

Peltier 熱勾配式組織血流計による 術中脳血流量測定

川合 裕、中川原讓二、岡田 好生
橋本 郁郎、武田利兵衛、田中 靖通
中村 順一、末松 克美*

Intraoperative Cortical Blood Flow Measurement by Thermal Diffusion Using a Flow Probe with a Peltier Stack

Yutaka KAWAI, Jyoji NAKAGAWARA, Yoshio OKADA, Ikuo HASHIMOTO,
Rihei TAKEDA, Yasumichi TANAKA, Jun-ichi NAKAMURA and
Katsumi SUEMATSU*

Department of Neurosurgery, Nakamura Memorial Hospital, Sapporo, Japan and
*Hokkaido Brain Research Foundation, Sapporo, Japan.

Summary : Intraoperative investigation of cerebral hemodynamics is useful to establish the safe and successful neurosurgical operation. The authors measured the local cortical blood flow during EC-IC bypass surgery by means of thermal diffusion using a flow probe with a Peltier stack. The cortical blood flow is indicated quantitatively in this monitor system since the flow probe is calibrated by hydrogen clearance method beforehand. In this study, cases were composed of eleven patients with occlusive cerebrovascular disease who underwent EC-IC bypass surgery in our institute. Ten STA-MCA anastomoses and one OA-MCA anastomosis were included. A plate-typed probe for local cortical blood flow measurement was placed on the brain surface at craniotomy. The changes of blood flow value was recorded on papers continuously by the polygraph system. During surgery, the patency was confirmed in all cases since the cortical blood flow values increased by clipping on and off of anastomosed donor arteries. The cortical blood flow reached to its plateau state within thirty seconds after clipping on or off the donor and indicated a extremely stable value during five minutes' continuous recording. The CO₂ responsibility was evident when hyperventilation was performed. The reliable cortical blood flow value observed by this non-invasive thermal diffusion method is highly reproducible and real-time. The authors utilize this cortical blood flow monitoring system not only EC-IC bypass but many other neurosurgical operations such as ruptured intracranial aneurysm, arteriovenous malformation, Moyamoya disease for the evaluation of surgical effect and the monitoring of cerebral ischemia. This system may contribute to the safer and more accurate neurosurgical operations.

Key words :

- local cortical blood flow
- thermal diffusion method
- Peltier stack
- EC-IC bypass surgery

はじめに

脳神経外科手術を、より安全、有効に行なうために、術中の脳血流量を連続的にモニターすることの

必要性が認識されてきているが、これまでは優れた測定機器が必ずしも見当たらなかった。しかし、最近開発された Peltier 熱勾配式組織血流計は、脳皮質血流測定を目的として改良され、定量的表示も可

能となってきている¹⁾。そこでわれわれはこの血流計を用いて EC-IC bypass 術中の脳表血流を測定し、本測定法の有用性が確かめられたので報告する。

方 法

Peltier 熱勾配式組織血流計の基本的測定原理は、Peltier stack と呼ばれる半導体に定電流を流すことにより、両端のセンサーの一侧が加温、他側が冷却され、2つのセンサー間に一定の熱勾配が作り出されるという性質を応用したものである (Fig. 1)。センサーに接触する組織の局所脳血流は、加熱されたセンサーを冷却し、一方、冷却されたセンサーを暖め、熱勾配を変化させようとするが、このとき熱勾配を一定に維持するために必要な熱起電力を局所脳血流量として換算することができる。熱起電力と脳血流量との関係については、あらかじめ水素クリアランス法により calibration を行なうことによって²⁾、脳皮質血流量を絶対値として表示することが可能である。

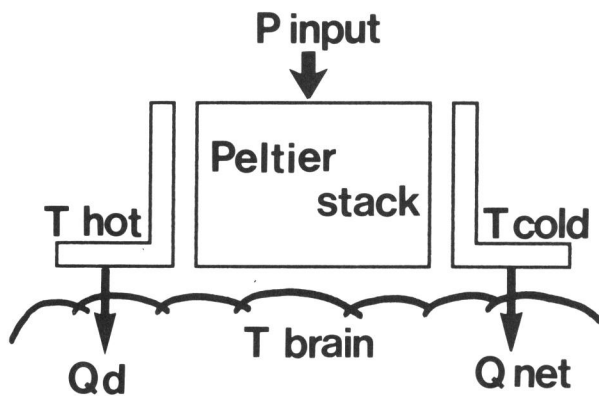


Fig.1 Diagram of flow probe. P input = power input to stack. T hot, T cold, T brain = temperature of the hot and cold plates, and brain surface. Q d, Q net = power dissipated from the hot plate and power absorbed by the cold plate.

Fig. 2 上段は、われわれが用いた熱勾配式組織血流計 (バイオ・メディカル・サイエンス社、GTB-III) で、脳皮質血流量は、 $ml/100g/min$ の単位でデジタル表示される。**Fig. 2** 下段は、脳表に接触させるプレート型プローブで、3種類あり、今回は左端のプローブを使用した。これは直径12mm、厚さ5mm、重さ4gであった。測定にあたっては、同時にポリグラフにて動的变化をペンで用紙に記録した。

血管吻合の術中測定においては、プローブを recipient の灌流領域と考えられる脳表部位に設置し

た (**Fig. 3**)。プローブは動かぬよう脳表に密着させ、できる限り圧迫を加えないようにした。まず、スタティックな状態での脳皮質血流量を測定し、その後、血管吻合後に donor 血管に対して clip on/off を行ない、その間の脳皮質血流量の変化を連続的に記録した。

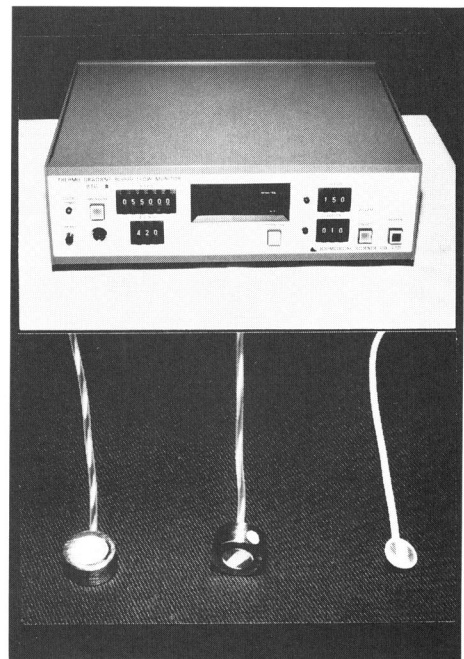


Fig.2 Upper ; CBF monitor by thermal diffusion. CBF value is indicated quantitatively. Lower ; Three kinds of plate typed thermal diffusion flow probe with Peltier stack. Left one, we used, is 12mm in diameter and 5mm thick.



Fig.3 Operative photograph of thermal diffusion flow probe on the cerebral cortex.

Table 1 Clinical summary of 11 patients underwent EC-IC bypass surgery

Case	Name	Age	Sex	Diagnosis	Anastomosis
1	M.S.	39	M	Lt.MCs	Lt.STA-MCA
2	T.N.	54	M	Bil.ICs	Lt.STA-MCA
3	M.N.	67	M	Rt.MCo,Lt.ICo	Rt.OA-MCA
4	K.E.	52	M	Lt.MCo	Lt.STA-MCA
5	Y.O.	34	M	Moyamoya	Lt.STA-MCA,EMS
6	Y.K.	64	M	Rt.ICo,Lt.ICs	Rt.STA-MCA
7	A.K.	62	F	Lt.MCs	Lt.STA-MCA
8	Y.T.	58	M	Rt.MCs	Rt.STA-MCA
9	T.T.	61	M	Rt.MCo	Rt.STA-MCA
10	S.K.	59	M	Rt.ICs	Rt.STA-MCA
11	S.S.	62	M	Lt.MCo,Rt.ICo,Lt.VAo	Lt.STA-MCA

対 象

対象は閉塞性脳血管障害11例で、Moyamoya 病1例を含む主幹動脈の狭窄ないし閉塞例とした。年齢

は平均55.7歳で、34歳から67歳まで、男10例、女1例であった。血管吻合術の内訳は、STA-MCA anastomosis 10例、OA-MCA anastomosis 1例であった (Table 1)。

Fig.4 A

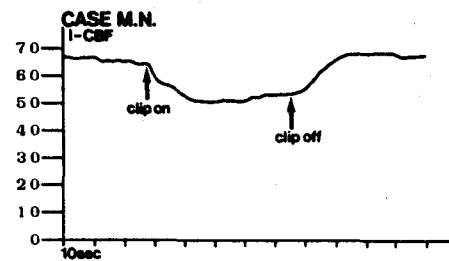
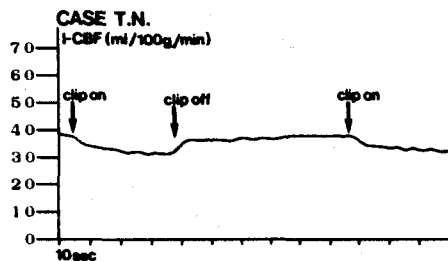


Fig.4 B

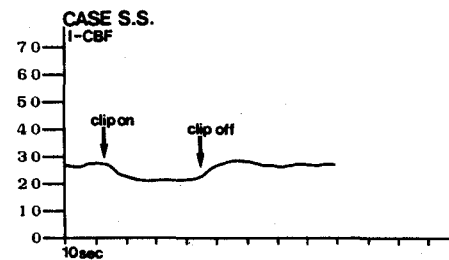
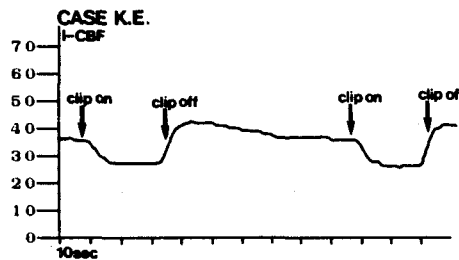


Fig.4 C

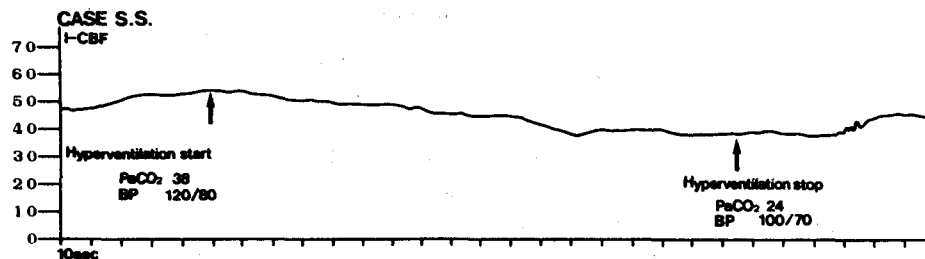


Fig.4 Recording of cortical blood flow.

結 果

呼吸循環状態を安定させて、5分間ポリグラフで連続記録をとったところ、脳皮質血流量の変動幅は5%以内であった。一般に測定開始より約15~30秒

以内に脳皮質血流量は、定常状態となったが、その値には高い再現性が認められた (Fig.4 A)。また、Fig.4 Bのごとく、定常状態に至る前に、一時的に軽度の上昇を示すパターンも認められた。

Fig.4 Cは、短時間の機械呼吸停止の後、手動にて

hyperventilation を行ない、CO₂反応性を検討した症例であるが、一時的な脳血流の増加の後、徐々に脳血流は減少を示し、hyperventilation を停止すると、比較的すみやかに脳血流の回復が認められた。

さて、血管吻合術は11例中の10例に対して single anastomosis、1例に対して double anastomosis が施行されたが、donor 血管の clip off により全例で脳皮質血流の増加が認められ、patencyが確認された。その増加率は、4.8%から54.2%と大きな差があった (Table 2)。

④電磁血流計、⑤超音波ドプラー血流計、⑥プレート型電気分解式血流計、⑦熱電対法による組織血流計、などがあげられる。しかしながら、これまで局所の脳血流変化を連続的に、定量的に、しかも簡便に測定したい、という要求を満たす優れた方法はなかった。①、②、③は脳血流の変化を局所的に捉えることはできず、④、⑤は主として単一血管の血流量を測定する方法であり、⑥は局所血流量の定量的測定には優れているが連続的測定は困難である。

一方、⑦は生体の熱のクリアランスを原理とし、

Table 2 Location of monitoring and CBF change

Case	Name	Location of Anastomosis	Location of Probe	1 CBF (ml/100g/min)	Increase (%)
		Supra or Infra Sylvian	Supra or Infra Sylvian	Clip on → off	
1	M.S.	Infra	Infra	33→39	18.2
			Supra	38→44	15.8
2	T.N.	Supra	Supra	31→37	19.4
3	M.N.	Infra	Infra	53→68	28.3
			Supra	44→47	6.8
4	K.E.	Supra	Infra	28→37	32.1
			Supra	36→47	27.8
5	Y.O.	Supra	Infra	36→42	16.7
			Supra	48→74	54.2
6	Y.K.	Infra+Supra	Infra	29→39	34.5
			Supra	42→56	33.3
7	A.K.	Infra	Infra	62→65	4.8
			Supra	35→47	34.3
8	Y.T.	Supra	Infra	41→58	41.5
			Supra	52→67	28.8
9	T.T.	Infra	Infra	40→59	47.5
			Supra	57→70	28.8
10	S.K.	Infra	Infra	41→60	46.3
11	S.S.	Infra	Infra	23→29	26.1
			Supra	30→46	53.3

また、吻合血管と電極の位置とを、シルビウス裂の上・下で比較したところ、比較できた9例のうちの5例で、血管吻合と同側でより大きな血流増加率が認められ、一方、4例ではシルビウス裂の対側の脳血流増加が認められた。

考 察

脳神経外科領域において、術中の脳血流モニターは主に急性脳虚血を把握する手段として重要と考えられている。その認識からこれまで種々の方法が臨床の場で試みられてきた。現在使用されている方法としては、① EEG、② SEP、③ Short Latency SEP、

heat clearance 法あるいは thermal diffusion 法と呼ばれる方法であり、脳血流の連続的測定が可能であるが定量化に問題が残されていた。しかし、この方法は Carter 一派により改良され¹⁾²⁾、Peltier stack を利用した熱勾配式組織血流計へと発展し、脳血流を連続的に、しかも定量的に測定することがある程度可能となり、術中の脳血流モニター法として利用されるに至った。

今回用いた熱勾配式血流測定法には、短所として、1)穿頭または開頭が必要である、2)血流量の定量化、絶対値表現に問題がある、3)周囲温度環境の影響を受ける可能性がある、などが指摘されているが¹⁾、

1)に関しては、開頭を要するという条件は、術中の開頭野を利用する限りにおいて問題ではないと考えられた。2)の定量化については、水素クリアランス法、¹³³Xe 動注法などにより、あらかじめ calibration しておくことが可能で、脳血流量を絶対値として表現することは临床上の有用性を高めるものであると考えられた。さらに、3)に関しては、通常の室温、脳表温度であれば、2つのセンサー間の温度勾配が一定であることが、すでに実験的に報告されており¹⁾、臨床応用上、とくに問題とはならないと思われた。

一方、長所としては、1)測定法が簡便である、2)動的、持続的測定が可能である、3)プレート型プロープを使えば脳組織を損傷しない、4)RIを使用しないので手術室での術中測定が容易である、5)プロープの留置による長期測定も可能である、ことなどがあげられる。

臨床応用として、この血流計を用いた報告は、いまだ数多くはないが、我々の経験と文献例をまとめると、以下のごとき臨床応用が考えられる。1)EC-IC bypass における early patency と脳血流量の増加率の評価³⁾、2) Moyamoya 病などにおける STA-MCA anastomosis 後の過呼吸負荷に対する脳皮質血流の変化、3)治療的頸部内頸動脈閉塞術における脳虚血の重症度モニター、4)AVM 摘出術における nidus 周囲組織の hemodynamic change の評価、5)脳動脈瘤術中 temporary clip による脳虚血モニター⁴⁾、6)脳ベラなどによる脳圧迫の影響につ

いての評価、などである。これらの臨床応用は、いずれも手術の安全性や有効性を向上させるために必要と考えられるため、本法による術中脳皮質血流量の測定は、今後ますます普及するものと考えられる。

まとめ

血管吻合術中における Peltier 熱勾配式組織血流計の臨床応用により、1)血管吻合術による脳血流の増加率、および donor 血管からの血流供給範囲を術中に判定できること、2)連続的、非侵襲的に脳血流を測定でき、安定した再現性の高い値が得られること、などから、本測定法は術中脳血流モニター法として広く応用が可能で、安全、有効な手術のために有用と考えられた。

文 献

- 1) 山形 専, 菊池晴彦, 唐澤 淳, 伊原郁夫, 永田 泉, 鳴尾好人, 竹内茂和, 宍戸 尚, 金子的美, 伊藤 守, 橋本研二, 南川 順, 宮本 享: 脳血流モニターシステムの開発—Peltier 熱勾配式組織血流計の実験的検討—. *Neurol Med Chir (Tokyo)* 26: 195-200, 1986
- 2) Carter LP, Erspamer R, Bro WJ: Cortical blood flow; thermal diffusion VS isotope clearance. *Stroke* 12: 513-518, 1981
- 3) Carter LP, Crowell RM, Sonntag VKF, Spetzler RF: Cortical blood flow during extracranial-intracranial bypass surgery. *Stroke* 15: 836-839, 1984
- 4) Carter LP, Erspamer R, White WL, Yamagata S: Cortical blood flow during craniotomy for aneurysm. *Surg Neurol* 17: 204-208, 1982