する。三角部の脈絡叢は房をなして (脈絡糸球と呼ばれる) 髄液中に浮遊している。脳弓脚の内側には、四丘体槽に面して視床枕脳槽部 (cisternal pulvinar) が見える。

B, A から v. of Galen, ICV を除いた図。Galen complex, pineal gland を中心に lateral ventricle body, trigone, third ventricle, velum interpositum (VIP) と pulvinar AVM の位置関係を示す模式図 (posterior view) である。B にて後上方より crus fornix を後下方に cingulate gyrus を下方へ圧排し calcarine sulcus を開放すると ventricular pulvinar surface と cisternal pulvinar surface が露出され、ventricular surface や cisternal surface の AVM, あるいは両 surface にまたがる AVM の処置が容易となる。Parahippocampal gyrus を圧排すると PCA・P3 や mPChA が眼下に出現し、これらの control が得られる。Parahippocampal gyrus の圧排に伴う visual cortex の損傷の危険に留意すること。

C は posterior parahippocampal gyrus の一部を除いた側脳室三角部を後方から見た概念図であることを留意すること。

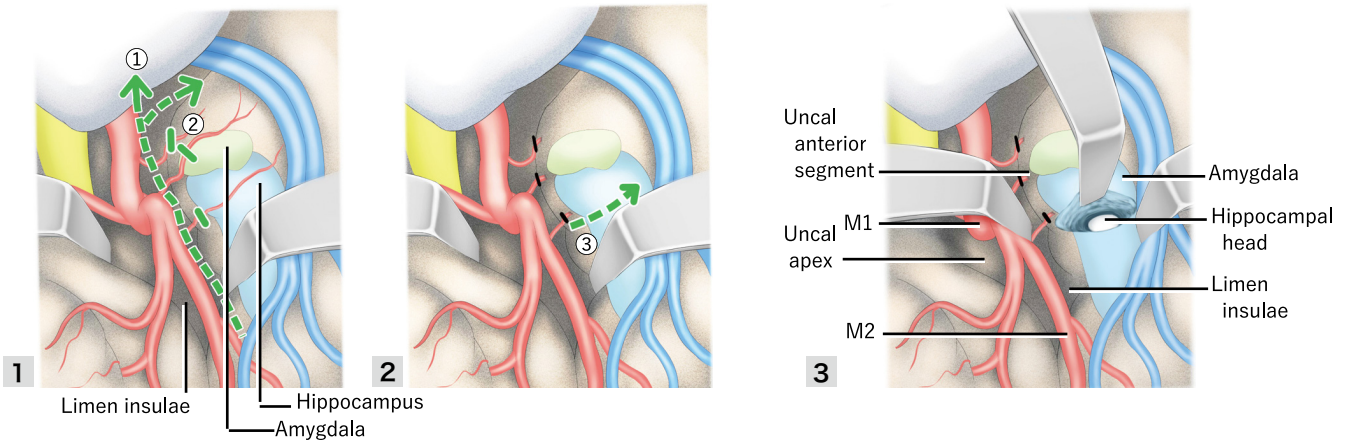


図17-3-8 下角への transuncal appr.

①Sylvian fissure (SF) を開放し、②uncal a., anterior temporal a. を切断し nidus の devascularization を行う。可動性をもった MCA (M1) を内方に移動し SF とほぼ直角の方向に鉤に横切開③をくわえてから脳実質（扁桃体）を外側に向かって吸引除去してゆくと下角に至る。

nidus の feeder となっておれば遮断し、正常動脈なら温存する。側頭葉前内側部を tentorial edge に沿って外方に圧排し retrocarotid space を開放しながら PComA, PCA の P1, P2a, 動眼神経を同定する。Crural cistern を広く開放し、脚間槽を開放して動眼神経の cisternal segment のほとんど全長を露出、保全する。ついで側頭葉前内側部を外方へ引き、その底面を内側から外側へ向けて翻転すると前内側部側頭葉底面には rhinal sulcus とその外側に occipitotemporal sulcus (OTS) が認められる。Rhinal sulcus を同定して、これに沿って後方に脳実質の切開を進めると 2 cm 前後で下角に至る。

Transrhinal sulcus appr. の長所は temporal stem を損傷することなく側脳室下角に至り、Meyer loop, 鉤状束、後頭前頭束や言語領域を含む lateral temporal cortex の温存ができること。また sylvian fissure から inferior limiting sulcus を経て、あるいは superior temporal gyrus, superior temporal sulcus, middle temporal gyrus を経ても下角に接近できるが、これらのいずれよりも、rhinal sulcus あるいは OTS 経路が下角に容易に到達でき、広くて浅い術野が得られることである 図17-3-9。

当 appr. は前内側側頭葉を外方へ翻転し、側頭葉底面にある rhinal sulcus を見出し切開するもの²⁾である。

註: 側頭葉先端部から下角に入る appr.

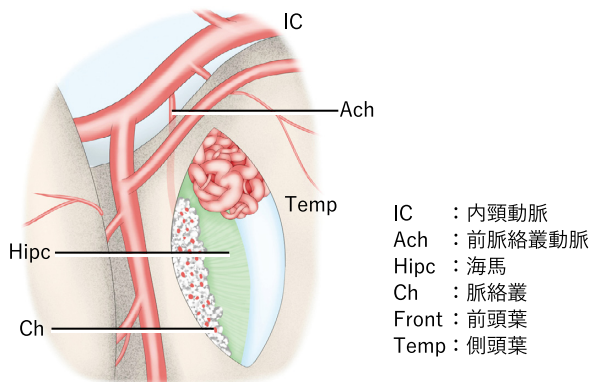
端¹⁾による T2 の側頭葉先端部を切開して下角に入る appr. は、下角に入り下角先端内側部で choroid plexus を確保し、その下の薄い、choroidal fissure を被う膜を切開して feeder の遮断を行う。Ambient cistern では PChA, PCA が目立つので同定は難しい。

ただ注意しなくてはならないのは側頭葉先端部にいれる initial incision の後端がのびてすぐ後方に位置する limen insulae を損傷しないことである。したがって limen insulae よりも後方に及んだ AVM には、すでに対側上外 1/4 視野消失例でない限り適応し難い。

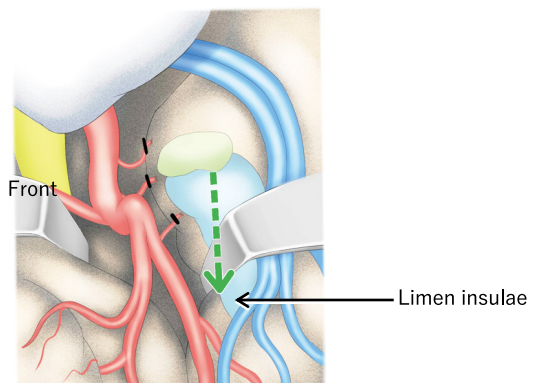
Yaşargil の選択的側頭葉扁桃体切除術での uncal incision は、SF から後方へ前後方向に切開 (↓) を進めるもので temporal stem に侵襲が加わり、術後視野狭窄などを引き、下角 AVM 手術には適さない。

◆参考文献

- 1) 端 和夫: テント上脳動静脈奇形, 阿部 弘, 菊池晴彦, 田中隆一, 坪川孝志, 平川公義, 松本 悟編: 脳神経外科疾患の手術と適応 II, 東京, 朝倉書店, 1990, pp.258-278.



図註17-3-1



図註17-3-2

- **SCIT appr.** では SCIT plane の上下の間口が狭く perpendicular attack となり, superior vermian AVM の摘出は容易でない. Anterior downslope は posterior downslope に鋭角で移行する. Nidus は前部小脳 (culmen や quadrangular lobule) の奥になり, その露出, とくに前下部の露出が手こずる.
- SCIT plane の間口を広げるべく架橋静脈は切っても症状が出ない, あるいは虫部の架橋静脈の全ての切離後に小脳の腫脹や出血性梗塞を来したとの相反する報告がある. Venous drainage の一端を担っていることがあるので, 残せるなら残すべきである. Bridging vein の切断は小脳表面近くで凝固を行うこと.

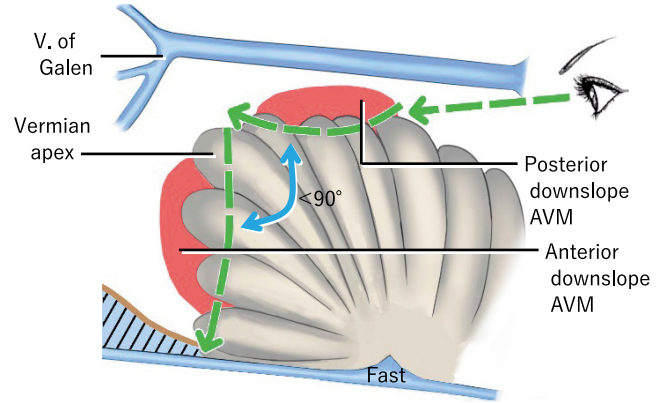


図19-4-4

Fast: fastigium (第4脳室頂)

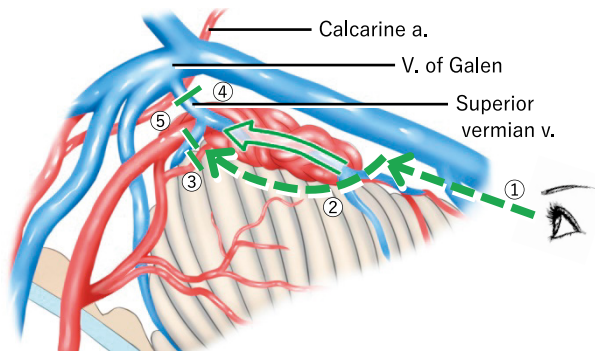
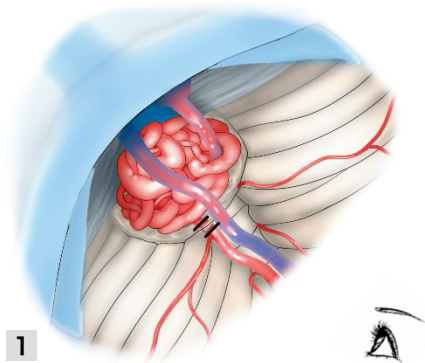
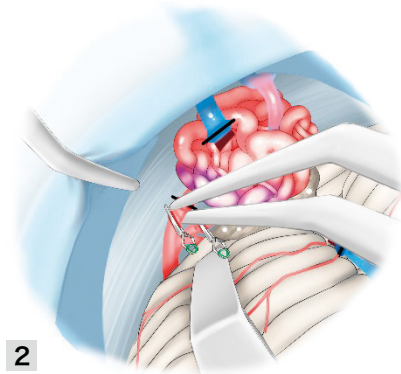


図19-4-5



1



2

図19-4-6

● Superior vermian posterior downslope AVM

● 摘出手順

Median SCIT appr. による 図19-4-5.

- ① Torcular craniotomy の後, median SCIT appr. に より nidus に接近する.
- ② Superior vermian v. は確認できるが v. of Galen, あるいは precentral cerebellar v. を確認できず, また nidus の両外側面と前面の剝離ができないことがあり, nidus の尾側縁と両側外側縁に接する小脳半球テント面の一部の切除を行うこともある.
- ③ ②を行う途中で両側の SCA feeder を切断し, main drainer は温存しそれ以外の assistant drainer は手術の進行を妨げる際に切断する.
- ④ かくして mobility を得た nidus を挙上し, 前方へ nidus の base を小脳半球から剝離して v. of Galen の後面に集める.
- ⑤ Main drainer 以外から disconnect された nidus を v. of Galen から切離する.

● 摘出術の概略 図19-4-6

- 体位は semiprone position, 頭部は前屈. 術野の静脈血停滞の予防を図る. 皮切はinionの上から第2頸椎 (C2) レベルまで. Midline suboccipital craniotomy を行う. Suboccipital musculature は dissection するが, C2 棘突起に付着する筋肉の剝離は禁忌であり, 温存する. Burr hole は SSS の両側に設ける. Tonsillar herniation の risk があれば, 大孔の開放と第1頸椎 laminectomy を行う.
- 硬膜は transverse sinus と torcular Herophili を base にした Y 字状切開を行い, 硬膜弁に tenting suture を加える. ときに, posterior cerebellar incisura に PICA 由来の supplementary feeder がある. あればこれを切断しておく 1. くも膜癒着や小脳と天幕間の bridging vein (手術の進行を妨げるものに限る) を切断して SCIT plane を開放する. Bridging vein は小脳表面の近くで凝固, 切断する (bridging vein の切