脳動脈瘤手術における術中皮質血流測定の有用性について

長尾 省吾, 植田 清隆, 吉岡 純二, 三野 章呉
藤原 敬, 土田 高宏, 大本 堯史

Intraoperative Monitoring of Cortical Blood Flow During Aneurysm Surgery

Seigo NAGAO, M.D., Kiyotaka UETA, M.D., Junji YOSHIOKA, M.D., Syogo MINO, M.D.,
Takashi FUJIWARA, M.D., Takahiro TSUCHIDA, M.D., and Takashi OHMOTO, M.D.

Department of Neurological Surgery, Kagawa Medical School, Kagawa, Japan

Summary : During aneurysm surgery, regional cortical blood flow (CoBF) was continuously monitored in six patients with a thermal diffusion flow probe in an attempt to assess the effects of temporary major artery occlusion on flow.

The equipment and methods employed are presented in this paper. The CoBF was stable between 50 to 70 ml/100g/min. Changes in flow due to vascular occlusion were readily apparent.

The reduction in flow was milder in common and internal carotid occlusion than in the obliteration of the middle (M₁) and anterior (A₁) cerebral artery.

The occlusion time varied from 0.5 to 14 minutes and CoBF decreased to 15 to 50 ml/100g/min.

Five patients showed no postoperative deficits. Their CoBF and occlusion time were as follows: 15 ml/100g/min for one minute, 25 ml/100g/min for eight minutes and 50 ml/100g/min for 14 minutes.

One patient revealed bilateral basal ganglia infarction after occlusion of the dominant left A₁ segment for six to eight minutes, which was not detected by CoBF monitoring.

Attention should be paid to the blood flow in the deep structures when a temporary clip is applied at the site proximal to perforating branches.

Direct measurement of CoBF may be of value in estimating the length of time that temporary clipping of a major vessel can be tolerated.

Key words :

- aneurysm surgery
- intraoperative monitoring
- cortical blood flow
- temporary occlusion
- cerebral ischemia

はじめに

脳動脈瘤や脳動静脈奇形(AVM)をはじめとする種々の脳血管障害の手術に際して、皮質脳血流(CoBF)^{1)~4)}や誘発反応⁵⁾を測定し、術中の異常な血流や神経機能の変化をモニタリングする試みがなされている。AVMの症例では、ドプラー流速計によって流入流出動静脈や脳深部に存在するAVMの同定が行われたり⁶⁾、STA-MCA吻合術やモ

ヤモヤ病における血管吻合術では、術中CoBFの測定によって手術効果や血流動態が検討された報告もある²⁾³⁾。

われわれは術中に血流遮断が予想される脳動脈瘤やAVMの症例に対して、手術をより安全かつ確実に行うために術中CoBFを測定しているが、本稿では脳動脈瘤症例につき、親動脈一時血流遮断のCoBFおよび術後神経機能に及ぼす影響を中心に述べる。

Table 1 Summary of patients with intraoperative monitoring of cortical blood flow during aneurysm surgery

Case	Age (yr) Sex	Site of aneurysm	Preope grade	Occluded artery	Occlusion time (min)	Mannitol	Decrease of CoBF by occlusion (ml/100g/min)	Neurological deficit due to temporary occlusion	Clinical outcome
1	50 M	Lt. IC- ophthalmic	I	Rt. CC+EC	14	—	60→50	—	excellent
2	70 F	Rt. IC-PC	IV	Rt. CC	4.5	+	60→35	—	excellent
3	59 M	Rt. MCA	III	Rt. M ₁	9.5, 3	—	55→30 55→35	—	excellent
4	51 M	Lt. A ₁	IV	Lt. CC, IC, M ₁	3, 3, 1	+	60→40 (CC) 60→45 (IC) 60→15 (M ₁)	—	died
5	73 F	A com A	III	Lt. CC, A ₁	0.5, 6.5, 8	+	60→40 (CC) 60→30 (A ₁)	+	poor
6	54 F	Rt. MCA	II	Rt. M ₁	8	—	55→25	—	excellent

CC: common carotid artery, EC: external carotid artery, IC: internal carotid artery, MCA: middle cerebral artery, A com A: anterior communicating artery, M₁: M₁ segment of middle cerebral artery, A₁: A₁ segment of anterior cerebral artery, CoBF: cortical blood flow.

Fig. 1 Case 1. CoBF tracing during common and external carotid occlusion, demonstrating adequate collateral circulation.

対象および方法

術中 CoBF 測定下に血流遮断がなされた脳動脈瘤は 9 例であるが、そのうち 6 例を対象とした (Table 1)。血流遮断は頸動脈圧迫あるいは杉田のクリップを用い、瘤の位置に応じて、総頸動脈、総頸動脈+外頸動脈、頭蓋内内頸動脈、中大脳動脈 M₁ (多くは末梢部 M₁)、一側あるいは両側 A₁で行った。

CoBF 測定はユニーク・メディカル社製の制御差温式組織血流計 (UMW-101-S4) を用いた。この脳血流計の原理は、ヒートクリアランス法であるが、死脳で 0 レベルを設定し、水素クリアランス法で得られた生脳 CoBF の実測値をデジタル表示値に scale adjust して、CoBF の絶対値が連続的に測定できるように改良されており、安定した術中記録が可能である。

実際の測定にあたっては、pterional approach によって露出されたシルビウス裂上部の前頭葉脳表に密着するよう

に直径 13mm のプレート電極をおき、さらに湿綿シートで被い、電極の移動や脳表乾燥のないように圧着した。電極の位置は遮断される動脈によって適宜その灌流領域とした。血流測定範囲は電極の接触面下約 2 mm とされている。

最初に症例を呈示する。

〈症例 1〉 50 歳、男性。

Lt. IC-ophthalmic aneurysm. 収縮期血圧約 110mmHg として、あらかじめ露出していた総頸および外頸動脈を閉塞したところ、前頭葉 CoBF は 60 より約 50ml/100g/min と 20% 以下の減少にとどまった (Fig. 1)。ネックの剥離、クリッピングに際し、約 14 分間の血流遮断を要したが、術後、遮断による神経脱落症状は認められなかった。

〈症例 2〉 70 歳、女性。

Rt. IC-PC aneurysm. Grade IV, day 3 で手術。動脈瘤を剥離後、クリッピングに際して右総頸動脈を圧迫したとこ

Fig. 2 Case 2. Effect of compression of common carotid artery on CoBF.

ろ、CoBFは60より約35ml/100g/minと約40%低下したため、圧迫遮断時間を4分30秒と短縮してクリッピングを終えた(Fig. 2)。術後血流遮断によると思われる脱落症状は出現しなかった。術前G IVであったが、発症以前と同状態まで回復し、元気に退院した。

〈症例3〉 59歳、男性。

Rt. MCA aneurysm. Grade III, day 10で手術。術中動脈瘤破裂のためM₁末梢部にて血流遮断(9分30秒)、クリッピングを行った。この際CoBFは55より30ml/100g/minと約45%低下した。そこで一時遮断を約3分間と短縮してクリップをかけ直した。術後なんら神経脱落症状なく退院した(Fig. 3)。

〈症例4〉 51歳、男性。

Lt. A₁ aneurysm. Grade IV, day2で手術。総頸あるいは内頸動脈の一時血流遮断では、CoBFは60より40、

45ml/100g/minと減じたが、M₁1分間遮断では15ml/100g/minと著明に低下した(Fig. 4)。術後遮断によると思われる新たな神経脱落症状は認められなかったが、脳血管攣縮による両半球脳梗塞で死亡した。

〈症例5〉 73歳、女性。

A Com aneurysm. Grade III, day 3で手術。CoBFは総頸動脈の圧迫で60より40ml/100g/minと減少した。本例では右A₁はhypoplasia。穿通枝の剝離および確保、クリッピングのため左A₁の一時遮断を6.5, 8分間の2回行ったが、この際CoBFは60より30ml/100g/minと50%低下した。術後意識レベルは半昏睡と悪化して、CTで両側大脳基底核部に低吸収域の出現を認め、恐らく一時血流遮断による穿通枝領域の虚血がその原因であろうと推定された。患者は脳血管攣縮による広範囲な脳梗塞も合併し、半昏睡状態で臥床している。

症例の総括

CoBFは正常では50~70ml/100g/minの範囲で安定していたが、血流遮断後は急激に低下し、遮断中はほぼ一定の血流を保ち、遮断解除後は一過性に高値をとり、数分後に遮断前の値に復する傾向がみられた。

総頸動脈あるいは内頸動脈の遮断後には、CoBFは前値の60~85%(35~40ml/100g/min)と比較的良好に保たれていたが、M₁あるいはA₁の遮断では、前値の25~65%(15~35ml/100g/min)とより著明に低下した。

CoBFが30ml/100g/min以下に低下した例の遮断時間は1分から9分30秒(4回)であるが、そのうち1例(8分遮断)に穿通枝領域の虚血が発現した。

CoBFが30ml/100g/min以上に保たれていた例の最高遮

Fig. 3 Case 3. CoBF recording during occlusion of M₁ portion of middle cerebral artery.

Fig. 4 Case 4. Monitoring of CoBF during carotid compression, clipping of intracranial internal carotid artery and M₁ portion of middle cerebral artery. Note severe decrease in CoBF during occlusion of middle cerebral artery compared with carotid compression.

Fig. 5 Case 5. CoBF recording during occlusion of A₁ portion of left anterior cerebral artery. Right A₁ was hypoplastic. Postoperatively the patient had ischemic infarction in bilateral basal ganglia which corresponded with the territory supplied by perforating branches distal to the occlusion.

断時間は14分であったが、全例虚血症状は出現しなかった。

考 案

Symon らはヒヒを用いて脳主幹動脈閉塞による脳虚血の CoBF と神経機能の関係を実験的に検討した結果、CoBF が50から20ml/100g/min 以下になるとシナプス伝導が障害され、16ml/100g/min 以下になると電気活動が著明に抑制され、10~12ml/100g/min 以下になると細胞膜より K⁺ efflux が起こり梗塞が発生することを示した⁷⁾~¹¹⁾

一方、血流遮断を15分で解除すると、電気活動は回復し、1時間で再開通すると膜のイオン代謝障害は改善することを報告している⁷⁾。ヒトにおいても、半球脳血流が30ml/100g/min 以下になると central conduction time が延長し¹²⁾、CoBF が20ml/100g/min 以下になると皮質電気活動が消失することが報告されている¹³⁾。

このように、CoBF のある一定以上の減少は脳電気活動や細胞膜イオン代謝を障害する結果、神経機能障害の発現に直接関与する。脳動脈瘤の手術において、瘤の剥離や

premature rupture の際、親動脈の一時血流遮断は手術を安全確実に行ううえに不可避の操作であるが、先に述べた理由により、遮断許容時間が常に問題となる。

吉本ら¹⁴⁾はマニトール500~1000mLを前投与すると、後遺症を発生しない脳主幹動脈の最長遮断時間は、前大脳動脈一側 A₁部 80 分、両側 A₁部同時 61 分、頭蓋内内頸動脈 50 分および中大脳動脈 M₁部 30 分であると報告した。

Jabre ら¹⁵⁾はマニトール投与しない例の遮断許容時間は、両側 A₁部 23 分、中大脳動脈 40 分、頭蓋内内頸動脈 27 分、脳底動脈 13 分であり、一時遮断を行った群と行わない群間に後遺症発現に関して有意差はなかったと報告している。動脈瘤急性期手術でも、M₁遮断 20 分間は許容できるという¹⁶⁾。

しかし実際には短時間の血流遮断にもかかわらず、思わぬ後遺症をきたす症例を経験することがある。その理由として、クモ膜下出血によって発生した脳損傷すなわち脳浮腫、脳循環代謝障害の程度や側副血行路の発達が個々の症例で異なることがあげられる。したがって脳主幹動脈一時血流遮断に際して、その灌流領域の CoBF モニタリングは、術後神経脱落症状を来さないための重要な指標になると考えられる。

Carter ら¹⁾は著者の方法と同じヒートクリアランス法を用いて、脳動脈瘤術中血流遮断時の CoBF を測定し、低血压のため長時間 CoBF が 22mL/100g/min と低下した例では術後植物状態となったが、35mL/100g/min 程度で短時間低下した例では後遺症はなかったと報告している。

われわれの結果では、脳主幹動脈の末梢で遮断するほど、当然のことながら CoBF への影響が大きかった。CoBF が 30mL/100g/min (前値の約50%) 以上に保たれていた例では、最高14分間の遮断で問題はなかった。これらの例では遮断許容時間はもっと長い可能性がある。遮断によって15, 25mL/100g/min に低下した例では遮断時間がそれぞれ1, 8分間であったが、術後合併症はなかった。しかし、症例5では30mL/100g/min で6.5, 8分間の2回血流遮断を行ったところ、術後穿通枝領域の梗塞をきたした。この例のごとく、動脈硬化の著明な高齢者においては皮質血流の観察が必ずしも穿通枝領域の虚血を予測することができないことを示している。

Jabre ら¹⁵⁾も大脳基底核を栄養する穿通枝を含んだ親動脈の一時血流遮断の際には時間を短縮するように強調しており、5~6分間が最長許容時間であろうとしている。CoBF のモニタリングでは穿通枝領域の虚血状態は判定できないため、穿通枝中枢側の血流遮断では、常にその領域の虚血を念頭において、遮断時間を極力短縮しなければならない。

CoBF 測定のもう1つの利点は、血流遮断に対する

CoBF の反応から、遮断後の手術操作の心構えができる点である。CoBF の低下が大きければ手術を急がねばならず、低下が少なれば比較的ゆったりと手術を進めることができる。いまだ症例数がすくないために血流遮断による CoBF の低下程度と遮断許容時間の関係については明らかにしえないが、CoBF の術中モニタリングは手術を安全に行うために有用な方法と考える。

ま と め

脳動脈瘤術中主幹動脈の一時血流遮断に際し、CoBF を測定した。CoBF の低下程度によって遮断時間を調節したり、手術操作に対する心構えができる利点がある。穿通枝領域の虚血は CoBF 測定では予測できないため、ことに高齢者においては注意を要することを強調した。

文 献

- 1) Carter LP, White WL, Atkinson JR: Regional cortical blood flow at craniotomy. *Neurosurgery* 2: 223-229, 1978
- 2) 早川 徹: 熱電対法による術中脳表血流測定—とくにその臨床的意義について. *Neurosurgeons* 4: 183-190, 1984
- 3) 伊原郁夫, 菊池晴彦: 術中血流測定—プレート型電気分解式組織血流測定法—. *Neurosurgeons* 4: 201-210, 1984
- 4) Rosenblum BR, Bonner RF, Oldfield EH: Intraoperative measurement of cortical blood flow adjacent to cerebral AVM using laser Doppler velocimetry. *J Neurosurg* 66: 396-399, 1987
- 5) Momma F, Wang AD, Symon L: Effects of temporary arterial occlusion on somatosensory evoked responses in aneurysm surgery. *Surg Neurol* 27: 343-352, 1987
- 6) Nornes H, Grip A, Wikeby P: Intraoperative evaluation of cerebral hemodynamics using directional Doppler technique. Part 1: Arteriovenous malformations. *J Neurosurg* 50: 145-151, 1979
- 7) Branstom NM, Symon L, Crockard HA, *et al*: Relationship between the cortical evoked potential and local cortical blood flow following acute middle cerebral artery occlusion in the baboon. *Exp Neurol* 45: 195-208, 1974
- 8) Branstom NM, Symon L, Crockard HA: Recovery of the cortical evoked response following temporary middle cerebral artery occlusion in baboons: Relation to local blood flow and PO₂. *Stroke* 7: 151-157, 1976
- 9) Astrup J, Symon L, Branstom NM, *et al*: Cortical evoked potential and extracellular K⁺ and H⁺ at critical levels of brain ischemia. *Stroke* 8: 51-57, 1977
- 10) Morawetz RB, DeGirolami U, Ojemann RG, *et al*: Cerebral blood flow determined by hydrogen clearance during middle cerebral artery occlusion in unanesthetized monkeys. *Stroke* 9: 143-149, 1978
- 11) Astrup J: Energy-requiring cell functions in the ischemic brain: Their critical supply and possible inhibition in protective therapy. *J Neurosurg* 56: 482-497, 1982
- 12) Rosenstein J, Wang A, Symon L, *et al*: Relationship between hemispherical CBF, CCT, and clinical grade in aneurysmal subarachnoid hemorrhage. *J Neurosurg* 62: 25-30, 1985
- 13) Trojaborg W, Boysen G: Relation between EEG, regional

- cerebral blood flow and internal carotid artery pressure during carotid endarterectomy. *Electroencephal Clin Neurophysiol* **34**: 61-69, 1973
- 14) 吉本高志, 鈴木二郎: 常温平常血圧下, 脳動脈瘤の直接手術: 我々の血流一時遮断延長法を用いて. *脳神経外科* **4**: 775-783, 1976
- 15) Jabre A, Symon L: Temporary vascular occlusion during aneurysm surgery. *Surg Neurol* **27**: 47-63, 1987
- 16) Ljunggren B, Säveland H, Brandt L, *et al*: Temporary clipping during early operation for ruptured aneurysm: Preliminary report. *Neurosurgery* **12**: 525-530, 1983