原著

Transcranial Doppler法による Moyamoya病の血行動態および血管反応性の検討

藤本 司, 福島義治

昭和大学藤が丘病院脳神経外科

Evaluation of Intracranial Hemodynamics and Vascular Reactivity in Moyamoya Disease by Transcranial Doppler Ultrasound

Tsukasa FUJIMOTO, M.D., Yoshiharu FUKUSHIMA, M.D.

Department of Neurosurgery, Showa University Fujigaoka Hospital

(Received 31 August 1990, Accepted 13 October)

Abstract

Hemodynamics were studied in 15 normal subjects and 9 patients with angiographically proven Moyamoya disease by transcranial Doppler ultrasound (TC2-64B). Vascular reconstruction such as STA-MCA anastomosis, EMS, EDAS and DP were performed in 6 out of 9 patients. Two and 8 MHz probes were used for intracranial arteries and superficial temporal arteries (STA) respectively. The most characteristic finding on cerebral arteries (MCA, ACA) was the significant decrease of flow velocity, although the decreased flow rate varied greatly from artery to artery. Decrease or absence of vascular reactivity to hypocapnia was characteristically seen in patients. Moreover, wave form of flow velocity of STA was transformed from external carotid artery pattern to internal carotid artery pattern. This change in flow pattern was more remarkably seen in cases with abundant transdural anastomosis. Postoperatively, flow velocity of STA increased dramatically and the flow pattern become similar to internal pattern. Although flow velocity of middle and anterior cerebral arteries increased in many cases, reactivity to hypocapnia still remained in a remarkably decreased state. Observation of these pre- and post-operative characteristic changes of flow velocity and vascular reactivity in patients with Moyamoya disease seemed to be quite useful for evaluation of the hemodynamics and should provide information for a follow-up study.

Key words : Moyamoya disease, transcranial Doppler ultrasound, cerebral hemodynamics, vascular reactivity

1. はじめに

Transcranial Doppler法 (TCD法) は非侵襲的に, 容易に反復して, 頭蓋内血行動態および血管反応性について, 他の方法では得にくいreal timeの情報を得ることが出来るすぐれた方法である。Moyamoya病は, 両側内頸動脈終末部の著明な狭窄ないし閉塞を中心とする血管病変によ

る疾病であり, 頭蓋内血行動態が著しく変化している。しかも血管病変が次第に進行して行くため, 血行動態は経時的にみて行く必要がある。またMoyamoya病では血管撮影その他の負荷に対しても敏感となり, 検査に伴う危険性も高くなっている。そこでTCDを用いて, Moyamoya病患者の血行動態の特徴を明らかにするとともに, 血行再建術後に生じる変化を検討した。

Table 1 Clinical cases of Moyamoya disease. STA-MCA anastomosis was done on case 1, 2, 3 and 8. STA-MCA : superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis. EMS : encephalo-myo-syangiosis. EDAS : encephalo-duro-angio-syangiosis. DP : dur-apexia.

CASE	SEX	AGE (y)	OPERATION
① E.M.	F	40	Lt. STA-MCA
② M.L.	M	40	Lt. STA-MCA
③ N.S.	M	32	Lt. STA-MCA
④ S.N.	F	46	Lt. EMS, DP
⑤ Y.Y.	F	41	Lt. EMS, EDAS, DP
⑥ M.S.	F	42	(-)
⑦ C.M.	F	49	(-)
⑧ W.N.	M	4	Rt. STA-MCA, EMS, DP
⑨ K.N.	M	4	(-)

2. 対象および方法

Moyamoya病患者9名, 健常者15名を対象とした。Moyamoya病患者のうち成人7名は男2名, 女5名, 平均年齢41.4歳。小児2名はともに男子で4歳であった。このうち6名に血行再建術を行なった。すなわち4名にSTA-MCA吻合術 (Superficial temporal artery-middle cerebral artery anastomosis), 3名に EMS(Encephalo-myo-syangiosis), EDAS (Encephalo-duro-angio-syangiosis), DP (Durapexia)を種々の組み合わせで行なった (Table 1)。

TCDはEME社製TC2-64Bを用い, 頭蓋内血管に対しては2MHz, 浅側頭動脈(STA)に対しては8MHzのプロープを使用した。側頭部で中大脳動脈と考えられる血管を, 眼窩部では眼動脈を種々の測定深度で測定し, 耳介前部でSTAを測定深度7mmで測定した。血流速度 (V_m : time mean velocity, V_s : peak systolic velocity, V_d : end diastolic velocity) および血流方向を測定し, さらに末梢血管抵抗に関係したpulsatility index: $PI=(V_s-V_d)/V_m^{(1)}$, resistance index: $R=(V_s-V_d)/V_s^{(2)}$ を算出した。また血管の反応性をみるための負荷試験として, 過呼吸試験すなわち5秒間に2回の速さで深呼吸を30秒間行ない, 中大脳動脈の血流速度の低下度を負荷前値に対する百分率で表した³⁾。Moyamoya病患者では脳血管写所見上よりtransduralの側副血行の多寡を判断し, 測定結果との関係を

Fig. 1 Changes of PaCO₂ and HV, ($\frac{V_m(\text{post})}{V_m(\text{pre})} \times 100$) during and after hyperventilation in healthy adults.

検討した。

3. 結果

過呼吸試験により, 健常成人の血中炭酸ガス濃度は急

Table 2 Blood flow velocity and calculated data about STA before operation. Degree of transdural anastomosis was expressed as + (exist), - (absent) or $\pm$ (questionable). V_m : mean time velocity of blood flow. PI: pulsatility index. R: resistance index.

	$V_m(\text{cm} \cdot \text{sec})$	PI	R	ANASTOMOSIS	upper	Rt. side
Normal	14 ± 4	2.1 ± 0.2	0.9 ± 0.1	-	lower	Lt. side
① E.M.	16	1.0	0.5	$\pm$		
	14	1.1	0.6	$\pm$		
② M.L.	16	1.2	0.6	+		
	14	1.2	0.6	+		
③ N.S.	30	1.2	0.7	+		
	18	1.1	0.6	+		
④ S.N.	12	1.0	0.5	+		
	14	1.1	0.6	+		
⑤ Y.Y.	(-)	(-)	(-)	$\pm$		
				$\pm$		
⑥ M.S.	16	1.0	0.5	+		
	18	1.0	0.5	+		
⑦ C.M.	14	1.1	0.8	$\pm$		
	20	0.8	0.6	+		
⑧ W.N.	8	2.0	0.8	-		
	2	3.1	0.9	-		
⑨ K.N.	10	1.8	0.7	-		
	8	2.1	0.8	-

Fig. 2 Blood flow velocity of OPA (ophthalmic artery) and STA in case 7 (CM)

Transdural anastomosis is rich on the left side and poor on the right side. Significant increase in flow velocity is seen on the left side and carotid arterializations of both of STA and OPA are recognized on the left side.

速に低下し、前値の 43.6 ± 2.1 mmHgから、15秒後には 30.8 ± 3.5 mmHg、さらに30秒後には 29.2 ± 2.7 mmHgとほぼ一定となった。中止30秒後には 38.3 ± 2.9 mmHgと回復し、血流速度の低下、回復の過程とよく一致していた (Fig. 1) 健常者およびMoyamoya病患者のSTAのVm, PI, R, transdural anastomosisの多寡をTable 2に示した。Anastomosisの多寡は、明らかにある場合を+, 有無が判定しにくい場合を±, ない場合を-とした。健常者STAの血流速度Vmは 14 ± 4 cm/s, PI, Rはそれぞれ 2.1 ± 0.2 , 0.9 ± 0.1 であった。

Moyamoya病成人患者では症例3の右側で30 cm/sだった以外は12~20 cm/sであった。PIは健常者の2.1に対し、Moyamoya病成人では0.8~1.2と低く、Rにおいても健常者の0.9に対し0.5~0.8と低い値であった。小児では2例とも血流速度は2~10 cm/sと遅く、PI, Rは比較的高い値を示していた。これらの2例ではtransdural anastomosisは認められなかった。

Moyamoya病患者の眼動脈(OPA)の血流速度は成人例全例で増加し、血流方向は順向性であった。さらにecho強度も増強しており、血流量の増大を示唆していた。症例7ではFig. 2に示すごとくtransdural anastomosisのある左側で著明に増加しており、しかもPIは0.7と低下し、内頸動脈型化が認められた。この例ではSTAにおいても同側で流速の増加と内頸動脈型化が認められた。

Table 3 Blood flow velocity and calculated data on MCA before the operation. HV (%) shows degree of decrease of the Vm under hyperventilation in comparison with the previous level.

CASE	Vm(cm/sec)	PI	R	HV (%)	upper	Rt.side
					lower	Lt.side
Normal	52 ± 8	0.8 ± 0.1	0.6 ± 0.1	67 ± 4		
① E.M.	16-32	1.3-0.8	0.5	90		
	12-54	0.9-0.7	0.4	94		
② M.I.	16	1.5	0.3	120		
	2-6	2.4-2.2	0.5	(-)		
③ N.S.	16-82	1.3-0.7	0.4-0.5	98		
	24-34	0.6	0.4	100		
④ S.N.	4-8	2.0-1.9	0.5	100		
	6	2.1-1.8	0.5	(-)		
⑤ Y.Y.	(-)	(-)	(-)	(-)		
⑥ M.S.	6-38	1.5-0.9	0.6	(-)		
	12-32	1.4-0.9	0.6	(-)		
⑦ C.M.	16-46	1.7-1.1	0.6	87		
	22-46	1.2-0.8	0.5	93		
⑧ W.N.	22-96	0.7-1.0	0.6	100		
	10-122	2.4-0.6	0.5	94		
⑨ K.N.	34-94	0.9-1.1	0.6	82		
	28-90	0.8-1.1	0.6	84		

健常者およびMoyamoya病患者の中大脳動脈(MCA)のVm, PI, RをTable 3に示した。健常者のVmは 52 ± 8 cm/s, PI, Rは各々 0.8 ± 0.1 , 0.6 ± 0.1 であり、過呼吸によりVmは前値の $67 \pm 4\%$ にまで低下した。Moyamoya病成人患者ではVmは2~24 cm/sと低下していたが血管に沿って測定して行くと流速は変動しやすく、部位による差が大きかった。この場合流速が速い部位でもecho強度は弱い傾向を認めた。PIは高い傾向がみられた。過呼吸による症状の発現や訴えは見られなかった。過呼吸による流速は前値の87~100%であり、反応が見られないか、あってもわずかであった。これらのすべての傾向は小児において

Table 4 Blood flow velocity and calculated data about the STA before and after the operation. Anastomosis formation by extra STA-MCA anastomosis was not clear on case 4, 5 and 8.

CASE	Vm(cm/sec)	PI	R	OPERATION	PATENCY
① E.M.	14	1.1	0.6	(Lt) STA-MCA	++
	52	0.6	0.4		
② M.I.	14	1.2	0.6	(Lt) STA-MCA	+
	28	0.9	0.6		
③ N.S.	18	1.1	0.6	(Lt) STA-MCA	++
	28	1.0	0.5		
④ S.N.	14	1.1	0.6	(Lt) EMS. DP	-
	10	0.6	0.5		
⑤ Y.Y.	(-)	(-)	(-)	(Lt) EMS. DP EDAS	-
	14	1.2	0.6		
⑧ W.N.	8	2.0	0.8	(Rt) STA-MCA .EMS. DP	++
	22	1.0	0.6

Case 3 N.S., pre-ope
right : Lt(ope-side)
left : Rt

Case 3 N.S., post-ope
right : Lt
left : Lt

Case 6 M.S., Rt

Case 7 C.M., Rt

Case 8 W.N., Rt

Table 5 Blood flow velocity and calculated data about MCA at before and after the operation. (—) : not examined. The tendency of recovery of vascular reactivity against hypocapnia was observed although this difference is statistically not significant.

CASE	Vm (cm/sec)	PI	R	HV (%)	upper	pre-ope
① E.M.	12-54	0.9-0.7	0.4	94	lower	post-ope
	34-70	0.8-0.5	0.4	89		
② M.I.	2-6	2.4-2.2	0.5	(—)		
	18-32	0.7-0.6	0.4	90		
③ N.S.	24-34	0.6	0.4	100		
	30-56	0.5	0.4	90		
④ S.N.	6	2.1-1.8	0.5	(—)		
	10-46	2.0-0.8	0.5	96		
⑤ Y.Y.	(—)	(—)	(—)	(—)		
	14-43	0.8-0.6	0.4	88		
⑧ W.N.	22-96	0.7-1.0	0.6	100		
	30-36	0.6-0.5	0.4	92		

も同様であった。

Table 4は、血行再建術を行なった成人5例小児1例のSTAでの測定結果を示している。STA-MCA吻合術を行なった全例でpatencyが認められ、症例2以外では大変良好であった。STA-MCA吻合術以外のみの再建術を行なった症例4、5では血行は明らかではなかった。Vmはpatencyが良好であった例では明らかに増加しており、PI, Rは低下していた。STAから脳血管への血行が見られなかった症例4では血流速度は逆に低下していた。

Table 5は同様に、血行再建術を行なった例の、中大脳動脈についての測定結果を示している。patencyの良かった例では血流速度は有意に増えており、しかも過呼吸による流速の低下がわずかに見られるようになっていた。**Fig. 3**ではその1例(症例3)で、術後の血流速度は増加しており血管反応性はわずかではあるが回復を示している。

4. 考 察

Moyamoya病患者の頭蓋内血管およびSTAの血行動態をTCD法を用いて検討したところ、次のような特徴が観察出来た。

- 1) 頭蓋内血管(主に中大脳動脈)の血流速度は低下していた。しかしながら、部分的に流速が増加しているところが隣接していることもあり、部位により差異が認められた。
- 2) hypocapniaに対する血管反応性が障害されていた。
- 3) STAの流速波形は、外頸動脈型から内頸動脈型へ変

Fig. 3 Comparizon of blood flos velocity between pre- and post-operative states on STA, ACA and MCA in case 3 (NS). Post-operatively, significant increase of flow velocity is recognizable. Vascular reactivity against hypocapnia is slightly recovered but still remained disturbed.

化する傾向が見られ、transdural anastomosisが明らかな例でその傾向は強く見られた。

4) 血行再建術後はSTAの流速増加、脳血管の流速増加、血管反応性のわずかな回復が見られた。

Moyamoya病患者では全例で流速低下が認められたが、同一の血管をたどっていると考えられる場合でも流速増加を認める場合がしばしばで、流速に部位差があることも特徴の一つと考えられた。この場合には、流速が増加していても、脳動静脈奇形の場合⁴⁾などと異なり、echo強度が弱かった。echo強度が強い場合もあったが、これは脳血管撮影所見から、拡張した前脈絡叢動脈によると判断された。

血管は血中炭酸ガス濃度に大きく影響を受け、hypocapniaでは末梢血管抵抗の増大により血流速度は著しく低下する。われわれは過呼吸負荷試験として5秒間に2回の速さで深呼吸を30秒間行なっている³⁾。健常者では前値の約65%にまで低下するが、Moyamoya病ではほとんど変化しないか、わずかに低下するのみであった。実際の検査では発作の発現に充分注意し、深呼吸が確実

に行なわれていることを確かめながら行なった。Moyamoya病患者では、hypocapniaにはむしろ敏感になっており、しかもその影響が長引くことが特徴としている報告もあり⁵⁾、今回得られた結果はこれらと異なる結果であった。しかしながら、Moyamoya病では常に血行が充分でないため、血管は最大限に拡張し、血管反応性が低下している可能性があり、このことは病態の解明という点からも大切なことと思われる。

Moyamoya病患者ではSTAが脳循環動態に大きく関与している可能性がある。STAの速度波形は尖鋭型で、PIなど末梢抵抗に関する指標が高い値を示す外頸動脈型であるが、Moyamoya病では波幅が広く、PIが低い内頸動脈型になる傾向が見られた。Transdural anastomosisの明らかな例でよりその傾向が強くなり、森竹らの報告と同様の結果を得た⁶⁾。これらの例では脳血管撮影では明らかでなくともanastomosisのある可能性を示していると考えられる。この内頸動脈型化は、血行再建術後STAから大量の血液が脳血管に流入するようになるとより明らかとなった。

Moyamoya病の患者に対する血行再建術としては、可能であればSTA-MCA吻合術を行ない、症例によって他の方法を併用した。皮質血管に十分な太さのものがいない場合には、EMS,EDAS,DPを種々の組み合わせで行なった。STA-MCA吻合術以外の再建術を行なった例では明らかな血行を認めなかったが、これは観察期間が3カ月間と短いことや、ほとんどの例が成人であったことが関係している可能性がある。STA-MCA吻合術施行例全例で吻合部のpatencyは認められた。1例で血行は少なかったが他は良好であった。donorとなった大脳表面の血管は0.8mmと細い例もあったが、術後のpatencyは良好であった。血行再建術を行なうと、STAの流速はpatencyの良い例では著しく上昇しPIは低下して内頸動脈型化が進行した。この変化から、逆に吻合血管のpatencyや血行の善し悪しを推測することができ、しかも非侵襲的に反復して経過を見ることができる。中大脳動脈では流速は増大し、echo強度の増大も認められた。hypocapniaに対する反応も、わずかではあるが認められるようになり、術前に認められた血管反応性の著明な変化の一部は可逆的で

ある可能性を示していた。

これらの所見は、TCDにより非侵襲的に、容易に反復して得ることができ、診断にも、さらに病態の把握、術後の追跡調査にも非常に有用な情報であると考えられる。

5. 結 論

Moyamoya病患者の血行動態および血管反応性をTCD法を用いて検討した。その特徴は

- 1) 大脳血管では全体に血流速度が低下していた。しかしながらしばしば部位により著しい差がみられた。またhypocapniaに対する血管反応性は消失あるいは低下していることも特徴的であった。
- 2) 浅側頭動脈では、内頸動脈型化が認められ、流速は増加する傾向があった。内頸動脈型化はtransdural anastomosisの多いほどより明らかになる傾向が見られた。
- 3) 血行再建術により、浅側頭動脈の内頸動脈型化は進み、流速も増加した。大脳血管では血流速度は増加し、echo強度の増強も見られた。

これらの術前、術後の特徴および変化は、診断上あるいは術後観察上有用な情報と考える。

文 献

- 1) Lindegaard K-F, Aaslid R, Nornes H. Cerebral arteriovenous malformation. In : Aaslid R. ed. Transcranial Doppler sonography. Wien : Springer-Verlag, 1986 : 86-105.
- 2) Hassler W. Electromagnetic measurements of flow rate. In : Hemodynamic aspects of cerebral angiomas. Wien : Springer-Verlag, 1986 : 9-10.
- 3) 藤本 司. 経頭蓋骨的ドプラ法. 映像情報 1987 ; 19 : 639-645.
- 4) 藤本 司, 高橋 誠, 福島義治. Transcranial Doppler法およびその波形解析による脳動静脈奇形症例の血行動態の検討 脳卒中の外科 1990 ; 18 : 317-324.
- 5) Yonekawa Y, Okuno T, Handa H. "Moyamoya" Disease : Clinical review and surgical treatment. In : Fein J-M, Flamm E-S, eds. Cerebrovascular Surgery. Volume 2. New York : Springer-Verlag, 1985 : 557-580.
- 6) 森竹浩三, 武部吉博, 滝 和郎, 宮武伸一, 米川泰弘, 半田肇. "モヤモヤ病" に対する外科的治療——超音波ドプラ法による検討, 第10回脳卒中の外科研究会編 "モヤモヤ病" の病態とその対策. 東京 : にゅーろん社, 1981 : 240-244.