原著

頭蓋内外狭窄性動脈病変に対する経皮的血管拡張術 (PTA) 前後の TCD 検査の意義

広畑 優¹ 安陪等思² 田中法瑞² 島本宝哲¹ 徳富孝志¹ 重森 稔¹

¹ 久留米大学脳神経外科

² 久留米大学放射線科

Pre and Postoperative TCD Study for the Patients with Intra and Extracranial Stenotic Arterial Lesion Undergoing Percutaneous Transluminal Angioplasty (PTA)

Masaru HIROHATA¹, Toshi ABE², Norimitsu TANAKA², Houtetsu SHIMAMOTO¹, Takashi TOKUTOMI¹, Minoru SHIGEMORI¹

¹ Department of Neurosurgery, Kurume University Medical School

² Department of Radiology, Kurume University Medical School

We examined the change in mean flow velocity (mFV) and the Pulsatility index (PI) of the MCA and VA before and after PTA using transcranial Doppler sonography (TCD) and changes in cerebral blood flow were examined by IMP-ARG single photon emission CT (SPECT). In this paper, we discuss the correlation between SPECT and TCD findings both before and after PTA.

Thirteen patients (men 12 and women 1, mean age 62 years), in whom PTA was performed to treat stenosis of the intra-and/or extracranial ICA or VA. Clinical symptoms were moderate stroke in 1 patient, mild stroke in 7, TIA in 3, and asymptomatic in 2. Preoperative angiography revealed 50-99% (mean 79%) stenosis. SPECT demonstrated decreased CBF in 9 patients. Following surgery, stenosis improved less than 50% in all but one of the patients. SPECT revealed an increased CBF in 8 patients. Furthermore TCD study showed increased mFV and PI in all patients with extracranial VA or ICA stenosis. However, both mFV and PI decreased in 2 patients with intracranial VA or MCA stenosis. Restenosis occurred in 5 patients 1 to 33 months after the procedure. Four of these patients underwent follow up surgery (CEA in 3 and STA-MCA bypass in 1). Three of the 5 patients underwent follow-up mFV and PI by TCD which revealed deterioration in all 3 patients. Based on results, we conclude that TCD study is useful not only for evaluation of efficacy of the PTA but also for detection of restenosis.

Key words: angioplasty, carotid artery, vertebral artery, restenosis, TCD

はじめに

近年、頭蓋内外の狭窄性動脈病変に対しても Percutaneous Transluminal Angioplasty (PTA) が行なわれるようになった^{4, 5, 7, 9, 12, 19)}。しかし本療法の大きな問題点の一つは術後の再狭窄である。今回我々は頭蓋内外の動脈硬化性狭窄性病変に対して PTA を施行した 13 例において、治療前後で経時的に Transcranial Doppler 検査 (TCD) による中大脳動脈 (MCA)、椎骨動脈 (VA) の平均血流速度 (mFV)、拍動係数 (PI) を測定した¹⁾。この結果をもとに治療効果の判定や再狭窄の予測などに TCD 検査の意義について検討したので報告する。

対象と方法

1996 年 4 月から 1998 年 4 月の間に当科で PTA を行なった 13 症例を対象とした (Table 1)。性別は男性 12 例、女性 1 例で年齢は 54-73 (平均 62) 歳である。症候性のも⁸⁾は moderate stroke が 1 例、mild stroke が 7 例、TIA が 3 例で、無症候性例が 2 例である。脳血管撮影 (CAG) による狭窄部位は内頸動脈系は 10 例 (総頸動脈 (CCA) が 1 例、頭蓋外内頸動脈が 6 例、頭蓋内内頸動脈が 1 例、中大脳動脈 (MCA) が 2 例) である。椎骨動脈は 3 例 (頭蓋外の椎骨動脈 (VA) が 2 例、頭蓋内椎骨動脈が 1 例) である。CAG 上の狭窄度は NASCET の計測法⁵⁾を用いて測定した。また CAG の付随所見として左

Reprint request

広畑 優 : 〒830-0011 久留米市旭町 67 久留米大学脳神経外科

Masaru HIROHATA : Department of Neurosurgery, Kurume University Medical School, 67 Asahi-Machi, Kurume 830-0011, Japan

[Received February 1, 1999 ; Accepted April 30, 1999]

Table 1 (Clinical materials)

Case No	Age/Sex	Initial symptoms	Angiographical findings	
			Main lesion	Other lesion
1	58/M	Mild stroke	Lt CCA	Rt ICA occlusion,
2	63/M	Asymptomatic	Rt Extracranial ICA	
3	65/M	Mild stroke	Rt Extracranial ICA	Rt Extracranial ICA (30%)
4	73/M	Mild stroke	Lt Extracranial ICA	
5	54/M	TIA	Rt Extracranial ICA	
6	62/M	Asymptomatic	Rt Extracranial ICA	
7	68/M	Mild stroke	RT Extracranial ICA	
8	64/M	Mild stroke	Rt Intracranial ICA	
9	51/M	TIA	Rt MCA M1	
10	71/F	Moderate stroke	Lt MCA M1	
11	63/M	Mild stroke	Rt Extracranial VA	
12	56/M	Mild stroke	Rt Extracranial VA	Lt VA occlusion
13	57/M	TIA	Lt Intracranial VA	Rt VA hypoplasia

MCA: middle cerebral artery, ICA: internal cerebral artery, CCA: common carotid artery

VA: vertebral artery

Table 2 (Results of CAG, SPECT & TCD findings at pre PTA)

Case No	Stenosis (%)	CBF	Ipsilateral	Contralateral	Symmetry index (%)
		(SPECT)	mFV (cm/sec) & PI	mFV (cm/sec) & PI	mFV & PI
1	CCA (90)	No laterality	78 & 0.73	44 & 0.48	77 & 52
2	ICA (70)	No laterality	Undetected	Undetected	
3	ICA (70)	No laterality	Undetected	Undetected	
4	ICA (60)	↓	Undetected	44 & 1.04	
5	ICA (90)	↓	56 & 0.61	62 & 0.86	-10 & -29
6	ICA (90)	↓	50 & 0.67	58 & 1.09	-14 & -39
7	ICA (90)	↓	Undetected	Undetected	
8	ICA* (70)	↓	Undetected	Undetected	
9	MCA* (69)	↓	144 & 0.71	78 & 0.73	85 & -9
10	MCA* (99)	↓	Undetected	Undetected	
11	VA (70)	↓	Undetected	34 & 0.95	
12	VA (90)	↓	34 & 0.79	Undetected	
13	VA (70)	No laterality	80 & 0.8	35 & 0.83	

*: intracranial, CBF: cerebral blood flow, mFV: mean flow velocity, PI: pulsatility index

PTA: percutaneous transluminal angioplasty

CCA の狭窄例(case 1) では右の ICA の閉塞も認める。VA の狭窄例のうち 2 例 (case 11, 12) は反対側 VA の低形成と閉塞を伴っていた。全例で PTA 前後に脳血流量 (CBF) を IMP-ARG SPECT を用いて測定し、その評価は内頸動脈系の病変では反対側半球と比較して、椎骨動脈では大脳半球と比較して行なった。

また内頸動脈系の狭窄例では MCA の mVF, PI を、椎骨動脈の狭窄では VA の mVF, PI を測定した。さらに内頸動脈系の病変では mFV, PI はそれぞれ反対側の mFV, PI との比を symmetry index (SI)¹⁰⁾ として計算した。この際、PTA 前後で mFV, PI, またそれらの SI を比較して検討した。使用した TCD 装置は TC2-64 (EME 社) または Transscan (EME 社) である。また退院後は外来で神経所見、TCD 検査、SPECT の再検を行い再狭窄が疑われた症例では 3D CT angiography (3D-CT angio) または MRA を行なった。なお術後の経過観察期間は 1-33 (平均 14.9) ヶ月であった。

PTA

PTA は全身ヘパリン化の上、局所麻酔下に行なった。Balloon catheter は頭蓋外病変では ULTRATHIN (Target 社)、頭蓋内病変では STEALTH (Target 社) を用いた。バルーンの拡張圧、拡張時間は頭蓋外病変では 4-8 (平均 3.9) 気圧、20-30 (平均 21) 秒、頭蓋内病変では 2-5 (平均 3.3) 気圧、10-30 (平均 16) 秒であった。なお狭窄度が 50% 以下になった段階で治療を終了した^{9,12)}。

結 果

1. 術前 (Table 2)

CCA または ICA の狭窄 8 例 (case 1-8) の狭窄度は 60-90 (平均 79) % であった。SPECT 所見では 5 例で反対側大脳半球と比較して血流低下を認めた。

術前の MCA の mFV, PI は 3 例は両側とも測定可能、1 例は健側のみ測定可能、4 例は両側とも測定不能であった。両側とも測定可能であった 3 例中で反対側の ICA の閉塞を伴った case 1 を除いた 2 症例では mFV, PI の SI

Table 3 (The results of CAG, SPECT & TCD findings at post PTA)

Case No	Stenosis (%)	CBF (SPECT)	Pre → post		Pre → post Symmetric index	
	Pre → Post		mFV (cm/sec)	PI	mFV (%)	PI (%)
1	90 → 50	Unchanged	78 → 81	0.73 → 0.91	77 → 84	52 → 89
2	70 → 47	Unchanged	Undetected	Undetected	Ud → -43	Ud → 17
3	70 → 49	Unchanged				
4	61 → 51	Improved	Ud → 23	Ud → 0.89	-10 → 23	-29 → -14
5	90 → 40	Improved	56 → 76	0.61 → 0.75	-14 → -4	-39 → -38
6	90 → 80	Unchanged	50 → 56	0.67 → 0.70		
7	90 → 50	Improved	Undetected	Undetected	85 → 2	-9 → -7
8	70 → 48	Improved				
9	60 → 15	Improved	144 → 102	0.71 → 0.75		
10	99 → 40	Improved	Undetected	Ud → 1.0		
11	70 → 40	Improved				
12	90 → 60	Improved	34 → 52	0.79 → 0.75		
13	70 → 30	Unchanged	80 → 50	0.8 → 0.86		

mFV: mean flow velocity, PI: pulsatility index,
PTA: percutaneous transluminal angioplasty, Ud: undetected

Table 4 (Summary of 5 patients with restenosis)

Case No	(%)	CBF (SPECT)	TCD findings		Treatment	Follow-up (m)
			mFV (cm/sec)	mFV symmetry index (%)		
3	+	CBF ↓	Undetected		CEA	6
4	49 → 80					
5	+	unchanged	23 → 23	-12 → -48	None	18
6	51 → 65					
7	+	CBF ↓	76 → 46	0 → -18	CEA	6
8	40 → 80					
9	+	CBF ↓	Undetected		CEA	1
10	50 → 80					
11	+	CBF ↓	96 → 122	2 → 70	STA-MCA bypass	33
12	15 → 60					

CBF: cerebral blood flow, mFV: mean flow velocity,
STA: superficial temporal artery, MCA: middle cerebral artery, CEA: carotid endarterectomy

を計算すると、mFV は -10%, -14%, PI は -29%, -39%といずれも対側より低値であった。

MCA の狭窄例 (case 9, 10) は CAG 上の狭窄度はそれぞれ 69%, 99%であった。2 例とも SPECT では患側の血流低下を認めた。MCA の mFV が測定可能であった case 9 では患側の MCAmFV は著明な上昇を認めた。

VA の狭窄例 (case 11-13) は狭窄度は 70-90 (平均 77) %であった。VA の mFV は頭蓋外狭窄例 (case 12, 13) では、それぞれ測定不能、34cm/sec であり、頭蓋内狭窄である case 13 では 80cm/sec であった。

2. 術後 (Table 3)

CCA または ICA の狭窄 8 例では PTA により 1 例 (case 6) 以外は 50%以下の狭窄まで改善可能であり、術後の狭窄度は 40-80 (平均 51) %であった。PTA により 50%以下の狭窄まで改善した症例の中で術前 CBF の低下を認めた症例はいずれも CBF の改善を認めた。また術後の mFV, PI は全例で術前より増加した。また SI の計算が可能であった 2 症例では mFV, PI とも上昇しており PTA 前に見られた対側との差が軽減していた。

MCA の狭窄例 2 例は PTA 後に 15-31 (平均 31) %の

狭窄に改善した。いずれも SPECT 上で血流の改善を認めた。MCAmFV は PTA 後に著明に低下した。

VA の狭窄例も PTA 後には 30-60 (平均 43) %の狭窄まで改善した。術前に後頭蓋窩の CBF の低下を認めた case 11, 12 では術後に CBF の改善を認めた。

頭蓋外 VA の狭窄 2 例は PTA により、mFV は case 11 では測定可能となり、case 13 では術前より上昇した。また頭蓋内 VA の狭窄例である case 13 では PTA 後に VAmFV は低下した。

また PTA 後の経過は拡張が得られなかった case 6 はその後直ちに内頸動脈血栓内膜剥離術 (CEA) を施行した。

3. 追跡結果 (Table 4)

Case6を除いた 12 例中 2 例 (case 1, 10) 以外は外来で追跡可能であった。VA の狭窄の 3 症例は 22-26 (平均 24) ヶ月の follow-up で臨床症状の悪化は認めず、TCD 検査、SPECT、3D-CT angio または MRA 所見でも再狭窄は認めていない。

一方 CCA, ICA, MCA の狭窄 7 例では 1-33 (平均 17.8) ヶ月の追跡期間中で 5 例 (71%) に再狭窄を認めた。

mFV が測定可能であった 3 例では頭蓋外 ICA の再狭窄 2 例は mFV および SI が再度低下し、MCA の再狭窄例では反対に再上昇を認めた。とくに case 9 は SPECT での CBF は変化を認めなかったが、TCD 所見より再狭窄が示唆されたため 3D-CT angio を行ない再狭窄が確認された。これらの 5 症例中で 4 症例は CEA または浅側頭動脈-中大脳動脈吻合術を施行した。

考 察

近年脳血管に対しても PTA が行なわれその成績が報告されている。頭蓋外内頸動脈に対する PTA は CEA と比較して低侵襲であること、CEA が不可能な部位でも施行可能であることなどが利点である。一方本治療中の塞栓性の合併症の可能性、治療中に動脈解離、血管攣縮などが原因で急性閉塞を来す可能性、長期成績が不明などの欠点がある^{5, 9, 11)}。この部位の PTA の治療成績と塞栓性の合併症に関して、Kachel ら⁴⁾ は 700 例以上の分析を行なっている。その結果、92% の症例で十分な拡張が得られ、重篤な合併症は 0.5%、軽い合併症例も 3.5% であったと報告している。また山村ら¹²⁾ は 16 例の経験で、全例で十分な血管拡張が得られ、治療の合併症としては一過性の徐脈と低血圧のみであったと報告している。今回の対象症例のうちで頭蓋外動脈病変は 9 例であったが、8 例 (89%) で十分な拡張が得られ合併症は認めなかった。一方頭蓋内血管に対する PTA に関して Mori ら⁹⁾ は 42 例の経験より 76% で十分な血管拡張が得られ、合併症は 3 例 (7%) であったと報告している。しかしこの 3 例の合併症の内容はそれぞれ動脈解離、急性閉塞、血管の破裂といずれも重篤であった。また Touho ら¹¹⁾ の 13 例の経験では合併症は 3 例 (23%) であった。今回の対象中で頭蓋内動脈の狭窄は 4 例のみであったが、全例で十分な拡張が得られ、合併症は認めなかった。しかし頭蓋内動脈は頭蓋外動脈と比較して動脈壁が薄く、穿通枝が存在するため PTA により血管壁の剥離や破裂、穿通枝の閉塞などの可能性が高い^{5, 9)}。そこで手術適応の決定には hemodynamic stroke であることを証明し、かつ内科的治療では臨床症状の増悪を予防できない症例にかぎるべきと考えられる。

TCD 検査は簡便に頭蓋内血流動態を知ることが可能であり、脳動脈の狭窄性病変の診断のみでなく、頭蓋内血流動態や脳血管反応性の障害程度などの検査に有効とされている^{1, 2, 3, 6, 7, 10)}。とくに頸動脈病変では狭窄による血流の低下は MCAmFV と PI に鋭敏に反映される⁶⁾。CEA^{2, 3, 6, 10)} や PTA⁷⁾ 前後に MCA の mFV と PI を検討した諸家の報告では、狭窄の改善に伴い mFV と PI は上昇している。自験例の結果でも頭蓋外での狭窄例は PTA により健側の MCA または VA の mFV, PI はいずれも上昇を示し、頭蓋内の狭窄例では mFV は反対に低下を示した (Table 3)。

また mFV は個々の症例で絶対値にはかなりのばらつき

がみられる¹⁾ ため、その絶対値のみでは脳血流の低下の程度を評価することは困難である。そのため頸動脈系の病変では mFV, PI を健常側との比を SI として比較したり¹⁰⁾、他の脳主幹動脈の PI との比を transmission index⁶⁾ として比較検討している。今回我々も頸動脈系病変に対しては MCA の mFV, PI とその SI を算定して PTA 前後で検討した。頭蓋外頸動脈病変では mFV, PI とともに SI は PTA による狭窄の改善に伴い全例術前と比較して上昇を認め血管拡張による頭蓋内血流動態を鋭敏に反映していた。

現在 PTA の最も大きな問題は再狭窄の可能性である。頭蓋外動脈に対する PTA 後の再狭窄率は 2%⁴⁾ との報告もあるが、16-25% 程度¹²⁾ と考えられる。頭蓋内動脈例では 25%-38% 程度^{9, 11)} とされている。自験例 13 例では経過観察が可能であった 10 例中で 5 例に再狭窄を認めた (Table 4)。従って PTA 症例では再狭窄の有無の検索が重要となる。

自験例中で再狭窄を来した 5 症例の SPECT 所見は 4 例では CBF の低下を認めたが 1 例 (case 4) では再狭窄にもかかわらず SPECT 上は変化を来さなかった。これは脳血管の Autoregulation 範囲内での血流低下や側副血行路が良好な症例では再狭窄を来しても初期には CBF は変化しないためである³⁾。一方再狭窄症例中 TCD 検査が可能であった 3 症例は SPECT では血流の変化を捉えられなかった case 4 を含めて頭蓋外病変の 2 例は mFV の SI が進行性に低下し、頭蓋内狭窄の 1 例は上昇した。つまり内頸動脈系、椎骨動脈系の狭窄性病変に対する TCD 検査は PTA による狭窄の改善や、再狭窄を鋭敏に反映するため PTA の効果判定のみでなく、再狭窄の早期発見にも非常に有用と考える。

ま と め

脳動脈の動脈硬化性狭窄に対する PTA は低侵襲であり症例によっては有効な治療である。しかしとくに内頸動脈系に対しては再狭窄率が高く、ステントの併用などが必要である。TCD 検査による mFV, PI または symmetry index の測定は PTA の効果判定や再狭窄の予測に有用である。

文 献

- 1) Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H: Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 57: 769-774, 1982
- 2) Araki CT, Babikian VL, Cantelmo NL, Johnson WC: Cerebrovascular hemodynamic changes associated with carotid endarterectomy. *J Vas Surg* 13: 854-860, 1991
- 3) Blohme L, Pagani M, Hoyos P, Olofsson P, Takolander R, Swedenborg J: Change in middle cerebral artery flow velocity and pulsatility index after carotid endarterectomy. *Eur J Vas Surg* 5: 659-663, 1991
- 4) Kachel R, Basche ST, Heerklotz I, Grossmann K, Endler S:

- Percutaneous transluminal angioplasty (PTA) of supra-aortic arteries especially the internal carotid artery. *Neuroradiology* 33: 191-194, 1991
- 5) Kellogg JX, Nesbit GM, Clark WM, Barnwell SL: The role of angioplasty in the treatment of cerebrovascular disease. *Neurosurgery* 43: 549-556, 1998
 - 6) Lindergaard KF, Bakke SJ, Grolimund P, Aaslid R, Huber P, Nornes H: Assessment of intracranial hemodynamics in carotid artery disease by transcranial Doppler ultra-sound. *J Neurosurg* 63: 890-898, 1985
 - 7) Markus HS, Clifton A, Buckenham T, Tayler R, Brown MM: Improvement in cerebral hemodynamics after carotid angioplasty. *Stroke* 27: 612-616, 1996
 - 8) Moore WS, Barnett HJM, Beebe HG, Bernstein EF, Brener BJ, Brott T, Caplan LR, Day A, Goldstone J, Hobson RW, Kempczinski RF, Matchar DB, Mayberg MR, Nicolaides AN, Norris JW, Ricotta JJ, Robertson JT, Rutherford RB, Thomas D, Toole JF, Trout III HH, Weiber DO: Guidelines for carotid endarterectomy. *Circulation* 91: 566-579, 1995
 - 9) Mori T, Fukuoka M, Kazita K, Mori K: Follow-up study after intracranial percutaneous transluminal cerebral balloon angioplasty. *AJNR* 19: 1525-1533, 1998
 - 10) Parenti G, Fiori L, Marconi F: Assessment of intracranial circle after carotid endarterectomy. *Neurol Res* 14 Suppl: 143-145, 1992
 - 11) Touho H: Percutaneous trans-luminal angioplasty in the treatment of atherosclerotic disease of the anterior cerebral circulation and hemodynamic evaluation. *J Neurosurg* 82: 953-960, 1995
 - 12) 山村明範, 大山浩史, 松野 太, 石黒雅敬, 中川俊男, 端和夫: 頸部頸動脈の PTA (percutaneous transluminal angioplasty). *脳外* 23: 117-123, 1995

文献抄録

Analysis of CO₂ Vasomotor Reactivity and Vessel Diameter Changes by Simultaneous Venous and Arterial Doppler Recordings

Valdueza JM, Draganski B, Hoffmann O, Dirnagl U, Einhüpl KM

Stroke 30: 81-86, 1999

太い脳血管で血流量が変化した時に血管径が変化するかどうか大きな問題となっている。TCD は非侵襲的に脳血流を測定しうするため、広く用いられているが、血流速度変化を血流量の変化の指標として用いることが出来るのは血管の直径が不変である場合である。しかしながらこの点に関しては未だ明確にはされていない。そこで著者らは、種々の程度の血中炭酸ガス濃度下で、中大脳動脈と、血管径が変化しにくい静脈洞との血流速度を同時に測定し、両者に於ける血管運動反応の差から血管径の変化の有無を検討した。

16 名の若い健常者で、種々の血中炭酸ガス濃度下で、一側の中大脳動脈と対側の蝶形頭頂静脈洞 (sphenoparietal sinus) と思われる静脈の両者を一対の TCD を用いて同時に測定した。高炭酸ガス血中濃度の状況下では、中大脳動脈の平均血流速度は 62.5 ± 10.2 cm/s から最高 99 ± 12.2 cm/s (血管運動反応性は 60.1 ± 17.3 %) に亢進した。一方、蝶形頭頂静脈洞では 17.8 ± 5.7 cm/s から 34.5 ± 14.3 cm/s (血管運動反応性は 91.4 ± 25.9 %) まで上昇し、より著明な亢進を示した。炭酸ガス濃度に対する血管反応性 (% / mmHg, EtCO₂) は中大脳動脈では 4.5 ± 1 % / mmHg、蝶形頭頂静脈洞では 6.8 ± 1.5 % / mmHg であった。

以上より、この血管運動反応性の差は静脈に比べ中大脳動脈が拡張していることを示していると考えられる。すなわち、拡張しにくい静脈洞の血流速度変化と中大脳動脈の血流速度変化との比較検討から、中大脳動脈では最高血中炭酸ガス濃度下では 9.5 ± 7 % の拡張が生じていることを示している。著者らは、血流速度変化から血流量の変化を考える場合にこの点を十分注意する必要がある、と結んでいる。

(昭和大学藤が丘病院脳神経外科 藤本 司)