頭蓋内 AVM に対するバルーンカテーテルの応用

武田利兵衛・宇佐美 卓・中川原譲二・藤原 秀俊・佐藤 純人・瓢子 敏夫
橋本 郁郎・堀田 隆史・中村 順一・末松 克美*

Clinical Application of Cerebral Endovascular Balloon Catheter for Arteriovenous Malformation

Case Report

Rihei TAKEDA, Takashi USAMI, Joji NAKAGAWARA, Hidetoshi FUJIWARA,
Sumito SATO, Toshio HYOGO, Ikuo HASHIMOTO, Takashi HOTTA,
Junichi NAKAMURA and Katsumi SUEMATSU*

*Departments of Neurosurgery and *Stroke Research Laboratory, Nakamura Memorial Hospital, Sapporo*

Abstract

A case of occipital arteriovenous malformation (AVM), successfully treated by using a detachable balloon catheter, was reported. The patient was a 25-year-old female who developed a photogenic seizure. Selective left internal carotid angiography showed an AVM in the occipital lobe (Luessenhop Grade II). Selective angiography using a non-detachable balloon catheter (elimination method) was performed for the detailed preoperative examination. A tolerance test during the temporary occlusion of each feeder was performed. At the same time the oxygen content of arterial and internal jugular blood was measured before and after occlusion of main feeders. Just before the operation, selective embolization of the main feeding arteries from the posterior cerebral artery with a detachable balloon was performed. The angiography following embolization showed devascularization of two-thirds of the AVM nidus. Surgical resection was performed without difficulty. Total blood loss was estimated to be less than 200 ml.

Embolization using a detachable balloon catheter seemed to be an effective adjunctive treatment prior to operative removal of AVM.

Key words: balloon catheter, embolization, artificial occlusion, arteriovenous malformation

I はじめに

1974年の Serbinenko¹²⁾ による離脱型バルーンカテーテルシステムを用いた頭蓋内血管病変の治療法の発表以来、種々のバルーンカテーテルシステムを用いた血管内手術の経験が報告されている^{3,5,9,15)}。とりわけ脳動静脈奇形 (AVM) に関しては、AVM 自体が high flow を有するため

導入血管へのバルーンカテーテルの誘導が容易であり、種々のバルーンカテーテルシステムを使用しての治療試験が報告されている。我々も最近、宇佐美ら^{16,17)}が開発したバルーンカテーテルシステムを用いて後頭葉 AVM に対し合計 2 カ所のバルーン塞栓を行い直後の AVM 摘出術が容易となった症例を経験したので、本症例を中心に AVM の治療における“preoperative balloon occlusion”の有用性

中村記念病院脳神経外科 *同脳血管研究所

Address reprint requests to: R. Takeda, M.D., Department of Neurosurgery, Nakamura Memorial Hospital, North-1, West-14, Chuo-ku, Sapporo 060.

受稿 1983年8月3日 受理 1983年11月29日

と問題点について文献的考察を加え報告する。

Ⅱ 症 例

<患者> 25才，女性

主訴：全身痙攣

家族歴・既往歴：特記すべきことなし

現病歴：1982年12月23日，ガラス器具を見ていると右眼

下方より光の渦様のものが出現し意識消失，その直後全身性の tonic and clonic type の痙攣が出現した。約1時間で意識は回復したが，12月25日，精査のため入院となった。

入院時神経学的所見：意識は清明で一般状態も良好であり，視野を含めた神経眼科的検査でも異常所見は認めず，さらにその他の神経学的検査でも異常所見は認めなかった。

Fig. 1 Left internal carotid angiograms showing an occipital arteriovenous malformation supplied by a parieto-occipital artery (arrow), posterior temporal artery (arrowhead) of the posterior cerebral artery (PCA), and posterior temporal artery (double arrow) of the middle cerebral artery (MCA).

神経放射線学的検査所見：CT では左後頭葉に散在性の高吸収域を認め、これは造影剤投与にて強く enhance され、AVM が示唆された。さらに左内頸動脈撮影にて、後大脳動脈の posterior temporal artery, parieto-occipital artery および中大脳動脈の posterior temporal artery を導入血管とし、皮質静脈を導出静脈として横静脈洞に流出する左後頭葉 AVM (Luessenhop Grade II) が明らかとなった (Fig. 1).

なお、後大脳動脈は拡張した fetal type であり、バルーンカテーテルの導入が容易なものと予想された。

術前検査：1983年1月17日、AVM の導入・導出血管の明確なる同定を目的として、シリコン性の非離脱型バルーンを総頸動脈経由で各導入血管に誘導したのち nidus 直前の部をバルーンにて閉塞し、ただちに内頸動脈内に留置された introducer より造影剤を注入して脳血管写を施行し

Fig. 2 Left internal carotid angiograms showing a balloon in the P3 segment of PCA (A), a balloon in the posterior temporal artery (B), and a balloon in the parieto-occipital artery (C).

た。本法は、目的とする血管分枝に直接バルーンを導入してバルーンピンホールから造影剤を注入する超選択的造影，すなわち direct method (直接法) に対し elimination method (消去法) と呼ばれるが，とりわけ AVM の各導入血管の閉塞による AVM nidus の devascularization が確認されると同時に各導入血管の正確な血流支配が観察され，術前情報として有用であった。Fig. 2 は，後大脳動脈 P₃ segment のバルーン閉塞および posterior temporal artery, parieto-occipital artery のバルーン閉塞による elimination method の選択的左内頸動脈写像である。さらに中大脳動脈の posterior temporal artery 本幹および分枝部でバルーン閉塞を行い，同様の脳血管写を施行した。これら 5 本の導入血管のバルーン閉塞時におおの 3 分間の tolerance test を行ったが，神経脱落症状の出現は認めなかった。なおこれらの操作時に，あらかじめ左内頸静脈球部，右大腿動脈に留置していたカテーテルより各導入血管のバルーン閉塞前・後(直前・直後)に採血を行い酸素分圧・酸素飽和度を測定し，この値より閉塞前・後の酸素含量を求めた。ついで短時間の血流動態の変化ということより脳代謝は一定であると仮定し，各導入血管の閉塞前・後の動脈血・内頸静脈血酸素含量較差から fractional shunt flow rate (FSFR) を算出し，AVM の血流動態の検索を行った^{7,9)}(Table 1, Fig. 3)。以上の結果より，本例においては後大脳動脈が主導入血管であり，この血管を離脱型バルーンにて閉塞させることは AVM 摘出術の adjunctive treatment として有用であろうと判断し，塞栓術を計画した。なお，AVM 導入血管の塞栓術施行後 normal perfusion pressure breakthrough (NPPB)¹³⁾ によると思われる脳内血腫が発生したとの報告もあり，これを回避すべく，離脱型バルーンによる導入血管塞栓術は AVM 摘出術直前に induced hypotension のもとで行うべく予定した。

AVM 導入血管塞栓術および摘出術：1983年2月4日，あらかじめ計測された血管内径を参考に各種サイズの離脱型バルーンを用意し，局麻下に手術を施行した。バルーンは経皮的に総頸動脈経路で挿入し，flow-guide のみならず，本バルーンカテーテルの特徴とも言うべきトルクコントロールを行いつつ各導入血管に誘導した。バルーンの位置が nidus 直前であることを確認したのち，twist and traction にてバルーンの離脱を行った。なお，バルーンの充填には重合シリコンを使用した¹⁶⁾。後大脳動脈の posterior temporal artery および parieto-occipital artery のバルーン塞栓にて AVM は中大脳動脈からの血流支配のみとなり，nidus は約 1/3 程度に devascularization された (Fig. 4)。全経過は 1 時間半で終了したが，この間平均全身血圧は 70 mmHg に維持した。これらの操作終了と同時に手術室

Table 1 Evaluation of fractional shunt flow rate of AVM with balloon occlusion of feeding arteries

Theoretical formula:

Pre-occlusion of a feeding artery

$$F_1 = f \times \frac{W}{100} + S_1 \text{ (ml/min)} \quad \dots\dots\dots ①$$

$$CMRO_2 \times \frac{W}{100} = (CaO_2 - C_{j1}O_2) \times F_1 \quad \dots\dots\dots ②$$

$$\left\{ \begin{array}{l} CMRO_2 = (CaO_2 - CvO_2) \times f \\ f \times CvO_2 + S_1 \times \frac{100}{W} \times CaO_2 = (f + S_1 \times \frac{100}{W}) \times C_{j1}O_2 \end{array} \right.$$

F_1 : total intracranial blood flow

f : true mean-CBF (ml/100g/min)

W : weight of brain

S_1 : A-V shunt flow

CaO_2 : content of O_2 in arterial blood

$C_{j1}O_2$: content of O_2 in jugular blood

CvO_2 : content of O_2 in venous blood from brain tissue

Post-occlusion of a feeding artery

$$F_2 = f \times \frac{W}{100} + S_2 \text{ (ml/min)} \quad \dots\dots\dots ③$$

$$CMRO_2 \times \frac{W}{100} = (CaO_2 - C_{j2}O_2) \times F_2 \quad \dots\dots\dots ④$$

if $CMRO_2 = \text{constant}$, $f = \text{constant}$,

then; from ①, ②, ③, ④

$$\frac{S_1 - S_2}{F_1} = \frac{C_{j1}O_2 - C_{j2}O_2}{CaO_2 - C_{j2}O_2}$$

$$\text{Fractional shunt flow rate} = \frac{S_1 - S_2}{F_1} \times 100 (\%)$$

に搬送し，左頭頂後頭開頭にて AVM の摘出術を施行した。Nidus は術前の予想どおり中大脳動脈の導入血管を処理することで容易に摘出され，また後大脳動脈領域において塞栓部より中枢側に AVM に導入する微細血管を一部認めたが容易に処理しえた。なお，塞栓血管は血栓化の所見を呈していた。最後に術中脳血管写で AVM の消失を確認し，手術を終了した。出血量は 200 cc 以下で輸血は必要としなかった。

術後経過：術後 homonymous scotoma の出現をみたが改善が著明であり，1 カ月後の脳血管写で再度 AVM の消失を確認し (Fig. 5)，1983年3月7日，退院となった。

III 考 察

AVM に対する人工塞栓術の成功は，1960 年の Luessenhop and Spence¹⁰⁾ の報告に始まるものと思われる。当初は頸動脈を露出し，動脈切開を施して施行されていた¹¹⁾。しかしながらその手技は，AVM の速い血流にのせて塞栓を試みる blind (unguided) embolization がすべてであり，したがってその対象となる AVM は，外科的に治

Fig. 3 Fractional shunt flow rate is shown at the left upper corner of each picture. 1: Posterior temporal artery, 2: parieto-occipital artery, 3: P3 segment of PCA, 4: posterior temporal artery of MCA.

療不可能で放置しておけば生命にかかわる症例に限られていた。しかし1971年 Wolpert ら¹⁹⁾は、種々の治療経験からその対象として① AVM が中大脳動脈のみから導入され、②中大脳動脈の導入血管と付近の健常血管の径比が4.5 : 1 以上である症例と述べその適応を拡大した。さらに1981年には塞栓術のみ施行された AVM 27 例の分析から、頭痛の頻度減少には有効であるが痙攣その他の神経症状の改善にはほとんど無効とし、再出血防止の効果については不明と結論付けている。しかし blind embolization による神経学的副作用に関しては、59回の塞栓術において19例に一過性の神経学的異常所見をみたものの明らかな合併症は2%と少なく、必ずしも理想的な症例でなくともかなりの AVM が治療対象となりうると述べている¹⁸⁾。

さて、blind embolization に対するものとして selective embolization がある。これは1974年の Serbinenko¹²⁾の報告以来 Debrun ら³⁾、Gacs⁴⁾、滝ら^{14,15)}、Hieshima ら⁵⁾、宇佐見ら^{16,17)}により報告されているが、離脱型バルーンを用いた solid embolization と Kerber balloon⁸⁾に代表される calibrated leak balloon を用いての硬化性液体による liquid embolization に分類される^{1,2)}。前者の離脱型バルーンを用いての solid embolization は、blind embolization に比し血

管の選択性という点では優れているが、塞栓術単独では“intravascular ligature”の意味しか有しておらず、根治できる場合は少なく限界性を有する。しかしながら、我々が施行したごとく摘出術前の preoperative balloon occlusion として solid embolization を行えば AVM は devascularization され、結果として手術は容易なものとなる。この意味で、AVM に対する離脱型バルーンを用いた solid embolization は Table 2 のごとく AVM 摘出術の adjunctive treatment として有用なものと考えられる。一方 liquid embolization に関しては、我々は経験していないが AVM の塞栓術ではもつとも治癒率が高いと考えられ¹⁴⁾、今後は本邦においても、硬化性液体の入手が容易になりしだい多用されるものと思われ、諸家の報告を期待したい。

なお本例において、AVM の各導入血管を介する A-V shunt flow の半定量的測定をも試みた。その方法は、導入血管の閉塞前・後の動脈血・内頸静脈血(球部より採血)の

Table 2 The role of embolization for cerebral AVM

1)	Adjunction of direct operation
2)	Palliative treatment for inoperable AVM

Fig. 4 Left internal carotid angiograms showing two detachable balloons occluding the two PCA's main feeders, parieto-occipital artery (arrow) and posterior temporal artery (arrowhead), and a decrease in the opacification of two-thirds of the malformation.

酸素含量を測定し^{7,9)}、この間の全脳的な酸素消費量および脳組織を灌流する血流が一定という条件下で、さらに A-V shunt flow については酸素消費がないものと仮定し、Table 1 のごとく 1 本の導入血管を介する A-V shunt flow と閉塞前の一側全頭蓋内血流との比を算出し、これを FSFR として求めたものである。本法では一側全頭蓋内血流を実測しえないため、A-V shunt flow の実測値を求めることはできないが、FSFR は全頭蓋内血流に対する A-V shunt flow の割合を表す指標であることから AVM の血流動態の詳細な検討が可能となり、AVM 根治術の際の導入血管の処置の進め方を決定するのにきわめて有用であると考えられた。本例においては後大脳動脈 posterior temporal artery は 16.9%、parieto-occipital artery は 16.7% であり、その総和と考えられる後大脳動脈 P₃ segment は 35.9%、さらに中大脳動脈 posterior temporal artery は 6.0% と計算され、後大脳動脈が主要導入血管と考えられた。

最後に、AVM 導入血管塞栓術後、時に NPPB が生じ脳内血腫あるいは脳浮腫をきたしうるとの Spetzler らの報告

があるが¹³⁾、本例においてはバルーン塞栓による同様の発生を予防するため、全身平均血圧を平常の -15% 前後に維持し、さらにバルーン塞栓後ただちに摘出術を施行することにより NPPB の発生をみなかった。確かに本例のみの経験で preoperative balloon occlusion および induced hypotension が NPPB 発生予防に有用であるとの結論は出せないが、preoperative balloon occlusion に関しては、Hieshima ら⁶⁾もバルーン塞栓を AVM 摘出術の adjunctive treatment として行う場合は有用であると報告しており、特に手術を前提にした場合には有用であろうと思われた。なお、induced hypotension の評価については今後さらに症例を重ね検討していきたい。

IV ま と め

後頭葉 AVM に対し preoperative balloon occlusion (intravascular ligation) を行い良好な結果を得、本法は AVM 根治術における adjunctive treatment として有用であると考えられた。また、導入血管のバルーン閉塞前・後の動脈血

Fig. 5 Left internal carotid angiograms, after surgical resection of the malformation.

・内頸静脈血の酸素含量較差より各導入血管の fractional shunt flow rate を測定することでAVM 血流動態の検討が可能となり、手術の際の導入血管の処置の進め方の決定に有用であった。なおAVM 導入血管閉塞術による normal perfusion pressure breakthrough は、根治術直前のバルーン離脱および操作中・操作後の induced hypotension により発生をみなかった。

本論文の要旨は、北日本脳神経外科連合会第7回学術集会(1983年6月、福島)において発表した。

文 献

- Bernstein A, Kricheff II: Catheter and material selection for transarterial embolization: Technical consideration I. Catheters. *Radiology* 132: 619-630, 1979
- Bernstein A, Kricheff II: Catheter and material selection for transarterial embolization: Technical considerations II. Materials. *Radiology* 132: 631-639, 1979
- Debrun G, Lacour P, Caron JP, Hurth M, Comoy J, Keravel Y: Detachable balloon and calibrated-leak balloon techniques in the treatment of cerebral vascular lesions. *J Neurosurg* 49: 635-649, 1978
- Gacs G: Catheterization and superselective angiography of the cerebral vessels. *Neuroradiology* 12: 237-241, 1977
- Hieshima GB, Grinnell VS, Mehringer GM: Detachable balloon for therapeutic transcatheter occlusion. *Radiology* 138: 227-228, 1981
- Hieshima GB, Mehringer GM, Grinnell VS, Landau B, Sage DJ, Goodman SJ, Beresini D, Pribram HF: Preoperative balloon occlusion: "Intravascular ligature". *Surg Neurol* 17: 191-196, 1982
- 唐澤 淳, 栗山良紘, 畔 政和, 菊池晴彦, 沢田 徹, 光木 徹: 脳循環代謝モニターシステムの開発. II. 内頸静脈血酸素分圧と脳循環代謝. *脳と神* 34: 239-249, 1982
- Kerber C: Balloon catheter with a calibrated leak. *Radiology* 120: 547-550, 1976
- 栗山良紘, 沢田 徹, 唐澤 淳, 菊池晴彦, 畔 政和, 新美次男, 成富博幸: 脳循環代謝モニターシステムの開発. I. アルゴンガスおよび医用質量分析器を用いた脳血流量測定法の検討. *呼吸と循環* 29: 147-151, 1981
- Luessenhop AJ, Spence WT: Artificial embolization of the cerebral arteries. *JAMA* 172: 1153, 1960

- 11) Luessenhop AJ, Velasquez AC: Observation on the tolerance of the intracranial arteries to catheterization. *J Neurosurg* 21: 85-91, 1964
- 12) Serbinenko FA: Balloon catheterization and occlusion of major cerebral vessels. *J Neurosurg* 41: 125-145, 1974
- 13) Spetzler RF, Wilson CB, Weinstein P, Mehdorn M, Townsend J, Telles D: Normal perfusion pressure breakthrough theory. *Clin Neurosurg* 25: 651-672, 1978
- 14) 滝 和郎, 半田 肇: 頭頸部領域の人工塞栓術. 脳神経外科 11: 7-15, 1983
- 15) 滝 和郎, 半田 肇, 山形 専, 松田 功, 米川泰弘, 筏義人, 岩田 博夫: 頭蓋内血管の超選択的血管造影および閉塞治療に対する balloon catheter の応用. 脳神経外科 7: 431-435, 1979
- 16) 宇佐美卓, 水上公宏, 河瀬 斌, 田沢俊明, 富樫 修, 兵頭明夫: 脳血管内バルーンカテーテル法(第1報) — 器具と手技 —. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 23: 131-137, 1983
- 17) 宇佐美卓, 水上公宏, 河瀬 斌, 田沢俊明, 富樫 修, 兵頭明夫: 脳血管内バルーンカテーテル法(第2報) — 臨床応用 —. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 23: 138-144, 1983
- 18) Wolpert SM, Barnett FJ, Prager RJ: Benefits of embolization without surgery for cerebral arteriovenous malformations. *AJR* 138: 99-102, 1982
- 19) Wolpert SM, Setin BM: Factors governing the course of emboli in the therapeutic embolization of cerebral arteriovenous malformations. *Radiology* 131: 125-131, 1971

[別刷請求先: 〒060 北海道札幌市中央区南1条西14丁目, 中村記念病院脳神経外科, 武田利兵衛]