原 著

術中血管撮影による脳動静脈奇形の手術

姉川 繁敬, 林 隆士, 鳥越隆一郎
祝迫 恒介, 栄 俊雅

AVM Operation Guided by Intraoperative Angiography

Shigetaka ANEGAWA, M.D., Takashi HAYASHI, M.D., Ryuichiro TORIGOE, M.D.,
Kosuke IWAISAKO, M.D., and Norimasa SAKAE, M.D.

Department of Neurosurgery, Institute of Neurosciences, St. Mary's Hospital,
Kurume, Japan

Summary: Surgical resection of 15 operatively obscure arteriovenous malformations (AVM's) was accomplished with the assistance of intraoperative angiography, which was performed stereographically to provide three-dimensional orientation and was repeated until total resection of the AVM was confirmed. All films obtained were subtracted to improve clarity. The method presented here may be useful for the resection of all types of AVM. Only two patients had residual AVM after the initial operation. No complications attributable to angiography were noted.

Key words:

- intraoperative angiography
- arteriovenous malformation
- cassette holder

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 25: 281-287, 1997

はじめに

脳動静脈奇形(AVM)の手術における最大の問題は三次元的に存在する異常血管をいかに把握するかにつきる。この目的のために、我々の施設においては、独自に cassette holder を開発して術中血管撮影(intraoperative angiography, 以下 IOA)を行っている。我々の方法は、いかなる施設においても、簡単な設備により施行可能であり、さらに鮮鋭度も高く、臨床的有用性が高い。その施行方法ならびにコツについて報告する。

対象ならびに必要な器材(Table 1)

IOA は最近 5 年間に 15 例が行われた。術中撮影では、血管の重なりが少ない側面像が有用であり、頭部矢状線が

床面に対して 90 度で固定されている場合は横方向からの、平行の場合には真上からの撮影を行った。さらに、小さな血管まで描出し、立体視する目的で立体撮影・subtraction を行うことを基本とした。このために、既報したように、術中必要に応じて cassette が着脱可能で、固定が確実で、さらにフィルムの入れ替えが、容易である cassette holder を開発した¹⁾²⁾。これは真上(主に中大脳動脈領域)ないしは横方向(前大脳動脈あるいは後頭蓋窩領域)より撮影し、側面像を得るもので、本法により conventional angiography とほぼ同様の画像を立体撮影・subtraction 像として得ることができ、血管撮影を術中に繰り返すことにより三次元的 orientation を容易に得ることができた。発症は 1 例(Case 12)を除く全例が出血により来院した。また、2 例においては血管内手術を併用した(Case 1, 12)。

Table 1 Clinical summary of 15 patients with arteriovenous malformation

Case #	Age (yrs) Sex	Location†	Preoperative symptoms	Result	Device used‡	Outcome	Result
1	1, f	Galenic lesion	seizure, vomiting	total removal	lateral	no deficit	preoperative embolization
2	10, m	parietal (L)	hemiparesis, aphasia	total removal	lateral	slight aphasia	evacuation of hematoma
3	11, f	cerebellar hemisphere (L)	vegetative state	total removal	supine	slight psychomotor deficit	IOA failed to reveal the lesion in 1st operation
4	12, f	occipital (R)	headache, vomiting	residual AVM in long term follow	supine	no deficit	metal skin clips interfered with visualization of AVM
5	16, m	frontotemporal (L)	hemiparesis, aphasia	total removal	lateral	hemiparesis, aphasia	no deterioration after surgery
6	20, f	cerebellar hemisphere (R)	headache, vomiting	total removal	supine	no deficit	
7	20, f	parietal (L)	semicoma	total removal	supine	slight psychomotor deficit	evacuation of hematoma was performed on admission
8	22, f	frontal (R)	semicoma	total removal	supine	no deficit	
9	24, f	cerebellar hemisphere	semicoma	total removal	supine	minimal cerebellar signs	evacuation of hematoma was performed on admission
10	33, f	temporal (R)	headache, vomiting	total removal	lateral	no deficit	multiple aneurysms were associated
11	33, f	temporal (R)	headache, hemiparesis	total removal	lateral	hemiparesis	
12	41, f	temporal (L)	seizure	total removal	lateral	no deficit	preoperative embolization
13	43, m	parietal (R)	headache, vomiting	total removal	supine	no deficit	
14	46, m	parietal (L)	speech disorder, disorientation, hemianopsia	total removal	supine	hemianopsia	no deterioration after surgery
15	61, m	temporal (R)	semicoma	total removal	lateral	no deficit	ventricular drainage was performed on admission

†; R: right, L: left ‡; supine: device for supine or prone position, lateral: device for lateral position

IOAは我々が考案した、杉田式頭部固定に装着する cassette holder にキャビネ型の film をセットし、内頸動脈系では浅側頭動脈より、椎骨脳底動脈系では腕頭動脈より、それぞれ逆行性に catheter を挿入して撮影を行った。また、立体撮影・subtraction を基本とした。

施行方法

a. 中大脳動脈領域(Fig. 1A)

中大脳動脈領域の AVM では一般的に側臥位により手術が行われる。側面像を得るためには film は頭部固定器の枠内に設置する必要がある。頭部固定の際にはあらかじめ film を設置する空間的余裕が十分であることを確認し、固定を行う。開頭時に浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術の要領で、浅側頭動脈を剥離後中心静脈栄養セットに付属している穿刺針で穿刺を行う。穿刺針を介して先端が直の guide wire を挿入し、これを介して tube を内頸動脈まで導く。

浅側頭動脈から頸動脈分岐部までの長さはあらかじめ測定しておく。撮影は造影剤 10 ml を用手的に注入すると同時にポータブル X 線装置により撮影を行う。さらに subtraction 用の単純撮影を行う。また、同様に立体撮影のために平行移動法ないしは 6 度角度を変えてもう一度撮影を行う。脳動脈瘤用のクリップなどを landmark として術野内に置き、撮影を行うことは手術時の orientation にきわめて有用である。術中は catheter は血管内に留置したままとし、維持のために動脈ライン用のセットにより 3 ml/時でヘパリン生食を注入する。

b. 後頭蓋窩ないしは前大脳動脈領域(Fig. 1B)

この領域の AVM に対しては仰臥位ないしは腹臥位により手術が行われることが多い。したがって、側面像のためには X 線は床面に平行に入ることになり、フィルムは枠外に垂直に固定される必要がある。前大脳動脈領域では浅側

Fig. 1 **A:** Photographs of the device for fixing the film and intraoperative layout of the equipment. The setup is shown with the patient in the lateral position. **B:** Patient in the supine or prone position.

頭動脈を、後頭蓋窩では上腕動脈を穿刺して造影剤を注入した。後者の場合は catheter の長さはあらかじめ先端が鎖骨下となるように測定をしておき、腋窩部にマンシエットを巻き、圧を 200 mmHg 以上としたのちに造影を行った。後の施行方法は中大脳動脈のときと同様である。

結果ならびに症例報告

画像の鮮鋭度は conventional angiography のそれと大差は認めず、三次元的観察が可能のため異常血管と術野内のクリップなどとの位置関係より最少の脳損傷で異常血管のみの摘出が可能であった。1 例は血管と金属製頭皮クリップが重なり残存異常血管を認めたため (Case 4)、他の 1 例においては左椎骨動脈が大動脈より直接分岐していたため (Case 3)、初回の手術では全摘できず、再手術を必要とした。また、残存していたと考えられる AVM が増大してきた 1 例 (Case 4) を除き、術後の血管撮影で異常血管の出現は認めず、術後の CT においても血腫部ないしは異常血管の存在部位に局限した局所性脳萎縮を認め、新たな脱落症状の出現は認めなかった (Table 1)。

<症例 1> (Case 15) 61 歳、男性。

現病歴: 仕事中に突然の頭痛ののち、意識障害が出現したために当院に搬送された。来院時の CT で左側脳室内から第 3 脳室、対側側脳室までひろがる血腫を認め、脳血管撮影にて左中大脳動脈より栄養される傍脳室 AVM を認めた (Fig. 2A, B)。

手術: 来院時に水頭症を認めたために、直ちに脳室体外ドレナージを行った。意識の改善を待って、手術を発症 14 日目に行った。AVM は中大脳動脈領域にあるために、

Fig. 2 Case 15. **A:** Preoperative CT scan demonstrates an intraventricular hemorrhage predominantly in the right temporal horn of the lateral ventricle. **B:** Preoperative lateral angiogram showing a small right temporal paraventricular arteriovenous malformation (AVM) (arrow).

Fig. 3 A: Intraoperative angiogram revealing the AVM and aneurysmal clips placed for landmarks; arrows indicate a catheter inserted via the superficial temporal artery. B and C: Stereographic observation is possible using angiograms. D: Artist's drawing of stereographic angiograms showing the location of the lesion. E: Intraoperative angiogram taken at the end of the operation showing no residual piece of the AVM.

半側臥位にて杉田式頭部固定器に頭部矢状線を床面に平行に固定した。このときに、頭部とフレームとの間に film cassette が余裕をもって設置できることを確認した。左の前頭側頭開頭を行った。皮膚切開時に浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術の要領で浅側頭動脈を確保した。中心静脈セットの針により浅側頭動脈を穿刺し、動脈血の逆流を確認後に先端が直の guide wire を血管内に挿入した。その後 guide wire を介して中心静脈 catheter を挿入した。開頭を行い、硬膜切開後脳表を露出した。下側頭回を開き、深部

に到達し、動脈瘤クリップを landmark として脳内に置き、術中血管撮影を行った。血管撮影で得られた AVM と landmark の位置を考慮しつつ、全摘を行った (Fig. 3A ~ D)。全摘の確認のために再度血管撮影を行った。この際に、動脈相の phase をわずかに変えて撮影することにより、残存した異常血管がないことを確認した (Fig. 3E)。

術後経過：術後の経過は順調であり、血管撮影で AVM の消失を認めた (Fig. 4A, B)。現在、もとの職業に復している。

Fig. 4 Postoperative CT scan (A) and angiogram (B) demonstrating complete resection of the AVM with minimal brain damage.

Fig. 5 Case 6: Preoperative CT scan (A) and angiogram (B) showing a intracerebellar hematoma and an arteriovenous malformation (AVM) in the left cerebellar hemisphere.

<症例 2> (Case 6) 20 歳，女性。

現病歴：突然の頭痛ならびに嘔吐により来院した。来院時の CT にて小脳出血が認められた。脳血管撮影にて上小脳動脈より栄養される AVM が認められた (Fig. 5A, B)。

手術所見：麻酔の導入が終わった時点で左腕橈動脈の穿刺を行い，そこより逆行性にあらかじめ計測した鎖骨下までの長さ catheter を挿入した。この後に腹臥位とし，杉田式頭部固定器に側面撮影用の cassette holder を装着した。後頭下開頭を行い，小脳半球内を検索すると AVM が

認められ，IOA による誘導によってこれを摘出した (Fig. 6A)。摘出終了後にクリップを landmark として術中撮影を行った。その結果ではクリップの先端に AVM の一部の残存が認められたために残存部を摘出した (Fig. 6B, C)。

術後経過：術後の経過は順調であり，CT ならびに脳血管撮影で問題はなく，術後存在した小脳症状も早期に消失した (Fig. 7A, B)。

考 按

AVM は脳内に三次元的に存在しており，手術中にその

Fig. 6 A: Initial intraoperative angiograms revealing a hemostatic clip as a landmark (*arrow*) and AVM. Subsequent angiograms demonstrating a small residual AVM in front of the landmark clip (B, *arrow*) following by complete resection (C).

A | B | C

Fig. 7 Postoperative CT scan (A) and angiogram (B) showing successful resection of the AVM with minimal brain damage.

解剖学的広がり理解しつつ摘出することが必要である。しかし、時として術後の血管撮影で残存 AVM を認めたり、取り残しを恐れるあまり必要以上の脳実質に障害を与えてしまう可能性がある。一方、きわめて小さくかつ深部に存在する AVM においては病巣に到達することすら困難な場合もある。

以上の問題点に対する対策として、現在までに IOA より AVM の消失を確認する方法や¹⁾²⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾，stereo-

tactic に病巣まで tube を挿入し、それに沿って手術を行う方法がとられてきた¹¹⁾。しかし、前者に関しては 1978 年に Study group on microsurgical treatment of neurovascular disease によって問題提起されたように、その有用性にもかかわらず画像の鮮鋭度に問題があるとされ⁵⁾，後者においては出血を引き起こす危険性が大きいものと考えられる。

一方、最近の IOA においては portable digital subtrac-

tion unitの使用やradiolucentな頭部固定器の開発が報告されているが、画像の鮮鋭度はいまだ満足の域に達しているとはいいがたく、繊細な異常血管の描出は不可能であるといっても過言ではない³⁾⁴⁾⁶⁾⁸⁾⁹⁾。さらに、これらの機器は高価であり、すべての施設に備わっているわけではない。われわれの方法に必要な機器は、町工場にて容易にしかも安価に作成可能である簡単なcassette holder、腕橈動脈経由のcatheterないしは中心静脈セット、いくつかのガラス製のコック付きのsyringeそれに造影剤のみである。さらに、造影剤を注入一定時間後に撮影をする方法は、初回の撮影で最良のタイミングを把握して、それ以降の撮影を行うことにより、ほぼ確実に希望するタイミングの画像を得ることが可能で、いずれの施設にもあるポータブルX線装置にても鮮鋭な画像を得ることができる¹⁾²⁾⁶⁾。一方、幼児期ならびに小児期における本法施行にあたっての問題点としては、血管径が成人に比べて細いことならびに穿刺できる血管に限られていることであり、このために、動脈穿刺、catheterの挿入ならびに術中の管理が困難となる。浅側頭動脈の穿刺は幼少児では困難性が大きいものと考えられ、また頸動脈の直接穿刺も幼児期には困難であり、長時間にわたるcatheterの留置による血管の閉塞などの危険性が大きくなるものと考えられる。このような患児においては腕頭動脈よりのcatheter挿入が必要であった。さらに、幼児で腕頭動脈より逆行性にcatheterを挿入しても、catheterの径は小さくならざる得ず、単位時間内に血管内に注入できる造影剤の量は当然少なくなってくる。したがって、良好な画像を得るために、腋窩部をマンシェットで巻くことにより少しでも多くの造影剤を頭蓋内に導くことやsubtraction法を用いて、鮮鋭度を上昇させることが必要で、立体撮影をすることも血管の1本1本を識別するために有用であった⁷⁾。

さて、現在まで報告されたIOAでは頭部固定器の内側にフィルムを固定する方法がとられてきた²⁾⁵⁾⁶⁾¹⁰⁾。この方法では、一定方向のみしか撮影できないために頭部矢状線を床面と平行に固定する中大脳動脈領域の病巣に対しては、周囲血管との重なりがないため有用であるが、頭部を90度の角度で固定する場合が多い前大脳動脈やposterior circulation領域に存在するAVMにおいては血管の重なりがorientationを困難にする。すなわち、IOAはlateral viewにて観察することが重要である。さらに立体撮影を行うことにより満足に足る三次元的orientationを得ることができる。

一方、IOAの意義であるが、これまで手術終了時の完全摘出の確認をその唯一目的とする場合が多かった。我々

は症例によっては硬膜を開いた時点から血管撮影を開始し、術中必要に応じてこれを繰り返した。さらに、血管クリップなどのlandmarkを術野内に置いて血管撮影を行うことにより三次元的orientationを容易に得ることが可能であった。このことにより術野にみえている血管が術前血管撮影所見上のどの血管に相当するかを確実に把握することが可能であり、またtemporary clipを行い血管撮影を繰り返すことによって循環動態の変化も観察できた。我々の方法では、鮮鋭度はconventional angiographyと比べても見劣りはせず、きわめて繊細な血管まで描出可能であり、広く臨床応用が可能であると考えられた。

結 語

1. AVM手術の困難性は脳内に三次元的に広がる異常血管をいかに把握するかに尽き、この方法は臨床的有用性に富んでいる。
2. この目的のためにsubtractionならびに立体撮影は必須である。
3. 症例によっては術中複数回IOAを繰り返すことにより正確で安全な手術を行うことが可能である。

文 献

- 1) 姉川繁敬, 林 隆士, 鳥越隆一郎: 術中血管撮影 一側面像観察用のフィルム固定器と施行方法一. **2**: 162-164, 1993
- 2) 姉川繁敬, 鳥越隆一郎, 工藤 隆, ほか: 術中血管撮影. フィルム固定器の試作ならびに施行方法. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **27**: 729-732, 1987
- 3) Bauer BL: Intraoperative angiography in cerebral aneurysm and AV-malformation. *Neurosurg Rev* **7**: 209-217, 1984
- 4) Foley KT, Cahan LD, Hieshima GB: Intraoperative angiography using a portable digital subtraction unit. *J Neurosurg* **64**: 816-818, 1986
- 5) Fox JL, Albin MS, Malis LI, *et al*: Microsurgical treatment of neurovascular disease. Part III: Neuroradiology, neuroanesthesiology. *Neurosurgery* **3**: 321-337, 1978
- 6) 半田 隆, 根来 真, 宮地 茂, ほか: 術中血管撮影用の頭部固定枠の開発. *脳外誌* **4**: 514-517, 1995
- 7) Hüer P, Krayenbül H, Yaşargil MG: Cerebral angiography. Stuttgart, Georg Thieme, 1982, p 5
- 8) Loop JW, Foltz EL: Application of angiography during intracranial operation. *Acta Radiol (Diagn)* **5**: 363-369, 1966
- 9) Meguro K, Tsukada A, Matsumura A, *et al*: Portable digital subtraction angiography in the operating room and intensive care unit. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **31**: 768-772, 1991
- 10) Parkinson D, Legal J, Holloway AF, *et al*: A new combined neurosurgical holder and cassette changer for intraoperative serial angiography. *J Neurosurg* **48**: 1038-1041, 1979
- 11) Sisti MB, Solomon RA, Stein BM: Stereotactic craniotomy in the resection of small arteriovenous malformations. *J Neurosurg* **75**: 40-44, 1991
- 12) Smith RW: Intraoperative intracranial angiography. *Neurosurgery* **1**: 107-110, 1977