原 著

内頸動脈血栓内膜剥離術時の Transcranial Doppler (TCD) の有用性

杉田俊介¹ 島本宝哲¹ 上野慎一¹ 山本克康¹ 重森 稔¹ 栗原幸子²¹ 久留米大学脳神経外科² 久留米大学検査室

Findings of Transcranial Doppler (TCD) Application in Carotid Endarterectomy

Shunsuke SUGITA¹, Houtetsu SHIMAMOTO¹, Shin-ichi UENO¹, Katsuyasu YAMAMOTO¹, Minoru SHIGEMORI¹, Sachiko KURIHARA²¹ Department of Neurosurgery, Kurume University School of Medicine² Department of Clinical Laboratory, Kurume University School of Medicine

We studied the pre- and postoperative single photon emission CT (SPECT) and TCD findings in nine patients who underwent endarterectomy (CEA). Mean flow velocities in the middle cerebral artery (MCA-FVs) as well as postoperative cerebral blood flow (CBF) on SPECT were increased in six of these patients. The preoperative MCA-FVs of these six patients were less than those of controls. However, in the other three patients, whose pre-operative MCA-FVs were greater than those of the controls, postoperative CBF findings on SPECT failed to improve. Pre- and postoperative pulsatility index (PI) had no correlation with changes in cerebral blood flow (CBF) imaging on SPECT.

Key words: transcranial Doppler, carotid endarterectomy, SPECT, flow velocity, middle cerebral artery

はじめに

Transcranial Doppler ultrasonography (TCD) は脳主幹動脈の狭窄性病変に対する非侵襲的検査として、術前、術中、術後に広く利用されている¹⁰⁾。また、本法は内頸動脈狭窄性病変に対する内頸動脈血栓内膜剥離術(carotid endarterectomy: CEA)あるいはballoon occlusion testの術中モニターとしても利用されている^{5, 6, 9, 10, 11, 19, 20, 21, 22)}。一方、放射線同位元素を利用したpositron emission tomography (PET)やsingle photon emission CT (SPECT)は虚血性脳疾患の術前、術後の評価をするうえで重要な検査法であるが、すべての施設で簡便に行えるというわけではない。そこで今回、我々はCEAの術前と術後にTCD, SPECTの経時的観察を行い、その関連性について検討したので報告する。

対象と方法

1993年3月から1996年1月までに当院でCEAを施行した患者のうち、術前の脳血管撮影にて患側の中大脳動脈の

明らかな狭窄性病変が認められなかった9例を対象とした。症例は全例男性で、年齢は53歳から64歳(平均59.5歳)である。手術側は右側6例、左側3例であった。入院時の虚血性脳血管障害のタイプは、completed stroke 3例、transient ischemic attack (TIA)が4例、そして無症候例(対側術後例)が2例であった。いずれの症例も脳血管撮影上、内頸動脈-外頸動脈分岐部の血管壁にflapの形成は見られず心房細動等の不整脈の既往も認められなかった。症例6および8は内頸動脈サイフォン部に約40%の狭窄があったが、他の症例では術側の内頸動脈には内頸動脈起始部以外の狭窄性病変は見られなかった。また、症例7と9は以前に対側の内頸動脈狭窄に対してCEAがすでに施行されており、今回は反対側のCEAを行なう目的で入院した(Table 1)。

TCDはTC2-64あるいはTransscan(EME社製)を使用した。被検者を安静臥床にし血圧が十分に落ちついたことを確認した後に検査を行なった。また、術後の検査に際しては、動脈血採血を行い動脈血中酸素分圧、動脈血中二酸化炭素分圧、ヘマトクリット値が術前および術後で著変

Reprint request

杉田俊介: 〒830 久留米市旭町67 久留米大学脳神経外科

Shunsuke SUGITA: Department of Neurosurgery, Kurume University School of Medicine, 67 Asahimachi, Kurume 830, Japan

[Received February 17, 1997; Accepted June 20, 1997]

がないことを調べ、術前とほぼ同じ全身血圧であることを確認し施行した。中大脳動脈水平部の平均血流速度 (MCA-FV) は 2MHz のプローブを側頭骨菲薄部に当て、測定サンプリング深度はプローブ先端より 40-65mm の間を 5mm 間隔で測定した。測定深度の平均は 45mm であった。TCD は 3 回計測し中間値を MCA-FV 値とした。CEA の術前と術後の MCA-FV の比較には同じ測定深度のものを測定値とした。さらに、pulsatility index (PI) 値の算出は収縮期血流速度から拡張期血流速度を引いた値を平均血流速度で除した値とした⁴⁾。また、MCA-FV の当施設における対照値は健常成人 50 名 (男性 38 名, 女性 12 名, 平均年齢 37 歳) より得られた値, 64 ± 13 cm/sec を使用した¹⁷⁾。また、対照となる PI 値は 0.93 ± 0.20 とした。

SPECT は ^{123}I -IMP (222MBq) あるいは $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HM-PAO

(740MBq) を核種として用いた。 ^{123}I -IMP を使用した症例においては、autoradiographic (ARG) 法により核種を定速静注 10 分後に橈骨動脈より 2 ml を採血し 15 分後に中大脳動脈の灌流域と考えられる患側の前頭葉および側頭葉の定量値を算出して脳血流量 (CBF) とした^{7, 8, 13, 18)}。 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HM-PAO を用いた症例では Patlak plot 法を用いて脳血流量を半定量評価を行なった。すなわち、核種静注後に大動脈弓の dynamic 画像を撮像して関心領域 (ROI) を設定し、Lassen の補正式を用いて局所 CBF を求めた^{14, 15)}。また、同一症例に対しては CEA 術前と術後の検査では同じ核種を用いて検討を行なった。中大脳動脈の collateral flow の判定には脳血管撮影上、対側の前交通動脈あるいは後交通動脈を介して十分な flow があり患側の中大脳動脈まで造影されるものを good, 前大脳動脈水平部あるいは内頸動脈終末部の一部が造影されるものを fair, 全く患側の血管が造影されないものを poor とした。なお、TCD, SPECT 検査は術前および術 1 カ月後に行なった。SPECT については定量値 (あるいは半定量値) と視察により CBF の変化を比較検討した。そして術後の SPECT 所見が両者ともに増加しているものを改善と判定した。さらに、術前術後に B モード法による頸部カラードプラーイメージングを行い、脳血管撮影所見と併せて検討した。

なお、統計学的検討は paired t-test を行い、危険率 5% 以下を有意差ありとした。

結 果

I. 代表症例における結果

【Case 3】53 歳, 男性。右片麻痺を主徴とする TIA 発作が繰り返して出現するために来院した。入院時の CT 所見では明らかな梗塞巣は認められなかった。しかし、左

Table 1 Clinical Materials

No	Age Sex	Operative side (IC stenosis)	Type of stroke	Combined vascular diseases
1)	57M	L.(90%)	Completed stroke (R.hemiparesis)	R. MCA stenosis
2)	63M	L.(95%)	TIA (L.amaurosis)	Angina, L. PCA stenosis
3)	53M	L.(75%)	TIA (R.hemiparesis)	R. IC stenosis(62%)
4)	65M	R.(70%)	TIA (R.dysesthesia)	ASO
5)	58M	R.(95%)	Completed stroke (R.hemianopsia)	L. PCA occlusion
6)	64M	R.(95%)	TIA (R.amaurosis)	R. C4 stenosis(30%)
7)	53M	R.(62%)	Asymptomatic	L. CEA post op.
8)	60M	R.(90%)	Completed stroke (R.amaurosis)	R. IC(C2-C4) stenosis(40%), ASO
9)	64M	R.(80%)	Asymptomatic	L. CEA post op.

TIA : Transient ischemic attack, ASO : Arteriosclerosis obliterans, MCA : Middle cerebral artery, PCA : Posterior cerebral artery

Fig. 1 Case 3, 53 y. o., male.

Preoperative left carotid angiogram and B-mode image showing stenosis of the internal carotid artery (A, B : arrows). The stenosis improved after carotid endarterectomy (C, D).

Fig. 2 Case 3, 53 y.o., male.

Postoperative MCA-FV (B) increased, when compared with preoperative MCA-FV (A).
Postoperative SPECT findings (D) were also improved.

Table 2 Pre-and Postoperative Finding on TCD & SPECT

No	Age Sex	MCA-FV (pre→post op.) (cm/sec)	PI value (pre→post op.)	Severity of preoperative IC stenosis (%)	Contralateral IC stenosis (%)	Angiographical collateral flow	SPECT findings
Group I	1) 57M	52 → 72	0.76 → 0.90	90	20	fair	improved
	2) 63M	46 → 64	0.67 → 0.82	95	80	fair	improved
	3) 53M	64 → 108	0.82 → 0.80	75	60	poor	improved
	4) 65M	30 → 50	1.00 → 0.79	70	(-)	poor	improved
	5) 58M	48 → 82	1.00 → 0.98	95	20	poor	improved
	6) 64M	48 → 85	0.71 → 1.03	95	(-)	poor	improved
Group II	7) 53M	86 → 86	0.86 → 0.83	62	(-)	poor	not improved
	8) 60M	72 → 70	0.63 → 0.76	90	40	poor	not improved
	9) 64M	62 → 52	1.01 → 1.20	80	10	good	not improved

頸動脈撮影では内頸動脈起始部に75%の狭窄性病変があり、左頸部カラードプラーイメージング上も同様の所見が得られた (Fig 1). 術前の TCD 所見は、MCA-FV が64cm/sec で PI 値は0.82であった。また ^{123}I -IMP を用いた SPECT による CBF 定量では左前頭葉が38.85ml/100g/min, 側頭葉が36.86ml/100g/minと低下していた。CEA 術後の検査では MCA-FV が108cm/secで著明な血流速の上昇が見られたが、PI値は0.80と変化していなかった。SPECT 所見では術前低下していたCBFは前頭葉58.06ml/100g/min, 側頭葉51.86ml/100g/minとCBFも改善していた。(Fig. 2).

II. 全症例の結果

CEA の術後には全例に脳虚血発作の再発は見られていない。術後の脳血管撮影および頸部カラードプラーイメージングを用いて術前のものと比較検討したところ、全症例にて術後の内頸動脈-外頸動脈分岐部は狭窄度は0-15%

と改善されていた。また、患側の中大脳動脈の血管径は術前、術後で変化は見られなかった。なお、術前に患側の中大脳動脈への collateral flow を good と判定したものは症例9のみであった。また、fairと判定したものは症例1と2であった。残りの症例は poor と判定された。SPECT の結果、CEA の術前と術後で CBF の改善が得られた症例 (Case 1-6: I 群) と CBF の改善が得られなかった症例 (Case 7-9: II 群) とに分けることができた (Table 2)。そこで、この2群について TCD 所見との関連を検討した (Fig. 3)。I 群の症例における術前 MCA-FV は30-64 cm/sec (平均48.0±11.0 cm/sec) であり、当施設における健常者のそれと比較すると有意に低下していた ($p<0.05$)。また、術後の MCA-FV は50-108cm/sec (平均76.8±19.9 cm/sec) で全ての症例で MCA-FV は上昇しており、術前と術後の MCA-FV 値間には有意な差を認めた ($p<0.05$; Fig 3a)。また、I 群の術後の MCA-FV の値は健常者のそれと比較しても有意に血流速度は上昇していた ($p<0.05$)。

Fig. 3 Comparison of preoperative and postoperative MCA-FVs.

a : Postoperative MCA-FVs in case 1-6 (group I) increased compared with preoperative MCA-FVs ($p < 0.05$). b : MCA-FVs in cases 7-9 (group II) remained unchanged.

Fig. 4 Comparison of pre- and postoperative PI values. Pre- and postoperative PI values in tested cases remained unchanged in both groups.

一方、II群のMCA-FVは術前が62-86cm/sec(平均 73.3 ± 12.1 cm/sec)で、健常者のMCA-FVよりも有意に高値を示した($p < 0.05$)。しかし、術後で52-86cm/sec(平均 69.3 ± 17.0 cm/sec)とむしろ低下しており、有意な血流速度の上昇は認められなかった(Fig 3b)。

I群における術前PI値は0.67-1.00(平均 0.83 ± 0.14)であったが、健常者のPI値と有意な差は見られなかった。術後のそれは0.76-1.20(平均 0.88 ± 0.10)であり、術前あるいは健常者と比較しても有意な変化はなかったが、やや上昇する傾向があった(Fig 4a)。さらに、II群の症例に関しても同様に術前、術後のPI値は各々0.63-1.01(平均

0.83 ± 0.19)と0.76-1.20(平均 0.93 ± 0.24)でやはり一定の傾向を示さず、健常者のものと比較しても統計学的にも有意な差は見られなかった(Fig 4b)。

考 察

近年、本邦においても頸部内頸動脈の狭窄性病変を有する患者の増加に対してCEAを施行する機会が増えてきた。特に高度狭窄を有する症例では、術前と術後にCBFの評価を行なうことは不可欠と言える。また、このような症例では術後にhyperperfusion syndromeの発生も考慮する必要がある。従って、CEAの術前と術後の血行動態が非観

血的にしかも簡便に行えることがモニターとして望ましい。そこで今回、TCDがこのようなモニターとして有用か否かについて検討した。

対象症例のうち、術前の SPECT 所見に比較して術後の SPECT 所見が改善していた I 群全例で、術後には有意に血流速度が上昇していた。Halsey らは CEA の術中に Xe CT, TCD を用いた検索において rCBF が 20ml/100g/min 以下である場合、rCBF の増加量と MCA-FV は強い相関関係にあるが rCBF がそれ以上の場合には両者に相関関係は認められなかったと報告している⁹⁾。また、内頸動脈狭窄性病変による頭蓋内低灌流圧がある場合には、同じように TCD 所見では MCA-FV 値に反映されるとしている。今回の検討症例した 9 例のうち、I 群の症例は 1 例を除いて術前の MCA-FV が健常者と比較して低下しており、脳血管撮影上中大脳動脈領域への collateral flow が乏しかった。従って、内頸動脈-外頸動脈分岐部の狭窄性病変のために術前の rCBF はいずれも低下していると考えられる。事実、これらの症例では術後に虚血症状の再発は見られていない。II 群では、術前と術後の MCA-FV の変化には有意な差が見られなかった。このうち 2 症例（症例 7, 9）は以前に反対側の CEA を施行されており、今回の術側の内頸動脈狭窄性病変の手術のために入院しており、術側の虚血症状は見られていない（Table 1）。とくに、症例 7 は内頸動脈-外頸動脈分岐部の狭窄度は 62% と比較的軽度であり、術後も CBF は変化しなかったものと考えられる。また、症例 8 は眼動脈の虚血性症状で発症した患者であり、中大脳動脈領域の虚血症状とは考えにくく、術後の SPECT 所見の改善に結びつかなかった可能性がある。さらに、症例 9 は前回の手術側からの collateral flow が前交通動脈を介して豊富に得られており、このことが SPECT 所見に影響していたと思われる。従って、今回の検討では、術前の中大脳動脈領域の虚血症状のある症例にのみ、CEA の術前および術後の CBF の変化を MCA-FV によってある程度の予想することが可能であると思われる。

PI 値は末梢血管抵抗や頭蓋内圧、動脈血中酸素分圧あるいは動脈血中二酸化炭素分圧、ヘマトクリット値、脳代謝、血圧などのさまざまな要因によって影響される^{1, 2, 3, 12)}。血圧、ヘマトクリット値が一定であり頭蓋内圧亢進が認められない場合には末梢血管抵抗が血管の autoregulation を反映するとされている。従って、脳乏血状態あるいは虚血状態が改善されれば、PI 値も正常化すると推定していた。今回の検討では I 群および II 群ともに PI 値は術前に比較して術後にはやや高値を示す傾向はあるものの、有意な変化が認められなかった。しかし、術前の PI 値は対照群のそれと比べると有意差はないものの低く、術後には対照群のそれに近づき正常化していると思われた。I 群の症例はいずれも術前には脳が乏血状態にあり、酸素の欠乏や CO₂ 蓄積、脳代謝の低下などの因子により血管床は拡張し、PI 値が対照群よりも低い傾向にあったものと推定される。そし

て、術後には、CBF が増加して前述の要因が改善されたために PI 値が正常化した可能性があると思われる。この点については症例数を増やし今後検討が必要と思われる。

以上の結果から、内頸動脈-外頸動脈分岐部に狭窄性病変を有し内頸動脈末梢部あるいは中大脳動脈に狭窄性病変を有さない症例では、術前の MCA-FV が対照値以下であれば CEA 術後に MCA-FV 上昇と SPECT 所見の改善が期待できると考えられる。CEA の手術の適応は臨床症状と共に、脳血管撮影や B モードエコー上の血管狭窄度、潰瘍の有無、CT あるいは MRI 所見、PET や SPECT による CBF などを総合して決定される。しかし、全ての施設において PET や SPECT で CBF を測定することは困難である。さらに、術後にも CBF の変化を評価する必要がある。このような場合、非侵襲性に、しかも簡便に施行できる TCD は手術適応の決定、術後の CBF 評価の上で有用であると思われた。

ま と め

1. 頸動脈狭窄性病変に対して CEA を施行した 9 症例について、術前と術後の TCD と SPECT についての関連性について検討した。
2. 術前の MCA-FV が対照値より低い症例では、CEA による SPECT 上の CBF の改善と良く一致した。
3. CEA 術後の SPECT 所見の改善が見られた症例、認められなかった症例ともに、術前の PI 値は対照群より低い傾向にあった。
4. CEA の術後には CBF の増加により PI 値は正常化すると考えられた。

尚、本論文の要旨は第15回日本脳神経超音波研究会（平成 8 年 6 月 14-15 日、於大阪府）にて発表した。

文 献

- 1) Auer LM : Venous-neurogenic regulation of cerebral blood volume. *Adv Neurosurg* 12 : 281-287, 1984
- 2) Avezaat CJJ, Van Eijndhoven JHM : The role of the pulsatile pressure variations in intracranial pressure monitoring. *Neurosurg Rev* 9 : 113-120, 1986
- 3) Giulioni M, Ursino M, Alvisi C : Correlations among intracranial pulsatility, intracranial hemodynamics, and transcranial Doppler wave form : literature review and hypothesis for future studies. *Neurosurgery* 22 : 807-812, 1988
- 4) Gosling RG, Dunbar G, King DH, Newman DL, Side CD, Woodcock JP, Fitzgerald DE, Keates JS, MacMillan D : The quantitative analysis of occlusive analysis of occlusive peripheral arterial disease by a non-intrusive ultrasonic technique. *Angiology* 22 : 52-55, 1971
- 5) Halsey JH, McDowell HA, Gelman S : Transcranial Doppler and rCBF compared in carotid endarterectomy. *Stroke* 17 : 1206-1208, 1986

- 6) Halsey JH, McDowell HA, Gelmon S, Morawetz RB : Blood velocity in the middle cerebral artery and regional cerebral blood flow during carotid endarterectomy. *Stroke* 20 : 53-58, 1989
- 7) Hashikawa K, Matsumoto M, Moriwaki H, Oku N, Okazaki Y, Uehara T: Hand N, Kusaoka H, Kamada T, Nishimura T : Split dose iodine-123-IMP SPECT : Sequential quantitative regional cerebral blood flow change with pharmacological intervention. *J Nucl Med* 35 : 1226-1233, 1994
- 8) Iida H, Itoh H, Nakazawa M, Hatazawa J, Nishimura H, Onishi Y, Uemura K: Quantitative mapping of regional cerebral blood flow using iodine-123-IMP and SPECT. *J Nucl Med* 35 : 2019-2030, 1994
- 9) Jansen C, Ramos LMP, van Heesewijk JPM, Moll FL, van Gijn J Ackerstaff RGA: Impact of microembolism and hemodynamic changes in the brain during carotid endarterectomy. *Stroke* 25 : 992-997, 1994
- 10) Jansen C, Vriens EM, Eikelboom BC, Vermeulen FEE, van Gijn J, Ackerstaff RGA: Carotid endarterectomy with transcranial Doppler and electroencephalographic monitoring. A prospective study in 130 operations. *Stroke* 24 : 665-669, 1993
- 11) 河野 威, 西田憲記, 伴 昌幸, 曾我部紘一郎, 上田 伸, 松本圭蔵 : 頸動脈内膜剥離術 (CEA) における術中 Transcranial Doppler (TCD) モニターの有用性. *Neurosurgery* 9 : 74-79, 1996
- 12) Kontos HA, Wei EP : Oxygen dependent mechanisms in cerebral autoregulation. *Ann Biomed Eng* 13 : 329-334, 1985
- 13) Kuhl DE, Barrio JR, Huang S-C, Selin C, Ackermann RF, Lear JL, Wu JL, Lin TH : Quantifying local cerebral blood flow by N- isopropyl-p- [¹²³I] iodoamphetamine (IMP) tomography. *J Nucl Med* 23 : 196-203, 1982
- 14) Lassen NA, Andersen AR, Fridberg L, Paulson OB : The retention of [^{99m}Tc] -D, L-HMPAO in the human brain after intracarotid bolus injection : a kinetic analysis. *J Cereb Blood Flow Metabol* 8 (Suppl 1) : S13-22, 1988
- 15) Matsuda H, Tsuji S, Shuke N, Sumiya H, Tanami N, Hisada K : A quantitative approach to technetium-99m hexamethylpropylene amine oxime. *Eur J Nucl Med* 19 : 195-200, 1992
- 16) Mohr JP, Hoffmann : Evaluation of stroke patients, in Newell DW, Aaslid R (ed) : *Transcranial Doppler*. New York : Raven Press, 1992, pp137-144
- 17) 森山 匠 : 重傷頭部外傷急性期の脳血流動態にかんする臨床的研究. *久留米医学会雑誌* 59 : 91-104, 1996
- 18) Oku N, Matsumoto M, Hashikawa K, Moriwaki H, Seike Y, Ishida M, Handa N, Kamada T, Nishimura T: Super-early iodine-123-iodoamphetamine SPECT imaging of human primary motor cortex. *J Nucl Med* 36 : 2180-2185, 1995
- 19) Padayachee TS, Gosling RG, Bishop CC, Burnand K, Browse NL: Monitoring middle cerebral artery blood velocity during carotid endarterectomy. *Br J Surg* 73 : 98-100, 1986
- 20) Shneider PA, Ringelstein EB, Rossman ME, Dilley RB, Sobel DF, Otis SM, Bernstein EF: Importance of cerebral collateral pathways during carotid endarterectomy. *Stroke* 19 : 1328-1344, 1988
- 21) Spencer MP, Thomas GI, Moehing MA: Relation between middle cerebral artery blood flow velocity and stump pressure during carotid endarterectomy. *Stroke* 23 : 1439-1445, 1992
- 22) Thiel A, Russ W, Zeiler D, Dapper F, Hempelmann G: Transcranial Doppler sonography and somatosensory evoked potential monitoring in carotid surgery. *Eur J Vasc Surg* 4 : 597-602, 1990