原著

成人モヤモヤ病に対する STA-MCA 吻合術の脳循環動態に及ぼす影響 —組織スペクトル分析装置を用いて—

山根冠児 島 健 岡田芳和
西田正博 沖田進司

Effects of STA-MCA Anastomosis on the Hemodynamics of Adult Moyamoya Disease Evaluated by Reflectance Spectrophotometer

by

Kanji Yamane, M.D., Takeshi Shima, M.D., Yoshikazu Okada, M.D.,
Masahiro Nishida, M.D., and Shinji Okita, M.D.

from

Department of Neurosurgery, Chugoku Rousai Hospital

Using a reflectance spectrophotometer, changes in tissue hemoglobin (tHb) and oxygen saturation (tSO₂) have been measured in adult patients with moyamoya disease following STA-MCA anastomosis.

It thus was found that the cortical arterial pressure in patients with moyamoya disease was significantly lower than in patients with other occlusive cerebral vascular disease (OCVD). Further, changes in the tHb in those with moyamoya disease were significantly greater than in other OCVD patients. However, no difference was seen in the tSO₂ values between moyamoya disease and OCVD.

Based on these results, it thus appears that in patients with moyamoya disease, a reduction in the blood flow due to high vascular resistance may be compensated by the enlargement of the cerebral vascular bed, such as by the development of basal moyamoya vessels and leptomeningeal collaterals. Thus, STA-MCA anastomosis may be expected to decrease the size of the moyamoya vessels and leptomeningeal collaterals and prevent bleeding from these dilated, fragile vessels.

(Received August 7, 1992 ; accepted October 16, 1992)

Key words : moyamoya disease, reflectance spectrophotometer, STA-MCA anastomosis

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 2 : 104-109, 1993

はじめに

モヤモヤ病に対する治療は現在のところ STA-MCA (浅側頭動脈—中大脳動脈) anastomosis, encephalomyosynangiosis, encephaloduroarteriosynangiosis, Omentum の移植などの血行再建術が一般的に行われている。このモヤモヤ病に対する血行再建術の評価は小児例では術後に血流の改善¹⁾²⁾¹⁴⁾, および臨床症状の

改善が得られたとの報告が多く⁴⁾⁸⁾, ほぼ小児例においては確立された治療法と考えられる。しかし, 成人例に対しての血行再建術の評価はいまだ定まっていないのが現状である。そこで, 成人例モヤモヤ病に対する血行再建術の評価のために, 組織スペクトル分析装置を術中に用いることにより, 脳表の組織のヘモグロビン量, および組織酸素飽和度を測定し, STA-MCA 吻合術によるこれらの値の変化から, モヤモヤ病の脳循環動態における病態を考察したので報告する。

中国労災病院脳神経外科〔連絡先: 山根冠児, 〒737-01 広島県呉市広多賀谷1-5-1〕

Address reprint requests to : Kanji Yamane, M.D., Department of Neurosurgery, Chugoku Rousai Hospital, Hiro-tagaya 1-5-1, 737-01 Kure-shi, Japan

対象および方法

① 対 象

成人モヤモヤ病5例を対象とした。4例は出血、1例は脳虚血発作で発症した。STA-MCA 吻合術は2例で病側の反対側にも行い、計7側に施行した。同様に慢性期に STA-MCA 吻合術を行った内頸動脈閉塞7例、および MCA 閉塞2例を比較の対象とした。その内訳は Table 1 に示した。

② 方 法

1. 局所脳血流の測定

局所脳血流の測定は single photon emission CT (Tomomatic 32, Medimatic 社)を用い、Xe-133 inhalation 法により、OM-line より 5 cm 上のスライスで行った。得られた血流画像から中大脳動脈領域の血流を算出した。

2. 皮質動脈圧、吻合血流の測定

手術は STA の前頭枝と頭頂枝を剝離し、まず一方の枝を脳表の MCA の枝に吻合した。残りの STA の一枝には皮質動脈圧の測定のためポリエチレンチューブで cannulation を行い、pressure transducer に接続した。吻合後 STA の本幹を遮断して得られた皮質動脈からの back pressure を皮質動脈圧とした。

吻合血流の測定は電磁血流計 (MVF-1100, 日本光電)を用い、STA-MCA 吻合術後に STA にプローブを装着して測定した。

3. 脳組織ヘモグロビン量、組織酸素飽和度の測定

住友電工製の組織スペクトル分析装置 (TS 200) を用いて測定した。組織スペクトル分析装置による組織脳血液量、組織酸素飽和度の測定原理については吉田らの論文²⁰⁾が詳しいのでここでは簡単に説明する。

光ファイバー束に導かれた白色光を脳組織に照射し、反射光を分光器に導き、得られた反射光スペクトルから、組織の吸収スペクトルを検出する。この組織の吸収スペクトルは主に組織内のヘモグロビン量に依存している。

吸光度はヘモグロビンの酸素飽和度により値が変わるが、波長 569 nm と 586 nm のところではヘモグロビンの酸素飽和度に依存しない等吸収点がある。組織ヘモグロビン量は等吸収点の一つである波長 569 nm での値と、ヘモグロビンの吸収が少ない波長 650 nm での値の差から求められる。このヘモグロビン量は組織血液量を反映していると考えられる。

組織酸素飽和度は、等吸収点である 569 nm と 586 nm

Table 1 A summary of the cases that received STA-MCA anastomosis

Disease	Case	Age	Sex	Side	Episode
Moyamoya disease	1	39	F	rt	(-)
				lt	ischemia
	2	32	M	rt	(-)
				lt	hemorrhage
	3	57	F	rt	hemorrhage
ICA occlusion	4	48	M	rt	hemorrhage
	5	39	F	rt	hemorrhage
	6	57	F	lt	ischemia
	7	70	M	lt	ischemia
	8	49	M	lt	ischemia
	9	51	M	lt	ischemia
MCA occlusion	10	49	M	rt	ischemia
	11	61	F	rt	ischemia
	12	72	M	rt	ischemia
	13	74	M	lt	ischemia

ICA : internal carotid artery MCA : middle cerebral artery F : female M : male rt : right lt : left

との間の 577 nm のところで酸素飽和度 0 % と酸素飽和度 100 % のヘモグロビン吸光度と、測定した吸光度から組織酸素飽和度が求められる。

プローブの直径は約 2.4 mm で、また反射光が得られる深度は約 1 mm であり、測定範囲は脳表のごく一部に限られている。そのため測定部位の脳表に太い血管があると組織ヘモグロビン量はその血管の反応に強く影響を受けると思われ、したがって、組織での変化をできるだけ正確に評価するために、プローブを吻合部に近い脳表でできるだけ血管の少ないところに置くようにした。また、脳表に対する圧を一定に保つためバランスアームを用いた。

モヤモヤ病群と非モヤモヤ群の比較には、Mann-Whitney の U 検定を用いた。

結 果

Fig. 1 は症例 5 の STA-MCA 吻合術前後の血管撮影像を示している。この症例は視床出血で発症した。術前の血管撮影にて内頸動脈終末部から MCA の閉塞、前大脳動脈の高度の狭窄と脳底部にモヤモヤ血管を認めた。さらに拡張した lenticulostriate artery から造影される動脈瘤を認め、この血管が出血の原因と考えられた。STA-MCA 吻合術後の血管撮影では、STA を介し脳表の血管がよく描出されるようになっており、また動脈瘤の大きさは著明に減少し、さらに脳底部のモヤモヤ血管も明らかに退縮していた。

Fig. 1 Cerebral angiogram of Case 5 before (a) and after STA-MCA anastomosis (b)

A small aneurysm has been opacified via the dilated lenticulostriate artery. Postoperative angiogram shows a good visualization of the cortical arteries by the STA and a decline in the size of the moyamoya vessels and the aneurysm.

Fig. 2 Intraoperative records of the cortical arterial pressure (CAP) and the systemic arterial blood pressure (SABP) in 39-year-old female with moyamoya disease and in 60-year-old male with an occlusion of the internal carotid artery (ICA-O).

As can be noted, the cortical arterial pressure of the moyamoya disease patient is lower than that of the ICA-O patient.

Fig. 3 Distribution of the values of the cortical arterial pressure (closed circle) and cortical perfusion pressure (open circle) in moyamoya and non-moyamoya disease patients

As can be seen, the values of the cortical arterial pressure of the moyamoya patients are significantly lower than those of non-moyamoya disease ($p < 0.05$) and values of the cortical perfusion pressure of the moyamoya patients are greater than those of the non-moyamoya patients ($p < 0.05$).

1. 術前後の局所脳血流量

術前の吻合側 MCA 領域の脳血流量はモヤモヤ病では 39 ± 6 ml/100 g/min (平均 $\pm$ SD) で、その他の閉塞性脳血管障害では 31 ± 4 ml/100 g/min であり、有意にモヤモヤ病で高く ($p < 0.05$)、比較的脳血流は保たれていた。術後の局所脳血流量は術前の脳血流と比較して有意な変化は認められなかった。

2. 皮質動脈圧

Fig. 2 はモヤモヤ病と内頸動脈閉塞症における体動脈圧と皮質動脈圧の代表的な測定記録を示している。モヤモヤ病では皮質動脈圧は 22 mmHg、一方、内頸動脈閉塞症では 52 mmHg となっている。

皮質動脈圧をモヤモヤ病群と非モヤモヤ病群とで比較すると、モヤモヤ病群では 28.9 ± 8.8 mmHg、非モヤモヤ

Fig. 4 Intraoperative values of the tissue hemoglobin (Hb) and the oxygen saturation (SO_2) in moyamoya and ICA-O patients

As can be seen, the tissue hemoglobin decreased in both groups during the temporary occlusion of the STA. The tissue oxygen saturation also decreased in the moyamoya group but no definite change was seen in the non-moyamoya disease patient during the temporary occlusion of the STA.

Fig. 5 Distribution of the increase (in percentage) in the tissue oxygen saturation (closed circle) and tissue hemoglobin (open circle) after the STA-MCA anastomosis

No significant change of in the tissue oxygen saturation was noted between the moyamoya group patients and patients with a non-moyamoya disease. However, the tissue hemoglobin increase in the moyamoya group is significantly higher than in the non-moyamoya disease group ($p < 0.01$).

病群では 40.3 ± 14.2 mmHg で、モヤモヤ病群の皮質動脈圧は非モヤモヤ病群に比べ有意に低いことが認められた ($p < 0.05$, Fig. 3).

体血圧と皮質動脈圧の差は STA を介した灌流圧を示すと考えられ、この灌流圧の値を比較するとモヤモヤ病群で 64.2 ± 18.1 mmHg、非モヤモヤ病群で 41.0 ± 14.2 mmHg であり、モヤモヤ病群で有意に高くなっていた ($p < 0.05$, Fig. 3).

3. 吻合血流

吻合血流は、モヤモヤ病群では 29.6 ± 6.3 ml/min、非モヤモヤ病群では 22.9 ± 11.9 ml/min でモヤモヤ病群で多い傾向がみられたが、有意差は認められなかった。

4. 酸素飽和度と組織ヘモグロビン量

Fig. 4 はモヤモヤ病と内頸動脈閉塞例の代表的記録を示している。STA を遮断すると酸素飽和度および組織ヘモグロビン量が低下しているが、モヤモヤ病の方が内頸動脈閉塞に比し STA 遮断による変化が強くなっている。STA-MCA 吻合術による組織酸素飽和度の変化率はモヤモヤ病群で $27.3 \pm 30.0\%$ 、非モヤモヤ病群で $8.9 \pm 9.4\%$ とモヤモヤ病群で大きい傾向が認められたが、有意差は得られなかった。吻合術による組織血液量の変化率はモヤモヤ病群で $14.7 \pm 5.8\%$ 、非モヤモヤ病群では $6.3 \pm 4.3\%$ で、モヤモヤ病群で増加率が有意に高くなっていた ($p < 0.01$, Fig. 5).

考 察

1. 皮質動脈圧および血液量について

モヤモヤ病では内頸動脈閉塞などの閉塞性病変に比べ皮質動脈の灌流圧は、皮質動脈までの血管抵抗がきわめて高いために大きな圧低下をきたすことがすでに報告されており⁹⁾、今回の測定結果も同様であった。そのために STA の圧と皮質動脈圧との較差は大きくなり、STA-MCA 吻合術により灌流圧は高くなって、STA を介した血液の皮質動脈への流入が多くなると考えられる。しかし、吻合後の STA の血液量に関してはモヤモヤ病とその他の閉塞性血管病変とに有意差は認められておらず⁹⁾、この理由としては、モヤモヤ病では吻合血管を介した灌流圧は高いにもかかわらず、皮質動脈がその他の閉塞性血管病変の皮質動脈に比べて著しく細いため、流入する血液量に限界があることに起因していると考えられる¹²⁾。

今回、両群ともに STA-MCA 吻合術によりさらに血液量が増加したことは、脳虚血により脳血管床は代償的に拡張しているものの、バイパス術などにより新たに血液が流入する余地があることを示していると考えられた。今回の結果から、吻合後の STA を遮断すると組織ヘモグロビン量の低下はモヤモヤ病で大きくなっており、モヤモヤ病ではその他の閉塞性脳血管障害と比べて、

流入する血液量が多いことを示していると考えられた。この原因としては、モヤモヤ病ではその他の閉塞性血管病変に比べて脳血管床がより大きくなっており、そのため流入する血液もより多くなったと考えられる。モヤモヤ病ではこれまでも報告されているように、皮質動脈までの血管抵抗がきわめて高いことによる血流の不足を、細動脈、および毛細血管の拡張、あるいは側副血行の発達などにより脳血液量を増やすことで代償していると考えられる⁷⁾¹³⁾¹⁵⁾¹⁹⁾。しかし血流としては何とか正常範囲に保たれているが、血液量の増加としては十分でない状態で予備能力は乏しいことを示していると思われる。

2. 組織酸素飽和度の変化について

モヤモヤ病では吻合術による組織酸素飽和度の上昇は非モヤモヤ病群より大きくなっていったが、有意差は得られなかった。組織の酸素分圧は毛細血管の酸素分圧、組織の酸素消費量、組織の酸素拡散係数、毛細血管の密度により決まるとされている。STA-MCA 吻合術により組織酸素飽和度が上昇したことは、組織に動脈血が増加し、そのため毛細血管の酸素分圧の上昇をもたらしたことが最も大きな原因と考えられる。これまでの報告によれば、成人モヤモヤ病では酸素摂取率は亢進しておらず⁷⁾¹³⁾¹⁵⁾、STA-MCA 吻合術により組織の要求以上に血液が流入することになり、術後早期ではいわゆる luxury perfusion の状態になる可能性があると思われる。術後時間が経つと側副血行が退縮し血流分布の平均化が起り、要求量と供給量が合致する coupling の状態になってくると考えられた。

3. モヤモヤ病における STA-MCA 吻合術の有効性について

今回の結果から、モヤモヤ病では STA-MCA 吻合術により STA を介した灌流圧は高く、血液量の増加が非モヤモヤ病群に比べ多くなっていった。そのため、脆弱で細い脳表の血管に相対的に大量の血液が流入することになり、STA-MCA 吻合術後早期には血管が破綻し、脳出血をきたす危険性があり、術後は特に血圧のコントロールが重要であることが示唆された。

モヤモヤ病の小児例では脳虚血発作で発症する場合が多く、脳血流検査においても低灌流を示すこと¹⁾²⁾⁴⁾¹⁰⁾¹⁶⁾から、血行再建術は血流を増加させ、脳虚血発作の予防として意義あることと考えられる。一方、成人例においては虚血発作より、脳内出血で発症することが多く、しかも、基底核、視床に出血することが多いのが特徴である¹¹⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。出血の原因としては、モヤモヤ血管の加齢による動脈硬化の進行のために、血行力学的負荷が加わる

ことによりモヤモヤ血管が破綻すること、また合併する脳動脈瘤が破裂することが考えられている¹⁷⁾。さらに、再出血しやすくそのため予後が不良となる場合が多く¹⁸⁾、出血例では再出血を防ぐことに治療の主眼をおくべきであると考えられる。モヤモヤ血管は本症を特徴づけるものではあるが、本質的には二次的な側副血行路と考えられる¹⁷⁾。したがって STA-MCA 吻合術により STA を介して皮質動脈に血流を供給することは、血流の予備能力を高めることで側副血行路であるモヤモヤ血管が退縮する可能性がある。実際に、症例 5 で示したように STA-MCA 吻合術後に動脈瘤の縮小と脳底部のモヤモヤ血管の退縮を認めており、また同様に血行再建術にモヤモヤ血管が減少したとの報告もあり³⁾⁵⁾⁶⁾¹⁸⁾、STA-MCA 吻合術により出血を防ぐことに結びつくのではないかと期待される¹⁾⁴⁾¹¹⁾¹⁸⁾。

成人例モヤモヤ病では、小児例と異なり脳血流検査においても正常例と差がないとされているが¹⁾⁷⁾⁹⁾¹³⁾¹⁵⁾、皮質血管の拡張とモヤモヤ血管によりかろうじて血流が保たれている状態と考えられる。したがって、脳虚血発作で発症した成人例モヤモヤ病に対する STA-MCA 吻合術は脳血流の予備能力を増加させ、また、出血発作を少なくする可能性があると考えられる。しかし、STA-MCA 吻合術により出血源となるモヤモヤ血管への負荷軽減が十分なものであるかは判定が困難であり、STA-MCA 吻合術後のモヤモヤ血管の変化を長期的に観察していく必要があると考えられる。

いずれにしても、STA-MCA 吻合術は成人例モヤモヤ病に対しても有力な治療法と考えられた。

文 献

- 1) 石井 鐸二, 市川 昭道, 竹内 茂和, 田中 隆一: モヤモヤ病に対する血行再建術の効果—術後の脳血行動態の変化。脳卒中 8: 200-207, 1986.
- 2) 唐澤 淳, 菊池 晴彦, 栗山 良紘, 澤田 徹, 畔 政和, 小林 啓志, 小池 哲雄, 光木 徹: “もやもや” 病の脳循環代謝に関する研究—II. 手術前後のアルゴン吸入法による脳循環諸量。Neurol Med Chir (Tokyo) 21: 1161-1168, 1981.
- 3) 唐澤 淳, 菊池 晴彦, 小林 啓志, 高橋 伸明, 光木 徹: “もやもや” 病の術後血管撮影像の変化について。第 10 回脳卒中の外科研究会講演集, 1981, pp. 313-317.
- 4) 唐澤 淳: 外科的治療と成績—“モヤモヤ” 病外科治療の脳循環よりみた理論的背景。局所脳血流懇話会講演録 2: 165-174, 1987.
- 5) 小林 啓志, 竹内 茂和, 土田 正, 伊藤 寿介: モヤモヤ病に対する encephalo-myo-synangiosis—特に術後血管造影の分析。Neurol Med Chir (Tokyo) 21: 1229-1238, 1981.
- 6) Kobayashi H, Hayashi M, Handa Y, Kabuto M, Noguchi Y, Aradachi H: EC-IC bypass for adult patients with moyamoya disease. Neurol Res 13:

- 113-116, 1991.
- 7) Kuwabara Y, Ichiya Y, Otsuka M, Tahara T, Gunasekera R, Hasuo K, Masuda K, Matsushima T, Fukui M : Cerebral Hemodynamic Change in the Child and the Adult with Moyamoya Disease. *Stroke* **21** : 272-277, 1990.
 - 8) 西川方夫, 半田 肇 : もやもや病における術前, 術後の CBF の変化 (第 2 報). 厚生省特定疾患 ウイルス動脈輪閉塞症調査研究班 平成元年度研究報告書, 1990, pp. 94-101.
 - 9) 岡田芳和, 島 健, 松村茂次郎, 西田正博, 山田 徹, 沖田進司 : 皮質動脈圧, 局所脳血流測定によるモヤモヤ病の血行動態の検討. *脳神経* **40** : 899-903, 1988.
 - 10) Sato H, Sato N, Tamaki N, Matsumoto S : Chronic low-perfusion state in children with moyamoya disease following revascularization. *Child's Nerv Syst* **6** : 166-171, 1990.
 - 11) 佐伯直勝, 山浦 晶, 星誠一郎, 角南兼朗, 石毛尚起, 細井湧一 : モヤモヤ病出血例の検討. *脳外* **19** : 705-712, 1991.
 - 12) 島 健, 岡田芳和, 松村茂次郎, 西田正博, 山田 徹, 畠山尚志, 沖田進司 : STA-MCA 吻合の循環動態の検討—皮質動脈圧と吻合動脈血流量の測定から. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **28** : 340-345, 1988.
 - 13) Taki W, Yonekawa Y, Kobayashi A, Ishikawa M, Kikuchi H, Nishizawa S, Yonekura Y, Tanada S, Fukuyama H : Cerebral Circulation and Metabolism in Adults' Moyamoya Disease—PET Study. *Acta Neurochir* **100** : 150-154, 1989.
 - 14) Takikawa S, Kamiyama H, Abe H, Mitsumori K, Tsuru M : Hemodynamic evaluation of vascular reconstructive surgery for childhood moyamoya disease using single photon emission computed tomography. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **30** : 389-395, 1990.
 - 15) 戸村則昭, 菅野 巖, 穴戸文男, 日向野修一, 藤田英明, 犬上 篤, 田畑賢一, 上村和夫, 佐山一郎, 安井信之 : 脳血管モヤモヤ病の脳循環代謝 : 特に脳血管反応性について—ポジトロン CT による検討. *脳神経* **41** : 895-904, 1989.
 - 16) Touho H, Karasawa J, Shishido H, Morisako T, Yamada K, Nagai S, Shibamoto K : Mechanism of the re-buidup phenomenon in moyamoya disease—Analysis of local cerebral hemodynamics with intra-arterial digital subtraction angiography. *Neurol Med Chir (Tokyo)* **30** : 721-726, 1990.
 - 17) Yamashita M, Oka K, Tanaka K : Histopathology of the brain vascular network in moyamoya disease. *Stroke* **14** : 50-58, 1983.
 - 18) 米川泰弘, 山下耕助, 滝 和郎, 菊池晴彦 : ウイルス動脈輪閉塞症の出血例の検討 : とくに再出血例について. 厚生省特定疾患 ウイルス動脈輪閉塞症調査研究班 昭和 62 年度研究報告書. 1988, pp. 81-84.
 - 19) 米川泰弘, 後藤泰伸, 山下耕助, 田中公人 : モヤモヤ病の脳循環—Xe CT, dynamic CT による検討. 厚生省特定疾患 ウイルス動脈輪閉塞症調査研究班 平成元年度研究報告書, 1990, pp. 87-93.
 - 20) 吉田真三, 半田 肇, 石川正恒, 平井 収, 金 秀浩 : Reflectance spectrophotometry を用いた *in vivo* 脳血液量, 局所酸素飽和度連続測定. *脳神経* **37** : 187-192, 1985.

要 旨

成人モヤモヤ病に対する STA-MCA 吻合術の脳循環動態に及ぼす影響
—組織スペクトル分析装置を用いて—

山根 冠児 島 健 岡田 芳和 西田 正博
沖田 進司

成人モヤモヤ病の脳循環動態を検討するため, STA-MCA 吻合術を行った 5 例と閉塞性脳血管障害 9 例に対し, 組織スペクトル分析装置により組織ヘモグロビン量と酸素飽和度の術中測定を行った. モヤモヤ病では非モヤモヤ病群に比べ皮質動脈圧は有意に低く, 吻合術による組織血液量の増加は有意に高く, 酸素飽和度の増加は大きい傾向が認められた. モヤモヤ病では, 皮質動脈までの血管抵抗がきわめて高く, そのための血流不足を脳血液量の増加で代償しているが, 予備能力は乏しいと考えられた. 成人モヤモヤ病に対する血行再建術は血流の予備能力を高め, 側副血行の退縮により脆弱な血管からの出血を防ぐことが期待される.

脳外誌 2 : 104-109, 1993