Transcranial Doppler(TCD)による重症頭部外傷治療の評価

重森 稔, 森山 匠, 徳富孝志, 菊池直美,
西尾暢晃, 原田克彦, 倉本進賢

久留米大学医学部脳神経外科

Evaluation of Managements for Severe Head Injury with Transcranial Doppler Ultrasound

Minoru SHIGEMORI, M.D., Takumi MORIYAMA, M.D., Takashi TOKUTOMI, M.D.,
Naomi KIKUCHI, M.D., Nobuaki NISHIO, M.D., Katuhiko HARADA, M.D.,
Shinken KURAMOTO, M.D.

Department of Neurosurgery, Kurume University School of Medicine

Abstract

The efficacy and limitation of several medical managements for raised intracranial pressure(ICP) were studied in 20 patients of severe head injury by use of transcranial Doppler(TCD) ultrasound. The effects of head elevation (horizontal, 15°, 30° and 45°), hyperventilation, barbiturate and the Sendai cocktail (20% mannitol, phenytoin and vitamin E) were evaluated by measuring blood flow velocity in the middle cerebral artery (MCAV), ICP, cerebral perfusion pressure (CPP) and cerebrovascular CO₂ reactivity. The cerebrovascular CO₂ reactivity was investigated by obtaining the K value in the modified Olesen's formula of cerebral blood flow calculation.

As the degree of head elevation was increased, there was a gradual decrease in CPP in association with the decrease of MCAV in 10 patients examined. These changes in CPP and MCAV were remarkable in patients with lower GCS scores compared to those with higher GCS scores. The K values examined in 9 patients was low when the patient's GCS score were 5 or less. But as the patients GCS scores improved, the K values returned to normal nearly values. Barbiturates and the Sendai cocktail failed to improve raised ICP and also failed to improve raised ICP and reduced MCAV in all patients whose MCAV were as low as 30~40cm/s before these treatments.

These results indicate that noninvasive study with TCD ultrasound can provide valuable informations on optimal therapeutic measures in patients with severe head injury.

Key words: Transcranial Doppler, Severe head injury, Management, ICP.

1. はじめに

重症頭部外傷に対する非手術的治療法には多くの種類があるが、いずれも頭蓋内圧(ICP)の制御や脳循環、代謝障害の改善を主目的としたものである。しかし、いずれの方法にも利点や欠点があり、それぞれの有用性や限

局についても未だ不明な点が多い¹⁾⁻⁴⁾。

今回筆者らは、現在広く臨床応用されている、頭部挙上、過呼吸療法、バルビタール療法、さらに脳虚血に対して脳保護作用があるとされる仙台カクテル⁵⁾について、Transcranial Doppler (TCD)⁶⁾を用いてそれぞれの有用性や限界についての評価を試みたので報告する。

Table 1 Effect of head elevation on CPP and MCAFV.

Case No.		GCS Score	First Study		GCS Score	Second Study	
			Change of CPP (mmHg)	Reduction Rate of MCAFV (%)		Change of CPP (mmHg)	Reduction Rate of MCAFV (%)
1.	CC	3	-29	30	3	-22	25
2.	CC	3	-24	18	3	-12	22
3.	CC	3	-17	16	3	- 4	35
4.	SDH	4	- 7	5.6	7	+ 2	5.4
5.	SDH	4	-22	4.2	3	-22	20
6.	SDH	5	-20	5.4	13	- 1	5.5
7.	CC	5	-14	28	10	+ 3	5.0
8.	SDH	5	- 1	4.4	14	- 7	5.2
9.	SDH	6	0	5.0	12	- 6	5.0
10.	SDH	7	0	5.2	12	+ 5	5.6
Mean :			-13.4	12.2		- 6.4	13.4

Reduction Rate of MCAFV in Healthy Adults (n=25) : $5.4 \pm 0.8 \%$
 CC : Cerebral Contusion SDH : Acute Subdural Hematoma

2. 対象と方法

当科で入院治療を行ない、入院時の Glasgow Coma Scale (GCS) score が 8 以下であった 20 症例 (平均 45 歳) を対象とした。症例の内訳は、急性硬膜下血腫 8 例、脳内血腫 6 例、脳挫傷 6 例で、血腫例はいずれも血腫除去術を行なっている。いずれも主病変側の硬膜外より ICP を連続記録 (Gaeltec 社製センサを使用) し、同時にモニタした体血圧から脳灌流圧 (CPP) を算出した。また、全例で EME 社製 TCD (TC 2-64) を使用して、両側の中大脳動脈主幹部の血流速度 (MCAFV) を経時的に測定した。なお、測定時には日本光電社製炭酸ガスモニタ (OIR-7101) により end-tidal CO_2 (PCO_2) を記録した。MCAFV 変化の指標として平均流速を用いたが、1 時期に 5 回の MCAFV 測定値を求めその平均値を求めた。なお、MCAFV の対照値は健常成人 50 名から得られた値 $67 \pm 13 \text{ cm/s}$ を使用した⁷⁾。

各治療法の評価は、MCAFV 値のほか、ICP および CPP 変化を指標としたが、バルビタール療法と仙台カクテルは施行前後 30 分時の値を比較して検討した。頭部挙上は Tilt table にて頭部を 15° 、 30° 、 45° 挙上した際の変化について、10 例において検討した。なお、健常成人 25 名において頭位を 45° 挙上させた場合の MCAFV 値の変化率は頭位挙上前を 100 とすると $5.4 \pm 0.08 \%$ の範囲

内の変動に止まっていた⁷⁾。過呼吸療法については、9 例において Respirator によって PCO_2 を変化させた際の脳血管の CO_2 反応性を検討することによって行なった。つまり、Olesen ら⁸⁾、Markwalder ら⁹⁾の方法に準じて $\text{In } \% \text{ MCAFV} = K \cdot \text{PCO}_2 + A$ 式中の K 値を算出した。この際、 PCO_2 40 mm Hg 時の MCAFV 値を 100 % とし、 PCO_2 変化時の MCAFV 値を % で表示した。なお、対照値として、健常成人 50 名から得られた K 値 $= 0.033 \pm 0.007$ を用いた⁷⁾。バルビタール療法は 5 例に行なったが、薬剤の投与基準、投与量、投与方法はすでに報告した方法に準じて行なった³⁾。また、仙台カクテルは 6 例において、20 % mannitol 10 ml/kg, phenytoin 10 mg/kg, vitamin E 10 mg/kg を 60 分で投与した⁵⁾。以上の症例はいずれも入院時より 20 % mannitol の分割投与 (総量 500–600 ml/day) を受けているが、上記の各種治療中は投与を中止している。

症例の転帰は受傷後 3 カ月時に Glasgow Outcome Scale に従って判定したが、Good Recovery と Moderate Disability を Good, Severe Disability と Vegetative State を Poor とした。

3. 結果

3-1 頭位挙上の効果について

頭位を 45° 挙上時の CPP および MCAFV 値の変化に

Fig. 1 Changes of CPP and MCA FV in head elevation (GCS of 3, 4, 5); Results of 12 trials in 8 patients (Case 1~8, Table 1) presenting mean values at each head-up position.

Fig. 2 Changes of CPP and MCA FV in head elevation (GCS of 6~12); Results of 8 trials in 6 patients (Case 6~10, Table 1) presenting mean values at each head-up position.

ついて、10 症例で各々 2 回検討した結果を **Table 1** に示す。なお、頭部挙上時の CPP の算出に際し、頭部での血圧は平均体血圧からモンロー氏孔までの hydrostatic pressure を差し引いた値を用いた。2 回の検討時ともに、症例の GCS score が 5 以下、特に score 3, 4 を示す時点ではむしろ ICP の上昇、または血圧低下により CPP がむしろ低下した。そして、CPP 依存性に MCA FV 値が低下する所見が得られた。しかし、GCS score が 6 以上を示す時点では CPP の低下度は軽度であり、MCA FV の変化も健常人より得られた変動範囲内に止まっていた (**Table 1**)。

次に、GCS score が 5 以下を示した時点で頭部を 15°, 30°, 45° 挙上した際の 12 回の検討結果をみると (**Table 1**)、水平仰臥位に比べ 30° 以上の挙上時には CPP は平均 12 mm Hg 以上、MCA FV 値にも平均 10 % 以上の低下が認められた (**Fig. 1**)。一方、GCS score 6 以上の時点での

8 回の検討結果では (**Table 1**)、頭部挙上に伴う CPP および MCA FV 値の変化率はごく軽度であった (**Fig. 2**)。

3-2 脳血管の CO₂ 反応性について

K 値からみた CO₂ 反応性について、9 症例で 2 回ずつ検討した結果を **Table 2** に示す。GCS score と K 値との関係を見ると、K 値は GCS score 上の悪化度や改善度にほぼ対応して変化していた。特に GCS score 3, 4 の時点では K 値が 0.018 以下と対照値に比べ著しい低値を示した。しかし、GCS score が 6 以上に改善した時点では、K 値はほぼ対照値の範囲内に止まっていた (**Table 2**)。次に、GCS score 5 以下を示した 5 症例において、end tidal CO₂ 変化時の MCA FV の変化率をみると健常成人に比べその変化はごく軽度であった (**Fig. 3**)。

3-3 バルビタール療法および仙台カクテルの効果について

バルビタール療法を行なった 5 症例において本療法施行前後の MCA FV と CPP 変化、さらに転帰について検

Table 2 CO₂ reactivity (K value) and GCS score.

Case No.	Diagnosis	1st Study		2nd Study	
		GCS Score	K value	GCS Score	K value
1	CC	3	0.011	3	0.008
2	SDH	4	0.018	7	0.027
3	CC	4	0.016	3	0.014
4	CC	4	0.017	3	0.011
5	CC	5	0.016	10	0.017
6	SDH	5	0.018	12	0.028
7	CC	5	0.027	13	0.032
8	SDH	6	0.037	12	0.035
9	SDH	7	0.033	12	0.033

K value in Healthy Adults (n=50): 0.033 ± 0.007

CC : Cerebral contusion

SDH: Acute subdural hematoma

Fig. 3 CO₂ reactivity (K value) in patients with low GCS score.

Table 3 Changes of blood flow velocity in the middle cerebral artery (MCAFV) in barbiturate therapy.

Case No.	Age (yrs)	Sex	GCS Score	Response to B-Therapy	Hematoma Side	MCAFV(cm/sec)	Change of CPP(mmHg)	Outcome
1.	52	M	4	+	homo. contra.	20 → 18 46 → 53	+ 32	Severe Disability
2.	44	M	6	+	homo. contra.	40 → 58 100 → 110	+ 28	Severe Disability
3.	40	F	5	+	homo. contra.	16 → 60 30 → 55	+ 42	Dead
4.	70	M	6	+	homo. contra.	28 → 22 24 → 42	+ 14	Dead
5.	17	M	3	-	homo. contra.	16 → 6 12 → 6	- 7	Dead

MCAFV (Control : 67 ± 13 cm/s)

討した。本療法に反応し、ICP 下降の得られた症例は 4 例であり、これらでは本療法後に CPP の増大と MCAFV 値の増加が認められた。しかし、本療法施行前に両側の MCAFV がいずれも 30 cm/s 以下であった 3 症例はいずれも死亡した (Table 3)。一方、仙台カクテル投与前後の MCAFV と ICP 変化についてみると、本剤投与後 MCAFV 値が増加し、ICP の低下がみられたのは 4 例であった。そしてこれら症例の投与前の平均 MCAFV 値は 65.5 cm/s であり、投与後平均 13 cm/s の増加がみられた。しかし、本剤投与前の MCAFV 値が 40 cm/s であった 2 例ではいずれも MCAFV 増加や ICP 低

下は認められなかった (Table 4)。

4. 考 察

多くの重症頭部外傷例では ICP 上昇に伴い脳血流が低下しており、20 mm Hg 以上の ICP 上昇時には死亡率や morbidity が明らかに高くなることは良く知られている¹⁾。そこで ICP 上昇の制御や CPP の維持、さらに脳血流改善のために多くの非手術的治療法が試みられている。しかし、いずれの方法もその有用性や限界が不明瞭であり³⁾⁴⁾、治療法の選択に苦慮することが多い。そこで今回、頭部挙上、過呼吸療法、バルビタール療法、さらに

Table 4 Effect of Sendai cocktail on MCAFV and ICP.

Case No.		Age	GCS Score	Before		After		Outcome
				MCAFV (cm/sec)	ICP (mmHg)	MCAFV (cm/sec)	ICP (mmHg)	
1	SDH	40	4	90	40	102	30	Good
2	CC	34	5	50	28	60	18	Good
3	ICH	16	5	42	24	50	20	Good
4	SDH	44	6	80	36	102	30	Poor

Mean :				65.5	32	78.5	24.5	
5	SDH	68	4	40	40	50	38	Dead
6	SDH	52	4	20	24	20	20	Dead

Mean :				30	32	35	29	

Control : 67 ± 13 cm/s (n=25)

仙台カクテルの投与効果について、主に TCD による MCAFV 値の変化を指標としての評価を試みた。

TCD による MCAFV 測定の臨床的有用性についてはすでに多くの報告がある⁹⁾¹⁰⁾¹¹⁾。ICP と MCAFV との関係について、最近 Hassler ら¹⁰⁾Saunders ら¹¹⁾は CPP と TCD による血流速度波形の変化との間に良好な相関関係を認めたと報告している。また、筆者らの検討でも、MCAFV 値およびその S/D が ICP 上昇や CPP 低下とほぼ一定の関係で変化することを認めている⁷⁾。したがって、重症頭部外傷例で ICP 上昇に伴う頭蓋内血流動態判定の 1 つの指標として、TCD による MCAFV 測定は充分使用しうると考えられる。

頭部挙上は頭蓋内からの静脈還流を改善し、ICP を低下させる方法としてごく日常的に行なわれている。しかし最近、頭部挙上によりむしろ CPP が低下し、ICP 上昇を来すとする報告もみられる²⁾¹²⁾。今回の検討の結果、いずれの症例でも頭部挙上により CPP の改善や MCAFV の増加は認められず、水平仰臥位で最大の CPP が得られた。特に、GCS score が 3,4 という最重症例ではむしろ CPP が低下し、CPP 依存性に MCAFV にも低下が認められた。そして、CPP 低下は ICP の上昇または血圧の低下のいずれかによるものであった。このことは、最重症例では脳血流の autoregulation 機構がすでに破綻していることを示すと考えられる。したがって、これら症例における頭位挙上は脳血流動態にとってはむしろ有害である可能性があると思われる。そのため重症頭部外傷例では頭位は少なくとも 30°以下に維持するほうがより安全と考えられる。なお、最重症例にみられた頭位挙上に伴う ICP 上昇について、Rosner ら¹²⁾は CPP 低下に反応した頭蓋内血管の拡張に伴う脳内血液量増大をその原因に求めている。また、頭部での血圧低下については、cardiac preload 低下に伴う心拍出量低下のためと推測されている²⁾¹²⁾が今後さらに検討が必要と思われる。

一方、過呼吸療法は脳血流を低下させることにより ICP をコントロールする方法であり、脳血流増大が ICP 上昇の主因である症例では本法が有用と考えられている¹⁾。したがって、脳血流低下がすでに存在する症例や CO₂反応性の障害例では本法は無効と思われる。今回の検討では、K 値からみた脳血管の CO₂反応性は重症例ほど障害度が強いという結果が得られた。Markwalder ら⁹⁾は脳血管の CO₂反応性を TCD による血流速度測定と脳血流測定の結果から比較し、両者に直接の相関があることを証明している。また、TCD により頭蓋内血流が low flow の状態か high flow の状態かの判定も可能で

ある⁷⁾¹⁰⁾¹¹⁾。したがって、TCD による MCAFV 測定および K 値の算出によっても過呼吸療法の有用性の判断が可能と思われ、今回のごとく、最重症例ではその効果に疑問があるといえる。

以上のほか、今回は少数例ではあるがバルビタール療法および仙台カクテルについても検討を行なった。その結果、これらの治療法開始前にすでに存在している脳循環障害の程度がそれぞれの治療効果を規定していると考えられた。すなわち、これらの治療法前にすでに MCAFV 値が 30~40 cm/s 以下と著明に低下している場合、ICP や CPP 変化、さらに MCAFV 増加率、転帰からみてこれら両治療法の有用性是否定的と思われる。筆者らの以前の検討で、バルビタール療法の有用性が期待できる限界は ICP 40 mm Hg, CPP 40 mm Hg 前後であり、この両レベルを越えると MCAFV にも有意の低下が生じることが判明している³⁾⁷⁾。したがって、これら治療法は少なくとも高度の脳虚血状態に陥る以前に行なうべきと思われる。

以上のごとく、TCD による MCAFV 測定は重症頭部外傷時の病態の検索⁷⁾¹¹⁾だけでなく、各種治療法の評価にも充分利用しうると考えられた。

文 献

- 1) Miller JD. Significance and management of intracranial hypertension in head injury. In: Ishii S, Nagai H, Brock M eds. Intracranial pressure V. Berlin: Springer-Verlag 1983 : 44-53.
- 2) Durward QJ, Amacher AL, Del Maestro RF, et al. Cerebral and cardiovascular responses to changes in head elevation in patients with intracranial hypertension. J Neurosurg 1983 ; 59 : 938-44.
- 3) 重森 稔, 川場知幸, 山本文人ほか. 重症頭部外傷における術後 Barbiturate 療法の効果と限界. 脳外 1986 ; 14 : 637-42.
- 4) Eisenberg HM, Frankowski RF, Contant CF, et al. High-dose barbiturate control of elevated intracranial pressure in patients with severe head injury. J Neurosurg 1988 ; 69 : 15-23.
- 5) Suzuki J. New brain protective agents and clinical case. In: Suzuki J ed. Advances in surgery for cerebral stroke. Tokyo: Springer-Verlag 1988 : 3-11.
- 6) Aaslid R, Markwalder TM, Nores H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. J Neurosurg 1982 ; 57 : 769-74.
- 7) 森山 匠, 重森 稔, 松尾浩昌ほか. 重症頭部外傷における中大脳動脈血流速の変化. 神経外科 1987 ; 10 : 66-73.
- 8) Olesen J, Paulson OB, Lassen NA. Regional cerebral blood flow in man determined by the initial slope of the clearance of intra-arterially injected 133 Xe. Stroke 1971 ; 2 : 519-40.
- 9) Markwalder TM, Grolimund P, Seiler RW, et al. Dependency of blood flow velocity in the middle cerebral artery or end-tidal carbon dioxide partial pressure—A transcranial

- ultrasound Doppler study. J Cereb Blood Flow Metabol 1984 ; 3 : 368-79.
- 10) Hassler W, Steinmetz H, Gawlowski J. Transcranial Doppler ultrasonography in raised intracranial pressure and in intracranial circulatory arrest. J Neurosurg 1988 ; 68 : 745-51.
- 11) Saunders EW, Cledgett P. Intracranial blood velocity in head injury. A transcranial ultrasound Doppler study. Surg Neurol 1988 ; 29 : 401-9.
- 12) Rosner MJ, Coley IB. Cerebral perfusion pressure, and head elevation. J Neurosurg 1986 ; 65 : 636-41.