TCD による脳循環予備能の評価

中谷 進¹⁾, 尾崎孝次²⁾

国立大阪病院脳神経外科¹⁾, 吹田市立市民病院脳神経外科²⁾

Capability and Limitation of Transcranial Doppler in Assessing Cerebral Collateral Flow

Susumu NAKATANI, M.D., Kohji Ozaki, M.D.

*Department of Neurosurgery, Osaka National Hospital and Suita Municipal Hospital
(Received 1 October 1991, Accepted 15 October 1991)*

Abstract

Capability and limitation of transcranial Doppler (TCD) in assessing cerebral collateral flow were evaluated in 25 patients. Changes in velocities and flow directions in basal cerebral arteries were assessed with compressive maneuvers of the common carotid artery and plotted on the three dimensional zero-float computer graphic display. Preoperative TCD examinations were combined with angiographic examinations. 16 of the 25 patients who required temporary or permanent occlusion of the internal carotid artery for treatment of their cerebrovascular and neoplastic lesions were evaluated for the feasibility of carotid clamp or ligation. In 13 of the 16 patients whose neurological function and intracranial vessel flow velocities were maintained adequately, temporary or permanent ligation of the carotid artery could safely be undertaken. In 3 of the 16 patients whose flow velocities decreased to zero, EC-IC bypass was performed prior to the carotid occlusion. TCD findings demonstrated angiographic findings of cross-filling. Collateral capacities of the extracranial-intracranial bypass were examined in the remaining 9 of the 25 patients including 6 patients who underwent vein graft (VG) bypass and 3 patients who underwent STA-MCA anastomosis. Bypass compression tests demonstrated the degree of contribution of the bypass to the cerebral circulation, with the VG bypass surpassing the efficiency of the STA-MCA bypass. In conclusion, TCD provides a better understanding of the hemodynamics of circulation in the brain prior to surgery for cerebrovascular and neoplastic diseases.

Key words : Collateral flow, Endarterectomy, Transcranial Doppler, Carotid occlusion, EC-IC bypass.

一時的または永久的な内頸動脈(internal carotid artery, ICA)閉塞, 結紮に伴う脳虚血による神経学的症状の発生を予知したり, EC-IC バイパスの副循環機能を知る目的で, 脳の循環予備能を調べる方法はいろいろ報告されている。われわれは Aaslid¹⁾により開発されたトランスクラニアルドプラ (Transcranial Doppler, TCD) を用い頭蓋外から非侵襲的に血管圧迫時の脳底部の脳主要動脈の血流速度および血流方向の変化を調べ, 脳の循

環予備能検索における TCD の有用性と限界を検討したので報告する。

1. 方 法

TCD は EME 社製 TC2-64 (西独) を用い, プロブを特に骨の薄いと思われる側頭部耳介前部にあて検査を行なった。一側または両側の頭蓋内内頸動脈終末部 (internal carotid artery, ICA), 中大脳動脈 (middle cere-

Table 1 Clinical and TCD data of cases underwent carotid ligation.

nd: not detected

nt: not tested

	Case	Age Sex	Lesions	Procedures	Angio-cross-filling	TCD data					
						MCA flow			ACA flow		
						Vr cm/s	Vc cm/s	Percent change	FAFP	Reversal by CCT	Postop FTP
A1	KO	43F	Lt CS giant aneurysm	Lt ECA-MCA VGB	+	45	20	-33	+	+	+
A2	TS	77F	Lt CS giant aneurysm	Lt ECA-MCA VGB	+	38	23	-39	nd	nd	+
A3	KD	52F	Lt CS giant aneurysm	Lt ECA-MCA VGB	+	38	20	-40	+	+	+
A4	MK	55M	Lt CS dural AVM	Lt ECA-MCA VGB	+	52	30	-42	nd	nd	+
A5	FT	63F	Lt CS dural AVM	Embolisation	+	35	20	-43	+	+	+

bral artery, MCA), 前大脳動脈 (anterior cerebral artery, ACA) の血流速度 (平均速度, 収縮期 (peak systole, S) 速度, 拡張終末期(end diastole, ED)速度) を測定, 総頸動脈(common carotid artery, CCA) を圧迫した時(carotid compression test, CCT)あるいはバイパスを圧迫した時(bypass compression test, BCT)の血流速度と血流方向の変化を調べ, 血管撮影により判定された結果と比較した。プローブからの距離 (測定深度) と血流速度, 血流方向の変化の関係を東芝 J-3300 パーソナルコンピュータを用いゼロフロート三次元グラフィック表示した。プローブに向かう血流 (orthograde flow, flow towards the probe, FTP)を上向き, プローブから遠ざかる血流 (retrograde flow, flow away from the probe, FAFP)を下向きに表わした。

2. 対象症例

1) ICA 結紮に先だって Willis 輪機能判定を行なったも

のは5例 (海綿静脈洞巨大動脈瘤 3例, 海綿静脈洞硬膜 AVM 2例) (Table 1)。

2) 頭蓋内 ICA, MCA, ACA を巻き込んだ腫瘍 (頭蓋底骨軟骨腫 2例, 巨大下垂体腺腫 2例, 蝶形骨縁髄膜腫 2例) (Table 2)。

3) ICA 内膜剥離術(carotid endarterectomy, CEA)に先だって Willis 輪機能判定を行なったものは ICA 狭窄 5例 (Table 3)。

4) 頭蓋外頭蓋内(extracranial-intracranial, EC-IC)バイパス 後にバイパス機能を調べたもの 9例 (静脈移植 (vein graft, VG)バイパス 6例, STA-MCA 吻合術 3例) (Table 4)。

3. 結果

3-1 CCA compression test(CCT)

1) ICA 結紮に先立つ Willis 輪機能判定

5症例における MCA 血流速度は 35~52cm/s, 平均

Table 2 Clinical and TCD data of cases with tumors involving basal cerebral arteries.

nd: not detected

nt: not tested

	Case	Age Sex	Lesions	Procedures	Angio-cross-filling	TCD data					
						MCA flow			ACA Flow		
						Vr cm/s	Vc cm/s	percent change	FAFP	Reversal by CCT	Postop FTP
B1	KM	46F	Rt chondroma	Rt Ax-MCA VGB Tumor removal	+	65	0	-100	nd	nd	+
B2	SH	49F	Lt chondroma	Lt ECA-MCA VGB Tumor removal	-	52	31	-40	nd	nt	+
B3	MN	28M	Giant pituitary adenoma	Transsphenoidal removal	+	62	18	-71	nd	nd	+
B4	HM	30M	Giant pituitary adenoma	Transsphenoidal removal	nt	60	25	-53	nd	nd	+
B5	MO	65F	Rt sphenoidal ridge meningioma	Rt ECA-MCA-VGB, Tumor removal	-	66	10	-85	nd	nd	nd

Table 3 Clinical and TCD data of cases with carotid occlusive lesions. nd: not detected nt: not tested

	Case	Age Sex	Lesions	Procedures	Angio-cross-filling	TCD data				
						MCA flow			ACA flow	
						Vr cm/s	Vc cm/s	Percent change	FAFP	Reversal by CCT
C1	TM	73F	Bilat ICA stenosis (cervical, intracranial)	Rt Ax-MCA-VGB	-	48	0	-100	nd	nt
C2	HH	68M	Bilat ICA stenosis (cervical)	Endarterectomy	nt	45	20	-55	nd	nt
C3	TN	56M	Bilat ICA stenosis (cervical)	Rt Ax-MCAMwGB	-	38	0	-100	+	-
C4	ToN	65M	Rt ICA stenosis (cervical)	Endarterectomy	nt	40	25	-26	nd	nt
C5	TK	42F	Aortitis, Lt CCA stenosis	Short VGB	nt	40	30	-25	+	-
C6	KT	65M	Rt ICA stenosis (cervical)	Endarterectomy	nt	55	35	-36	+	-

41.6cm/s で、CCA の圧迫により MCA の平均血流速度は 33~43%, 平均 30%の低下を示した。血管写上の cross-filling は全例において良好であった。ACA の FAFP は 3 例において測定でき、CCA 圧迫により血流の逆転が認められた。ICA 結紮後の ACA 血流は全例 FTP を示した (Table 1)。

症例 A1 KO : 43 歳女性, 左 ICA 海綿静脈洞巨大動脈瘤。血管撮影による cross-filling は良好と判断された。

Fig. 1 はこの患者の TCD データを測定深度を横軸に安静時, CCA 圧迫時の血流速度, CCA 圧迫時のパーセント変化を縦軸にとりコンピュートプロットで表わしたものである。安静時 MCA では 45cm/s の FTP が, ACA では FAFP が観察されている。CCA 圧迫により MCA 血流速度は 45mm の深度で -33% の変化を示し, ACA の血流は FTP へと逆転した。

2) 脳主要血管に影響を及ぼしている頭蓋底部腫瘍の例

2 例の頭蓋底軟骨腫, 1 例の蝶形骨縁髄膜腫において

ICA, MCA が腫瘍内に巻き込まれて狭窄しあるいは伸展されており, 2 例の巨大な下垂体腺腫では ICA, ACA が伸展されていた。血管写では cross-filling が 4 例において検査され, 2 例において認められた。MCA の血流は 52~66cm/s, 平均 60cm/s とやや早い速度を示し, CCA 圧迫により 40~100%, 平均 70%の血流低下を示した。全例において血管の偏位が認められたため ACA の血流速度の測定が困難であった。術後, 3 例において ACA で FTP すなわち反対側からの副血行が認められた (Table 2)。

症例 B2 SH : 51 歳女性。左頭蓋底軟骨腫。血管写にて左 ICA が腫瘍内部に巻き込まれ MCA は圧迫により伸展され細くなっていた。MCA 流速は 52cm/s, ACA では FTP が認められた。同側 CCA 圧迫により MCA 流速は -40%, ICA では -100% の変化を示した (**Fig. 2**)。VG バイパスと同時に ICA 結紮を行なった後, 腫瘍を摘出した。

Table 4 Clinical data of cases underwent EC-IC bypass.

	Case	Age Sex	Lesions	Procedures
1	KO	47M	Bilat ICA stenosis	Bilat Ax-MCA VGB
2	MN	48M	Rt ICA occlusion	Rt Ax-MCA VGB
3	TY	48M	Bilat ICA stenosis	Bilat Ax-MCA VGB
4	YI	56M	Lt MCA stenosis	Rt ECA-MCA VGB
5	MT	43M	Lt MCA stenosis	Lt Ax-MCA VGB
6	MK	45M	Rt MCA stenosis	Rt Ax-MCA VGB
7	TN	56M	Bilat ICA stenosis	Bilat STA-MCA
8	TY	53M	Rt ICA stenosis	Rt STA-MCA
9	CI	56M	Rt MCA stenosis	RT STA-MCA

[Abbreviations in tables]

Lt:left
Rt:right
Bilat:bilateral
TCD:transcranial Doppler
Vr:mean velocity at rest
Vc:mean velocity after compression
FAFP:flow away from the probe
FTP:flow towards the probe
CCT:carotid compression test
CS:cavernous sinus
AVM:arteriovenous malformation
CCA:common carotid artery
ECA:external carotid artery
ICA:internal carotid artery
MCA:middle cerebral artery
ACA:anterior cerebral artery
Ax:axillary artery
STA:superficial temporal artery
VGB:vein graft bypass

Case KO 43F

Lt ICA Giant Aneurysm(Cavernous Portion)

Fig. 1 Case A1 KO with a giant aneurysm of the cavernous portion of the internal carotid artery. Computer graphic plotting of blood flow velocities in basal cerebral arteries (cm/s) and percent changes of velocity by common carotid (CCA) compression against the depth of range gate (mm) of the transducer placed over the right (Rt) temporal.

Case SH51F

Lt Skull Base Chondroma

Fig. 2 Case B2 SH with a skull base chondroma. Computer graphic plotting of blood flow velocities (cm/s) in basal cerebral arteries and percent changes of velocity by common carotid (CCA) compression against the depth of range gate (mm) of the transducer place over the left (Lt) temporal.

3) ICA 狭窄症例において CEA 手術操作に先だっの副循環機能検査

主たる病側における MCA 血流速は 38~55cm/s, 平均 44cm/s, CCA 圧迫により 25~100%, 平均 57%の血流低下が認められた。血管写の cross-filling は 2 例において検査されたが認められず, これらの例では CCA 圧迫により MCA 血流がゼロとなり, 副血行が全くないと判断された。ACA における FAFP は 3 例において観察されたが CCA 圧迫による血流逆転は認められず, 術後も血流方向に変化はなかった(Table 3)。

症例 C1 TM: 両側 ICA 狭窄, 73 歳女性。血管写で右は ICA 分枝部 90%の狭窄し, 右 ACA は左側より造影された。TCD による検査では安静時右 MCA 流速は 48cm/s, 右 ACA 血流は確認されなかった。右 CCA 圧迫により MCA 血流は測定不能となった(**Fig. 3**)。術中の血流遮断による脳虚血症状の発現を考慮してシャント使用による CEA よりも EC-IC バイパス手術を選択した。

3-2 EC-IC バイパス後の症例

バイパスを介する血流の ED 相は STA-MCA, VG バイパスとも高値を示し, 低い抵抗の内頸動脈パターンを呈した。**Fig. 4** は EC-IC バイパス後バイパスの開存が確認された 9 例 (STA-MCA 吻合術 3 例, VG バイパス 6 例) における血流速度および方向をまとめたものである。横軸はプローブからの距離, 縦軸は平均速度を示している。上段の VG バイパス症例では 25~55mm の間に FTP が 14 回, FAFP は 20 回測定され, 60~70mm の間に FTP が 13 回 FAFP が 3 回測定されている。下段の

STA-MCA 例では 30~55mm の間に FTP が 9 回, FAFP は 5 回測定され, 60~70mm の間に 6 回 FTP が測定されているが, FAFP は測定されていない。すなわち, MCA でバイパスにより FAFP を示すものが多く認められるが, ACA ではバイパスの影響をあまり受けていないことが示された。バイパスの圧迫により MCA では FAFP すなわちバイパスからの血流が消失あるいは逆転し, CCA の圧迫により FAFP が増大した。

Fig. 3 Case C1 TM with bilateral stenosis of the internal carotid artery, more severe in the right. Effect of right common carotid artery compression. Flow towards the probe in the right middle cerebral artery was decreased to zero by compression and recovered by the release of compression.

Fig. 4 Distribution of blood flow velocities in basal cerebral arteries in 9 cases underwent EC-IC bypass. Upper: in 6 cases underwent vein graft bypass. Both flow towards the probe (FTP) and flow away from the probe (FAFP) were recorded in depth of 30~70mm. Lower: in 3 cases underwent STA-MCA anastomosis. Slow velocities of both FTP and FAFP were recorded in depth of 30~55mm, only FTP in depth of 60mm and greater.

症例 C1 TM: 73 歳女性, 右内頸動脈頭蓋内, 頭蓋外狭窄に対し axillary A と MCA 間の VG バイパスを行った。CCT, BCT の結果を **Fig. 5** に示す。●はバイパス後の各深さにおける血流速度で, MCA と思われる部分での血流は末梢部では FAFP が主体で, 中枢部では FTP が主になっている。○は VG バイパス圧迫後の血流であるが, 圧迫によりこの FAFP が消失し, FTP が出現, 増大した。×は CCA 圧迫後の血流で圧迫により FAFP が速くなった。順行, 逆行の境は 55 ないし 65mm のところにあることが示されている。

4. 考 察

正常な脳血流を一時的に遮断する必要のある外科的操作の間, あるいは永久的な部分的血流遮断後に発生する脳虚血を予知するために脳の副循環機能を前もって調べておく必要があることが多い。

血流減少の影響をみるモニタリング法として, マタステストは用手的に CCA を圧迫して神経症状の発生あるいは脳波上の変化を見る方法であるが, テストがネガティブでも安全とは限らない²⁹⁾。最近では用手法にかわり

Fig. 5 Case TM with bilateral ICA stenosis underwent right vein graft (VG) bypass. Effect of compression of VG bypass and the common carotid artery (CCA) on blood flow velocities in basal cerebral arteries. Symbols: ●, prior to compression; ○, after VG bypass compression; ×, after CCA compression.

ICA 内でバルーンを膨らませて血流を完全遮断するバルーンマタス法がよく行なわれている¹⁸⁾。これは侵襲的な方法で塞栓などの合併症がまれではなく, また血流遮断が完全だというだけで用手法にまさる方法というわけではない。術中には脳波がモニタリングとしてよく用いられている³⁷⁾。連続的観察が可能でデルタ波シータ波の出現から神経学的機能障害を検知しうる²⁷⁾。局所麻酔下に ICA を結紮したり¹⁵⁾、ICA をスクリュウクランプで徐々に閉塞して神経症状がでたら開放する方法もあるが, 狭窄によりかえって塞栓による永久的な神経脱落症状をおこすことがある²⁹⁾。

副循環血流を直接見る方法としては, 脳血管写に際して一側 CCA を圧迫して Willis 輪を介する cross-filling を見る方法, バイパスを圧迫して血流の変化を見る方法がよく行なわれてきた。術中に熱クリアランス法を用いて CCA またはバイパス圧迫時の脳表血流の変化を見る方法⁶⁾もあるが, 定量性, 信頼性に問題がある。術中に頸動脈をクランプした時のスタンプ圧の測定は間接的な方法ではあるが脳灌流の有用なモニタである¹⁹⁾²⁰⁾。いろいろ意見もあるが大体の目安としては CCA の cross-clamping にたえられるのは 50mmHg 以上であるとされている¹²⁾¹³⁾。RI トレーサを用いた術前, 術中の局所脳血流量測定は脳波変化とよく相関する。30 ml/100g/min 以下で脳波に変化が起こり始める²⁷⁾。副血行が豊富な脳

表血流を測定しているのに皮質下の虚血には感受性が悪い²⁸⁾。有用な方法であるが簡便という訳ではない。

このような背景で CCA 圧迫による頭蓋内の血流の変化を非侵襲的に見る方法が望まれていたわけである。超音波ドプラ法は非侵襲的で簡便な血流測定法であり、頭蓋外血管病変の有用な診断的手段となっている。しかし頸部脳動脈や眼動脈から得られる超音波ドプラ情報は間接的であるため頭蓋内血管における血流変化を知る手段としては臨床的には不十分であると見なされている。1982 年 Aaslid は 2MHz のパルスドプラにより頭蓋外から直接脳底部脳主幹動脈の流速を測定する TCD を報告した¹⁾。この方法は最近臨床的に広く用いられ脳神経疾患の補助的診断法としての地位を確立している⁸⁾⁴⁰⁾。TCD によって得られた血流速度の値と局所脳血流測定値との相関は乏しい¹⁰⁾が、それぞれの変化の度合いはよく相関することが知られている⁴⁾¹⁴⁾。したがって、CCA 圧迫に際しての頭蓋内 ICA, MCA, ACA, PCA の血流速度の相対的な変化、血流方向の変化から Willis 輪の副血行の状態を知ることができると報告されている¹⁾²⁾⁵⁾⁹⁾¹⁶⁾¹⁷⁾²²⁾。これら報告の基本的観察としては、MCA 血流は 3~5cm の深さで FTP として観察され同側 CCA 圧迫により PS, ED とともに減少するが、反対側 CCA 圧迫では変化しない。ACA の A1 部の血流速度は 6~7cm の深度で検出され前交通動脈 (anterior communicating artery, AcomA) が機能しているなら同側 CCA 圧迫で A1 での FAFP は逆転し FTP に変化する。反対側 CCA 圧迫では A1 の FAFP の速度は 2~3 倍に増加する。ICA の血流は 5~6cm で測定されるが同側 CCA 圧迫で流速は低下するか、停止する。同じ深度、やや後方で観察される PCA の起始部の血流速度は同側 CCA 圧迫により増加することで PCA であると同定される。

この CCA 圧迫テストを内頸動脈内膜剥離術 (carotid endarterectomy, CEA) の術前に行なった報告では血管撮影と比べても 90% 近い感度を示した²⁴⁾。これはわれわれの検討と一致している。TCD により良好な副血行の示されたものは術中シャントを必要とすることが少なく、脳波上も虚血性の変化の見られる頻度が少なかったという²¹⁾²³⁾。CCA 圧迫テストにおいて重要なのは MCA 血流速度である。CEA 術中このテストを行ないこれが基礎値の 2/3 以下にならない場合は充分副循環があり神経症状の発生なく耐えられると報告されている²⁴⁾。また 38% の MCA 血流速度低下までは安全であるという²⁵⁾²⁶⁾。10cm/s 以下にまで低下するものはスタンプ圧が 50mmHg 以下になるものが多かったという²³⁾。副循環が適当でない患

者ではわずかの時間の CCA 血流遮断にも耐えられず神経脱落症状を発症するからこのような患者の同定が大切である。Padayachee は CEA 術中 CCA 圧迫で 19 例中 3 例の MCA 血流がゼロとなったという²¹⁾。われわれの症例でも CCA 圧迫により MCA 血流が著名に低下したため神経内科医が頸動脈操作を避けバイパスを行なうよう示唆した 2 症例があった。ICA 巨大動脈瘤や脳底部の脳血管に影響を及ぼしている頭蓋内腫瘍の手術においても、たとえば CCA または ICA の結紮が適当かどうかを術前に判断することが出来る²²⁾²⁴⁾。これらの報告を考慮してわれわれ自身では虚血症状を発生する CCA 圧迫時の MCA 血流速度の限界値を求めることをせず、前もってバイパスを施行することにより神経脱落症状の発生を未然に防止することが出来た。

バイパスの適応を神経学的症状、血管撮影、局所脳血流検査からのみできめるのは困難である。非侵襲的 MCA 血流速度測定が手術すべきかどうかを決定するに際しての助けになるという¹¹⁾。MCA 血流が正常で副循環が充分であるのに CT 上梗塞が見られる場合は塞栓によるもので低灌流によるものでないから手術適応はないと判断される。ICA 閉塞と同側の MCA の血流速度がかなり減少している場合は無症候性の低灌流状態を示しており、手術適応である。EC-IC バイパス術前には MCA 血流速度の左右差が見られ、A1 では副血行により FTP になっていることもある。A1 における血流は FAFP であっても FTP であっても STA-MCA 吻合術後変化しないことが多い。VG バイパスのようによく機能しているバイパスでは MCA のひとつの枝における高い逆行性血流 (FAFP) と順流性血流 (FTP) 検出の増加、吻合部位付近の両方向性の血流が観察される。FTP, FAFP の出現頻度、出現深度、の変化は脳循環のバイパスへの依存度を示していることが示唆された。A1 における FTP は減少する。バイパス圧迫により MCA における FAFP の消失と FTP の減少、A1 における FTP の増加が観察される。バイパス圧迫による血流の変化はバイパス副血行への依存度をよく表しており STA-MCA 吻合術に比べ VG バイパス術後の方がより大きく脳血流に影響していることが示された。

術前診断として CT, MRI および脳血管撮影が是非必要であるが、TCD による診断は副循環機能のスクリーニングとしての価値があると思われる。また、術後のバイパス機能の判定も繰り返し可能であることなどから、今後脳外科領域において術前術後の補助診断法、頭蓋内の病態の検索に有用性を発揮すると思われる。

5. 結 語

TCD により Willis 輪や EC-IC バイパスの副循環機能の信頼性に富む解析が可能であった。したがって、TCD は内頸動脈結紮や頸動脈内膜剝離術、主要脳血管に影響を及ぼしている頭蓋内腫瘍摘出術に際しての安全性の検討、EC-IC バイパス術の手術適応、術後の循環動態の把握に極めて有用である。

文 献

- 1) Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H. Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in the basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 1982; 57:769-774.
- 2) Arnolds BJ, von Reutern GM. Transcranial Doppler sonography. Examination technique and normal reference values. *Ultrasound Med Biol* 1986; 12:115-123.
- 3) Baker JD, Gluecklich B, Watson CW, et al. An evaluation of electroencephalographic monitoring for carotid study. *Surgery* 78:787-794, 1975.
- 4) Bishop CRR, Powell S, Insall M, et al. Effect of internal carotid artery occlusion on middle cerebral artery blood flow at rest and in response to hypercapnia. *Lancet* 1986; 2:710-712.
- 5) Bishop CRR, Powell S, Rutt D, et al. Transcranial Doppler measurement of middle cerebral artery blood flow velocity: A validation study. *Stroke* 1986; 17:913-915.
- 6) Carter LP, White W, Atkinson J. Regional cortical blood flow at craniotomy. *Neurosurgery* 1978; 2:223-229.
- 7) Chiappa KH, Stephanie R, Burke BM, et al. Results of electroencephalographic monitoring during 367 carotid endarterectomies. *Stroke* 1979; 10:381-388.
- 8) DeWitt LD, Wechsler LR. Transcranial Doppler. *Stroke* 1988; 19:915-921.
- 9) Grolimund P, Seiler RW, Aaslid R, et al. Evaluation of cerebrovascular disease by combined extracranial and transcranial Doppler sonography: Experience in 1,039 patients. *Stroke* 1987; 18:1018-1024.
- 10) Halsey JH, McDowell HA, Gelman S. Transcranial Doppler and rCBF compared in carotid endarterectomy. *Stroke* 1986; 17:1206-1208.
- 11) Harder A, Gilsbach JM. Transcranial Doppler sonography and its application in extracranial-intracranial bypass surgery. *Neurol Res* 1985; 7:120-141.
- 12) Hays RJ, Levinson SA, Wylie EJ. Intraoperative measurement of carotid back pressure as a guide to operative management for carotid endarterectomy. *Surgery* 1972; 72:953-960.
- 13) Hertzner NR, Beven EG, Greenstreet RL, et al. Internal carotid back pressure, intraoperative shunting, ulcerated atheromata, and the incidence of stroke during carotid endarterectomy. *Surgery* 1978; 83:306-312.
- 14) Kirkham FJ, Padayachee TS, Parsons S, et al. Transcranial measurement of blood velocities in the basal cerebral arteries using pulsed Doppler ultrasound: Velocity as an index of flow. *Ultrasound Med Biol* 1986; 12:15-21.
- 15) Lee KS, Davis CH, McWhorter JM. Low morbidity and mortality of carotid endarterectomy performed with regional anesthesia. *J Neurosurg* 1988; 69:483-487.
- 16) Lindegaard KF, Bakke SJ, Grolimund P, et al. Assessment of intracranial hemodynamics in carotid artery disease by transcranial Doppler ultrasound. *J Neurosurg* 1985; 63:890-898.
- 17) Lindegaard KF, Lundar T, Wiberg J, et al. Variations in middle cerebral artery blood flow investigated with noninvasive transcranial blood velocity measurements. *Stroke* 1987; 18:1025-1030.
- 18) Meinig G, Gunther R, Ulrich P, et al. Reduced risk of ICA ligation after balloon occlusion test. *Neurosurg Rev* 1982; 5:95-98.
- 19) Moore WS, Hall AD. Carotid artery back pressure. A test of cerebral tolerance to temporary carotid occlusion. *Arch Surg* 1969; 99:702-710.
- 20) Moore WS, Yee JM, Hall AD. Collateral cerebral blood pressure: An index of tolerance to temporary carotid occlusion. *Arch Surg* 1973; 106:520-523.
- 21) Padayachee TS, Gosling RG, Bishop CC, et al. Monitoring middle cerebral artery blood velocity during carotid endarterectomy. *Br J Surg* 1986; 73:98-100.
- 22) Padayachee TS, Kirkham FJ, Lewis RR, et al. Transcranial measurement of blood velocities in the basal cerebral arteries using pulsed Doppler ultrasound: A method of assessing the circle of Willis. *Ultrasound Med Biol* 1986; 12:5-14.
- 23) Padayachee TS, Gosling RG, Lewis RR, et al. Transcranial Doppler assessment of cerebral collateral during carotid endarterectomy. *Br J Surg* 1987; 74:260-262.
- 24) Powers AD, Smith RR, Graeber MC. Transcranial Doppler monitoring of cerebral flow velocities during surgical occlusion of the carotid artery. *Neurosurgery* 1989; 25:383-389.
- 25) Schneider PA, Rossman ME, Otis SM, et al. Transcranial Doppler monitoring during carotid arterial surgery. *Surg Forum* 1987; 38:333-335.
- 26) Schneider PA, Ringelstein EB, Rossman ME, et al. Importance of cerebral collateral pathways during carotid endarterectomy. *Stroke* 1988; 19:1328-1334.
- 27) Sharbrough FW, Messick JM, Sundt TM. Correlation of continuous electroencephalograms with cerebral blood flow measurements during carotid endarterectomy. *Stroke* 1973; 4:674-683.
- 28) Sundt TM. The ischemic tolerance of neural tissue and the need for monitoring and selective shunting during carotid endarterectomy. *Stroke* 1983; 14:93-98.
- 29) Tindall GT, Odom GL. Treatment of intracranial aneurysms by proximal carotid ligation. *Prog Neurol Surg* 1969; 66-114.
- 30) Wechsler LR, Ropper AH, Kistler JP, et al. Transcranial Doppler in cerebrovascular disease. *Stroke* 1986; 17:905-912.