原 著

弁置換術・中隔欠損症例における術中 transcranial Doppler 所見の変化

高瀬憲作¹ 下江安司² 黒上和義² 筑後文雄² 鈴江淳彦¹ 瀧本 理¹ 檜原道治¹
橋本常世¹

¹徳島県立中央病院脳神経外科

²徳島県立中央病院心臓血管外科

Changes in Transcranial Doppler Findings during Open Heart Surgery

Kensaku TAKASE¹, Yasushi SHIMOE², Kazuyoshi KUROKAMI², Fumio CHIKUGO², Atsuhiko SUZUE¹,
Osamu TAKIMOTO¹, Michiharu KASHIHARA¹, Tsuneyo HASHIMOTO¹

¹Department of Neurosurgery, Tokushima Prefectural Central Hospital

²Department of Cardiovascular Surgery, Tokushima Prefectural Central Hospital

Transcranial Doppler sonography is frequently used to monitor cerebral blood flow velocities during open heart surgery. There was little information about Doppler findings in patients with congenital heart diseases and valvular heart diseases.

This study included 12 women and six men, with a mean age of 40.6 years. Two patients had ventricular septal defect, four were diagnosed as having atrial septal defect, and one had both defects. Eleven patients underwent surgical replacement of heart valves. Two underwent aortic valve replacements and two underwent surgery on both the aortic and mitral valves. In seven patients, the mitral valve was replaced because of mitral regurgitation. The maximum, mean, and minimum flow velocities of the left middle cerebral artery (MCA) were measured intraoperatively before and after replacement. In the patients with aortic insufficiency and ventricular septal defect, the mean and diastolic flow velocities were markedly reduced on Doppler recordings before valvular replacement. In the patients with aortic insufficiency, a bisferious pulse was found on the Doppler spectra. In contrast, in the patients with mitral regurgitation and atrial septal defect, the Doppler waveforms showed normal findings preoperatively. In the patients with raised intracranial pressure, a high value of PI and low diastolic flow velocities were found on the TCD spectra. The same findings were sometimes seen in the patients with aortic insufficiency or ventricular septal defect. In patients with mitral insufficiency or atrial septal defect, the Doppler spectra showed no change on the TCD records postoperatively. Spiky contours were detected by Doppler in the patients with valvular heart disease secondary to subacute endocarditis.

It is concluded that TCD could provide an approximation of changes in cerebral blood flow velocity in patients with valvular heart disease and ventricular septal defect.

Key words: transcranial Doppler ultrasonography, aortic insufficiency, ventricular septal defect, valvular heart disease, open heart surgery

はじめに

心臓血管外科手術の際の術中脳循環モニターとして、トランスクリニアルドプラ (transcranial Doppler, 以下TCDと略す) が応用されるようになってきている³⁾。TCD検査は非侵襲的に頭蓋内主幹脳動脈の血流速度や血流方向を測定することが可能であり、体外循環時の脳血流速度の変化を即時的に検出することが出来る⁹⁾。また、血栓や塞栓の

発生を検出することが可能であり、術中モニターとしての有用性についての報告も多い⁷⁾。一方、弁膜疾患や先天性心奇形などに伴う脳血流速度の異常やドプラ血流速度波形の異常所見については、その重要性が指摘されているが、詳細な報告はほとんどない^{1, 2)}。われわれは弁膜疾患に対する弁置換前後の、および、中隔欠損症例における閉鎖前後の術中TCDモニターを施行し、血流速度、ドプラ波形の変化について検討した。

Reprint request

高瀬憲作：〒770 徳島市蔵本町1丁目10-3 徳島県立中央病院脳神経外科

Kensaku TAKASE: Department of Neurosurgery, Tokushima Prefectural Central Hospital, 1-10-3 Kuramoto-cho, Tokushima 770, Japan

[Received August 7, 1997 ; Accepted October 20, 1997]

対象と方法

今回対象としたのは、1992年10月から1996年2月までの間に当院で心臓血管外科手術を施行した症例のうち、術中 TCD モニターが完全にできた先天性中隔欠損症例および弁膜疾患例18例（男6例，女12例，年齢3カ月から70歳，平均年齢40.6歳）である（Table 1）。永続性の心房細動例や、不整脈が多発している例，および，術前の血管写や MR angiography で頸動脈ないし頭蓋内主幹脳動脈に閉塞や50%以上の狭窄のあった例は除外した。先天性中隔欠損症例は7例あり，心室中隔欠損症（VSD）2例，心房中隔欠損症（ASD）4例，ASD と VSD の合併例が1例あった。弁膜疾患に対して人工弁置換術を施行した症例は11例あった。大動脈弁閉鎖不全症（AR）に対して大動脈弁置換術を行った症例は4例あり，このうち2例では，合併した僧帽弁閉鎖不全症（MR）に対して僧帽弁置換術を施行した。僧帽弁のみを置換した症例は7例あり，うち6例は MR，1例は僧帽弁狭窄症（MS）に対して施行したものであった。6例の MR 症例のうち，3例では三尖弁閉鎖不全症を合併しており，1例では軽度の大動脈弁閉鎖不全症も合併していた。

TCD 装置は EME 社製 TC-2 64B を使用し，2MHz pulsed Doppler プローベを用いて，原則として左側頭部の骨非薄部（いわゆる temporal bone window）から測定深度60mmないし45mm程度の中大脳動脈の血流速度を測定した。術中 TCD モニターは，手術開始後循環動態が安定した時点から開始し，開心操作が終了し体外循環を停

止し，心拍再開後心拍出が安定するまでの間，連続的に施行した。今回は自己心拍停止前の TCD 波形と開心操作終了後心拍が再開し安定した時点の TCD 波形を対象とした。各症例について収縮期最高血流速度（Vmax），平均血流速度（Vmean），拡張期最低血流速度（Vmin），pulsatility index（PI 値）およびドプラ血流波形の変化について比較検討した。Vmean および PI 値についてはモニター画面上に表示された値を，Vmax と Vmin についてはモニター上でカーソルを用いて計測した値を採用した。

人工弁置換術では，大動脈弁には SJM 社の 2 葉弁を，僧帽弁には Carbomedics 社の 2 葉弁を使用した。全例気管内挿管の上，全身麻酔下に手術を施行した。大量フェンタニール麻酔法を用い，補助剤として吸入麻酔剤セボフルレンを適宜使用し，筋弛緩剤としてベクロニウムを使用した。2症例では塩酸モルヒネを併用した。異常低血圧時の血圧維持の目的には塩酸ドパミンもしくはドブタミンを，末梢血管拡張の目的には塩酸ニカルジピンを用いた。原則として中等度低体温下に開心操作を行ったが，手術時間が30分程度以内の例では常温下に手術を施行した。術中全例において体温（咽頭温），心電図，肺動脈圧，左房圧，体血圧などのモニターを行った。なお，術中の動脈血ガス分析は 37°C1気圧の条件下（alpha-stat strategy）で測定した。

結 果

18症例のうち，術後に新たな神経脱落症状を認めた例は1例もなかった。開心操作前後の TCD 血流速度測定時の咽頭温，動脈血 pH，PaCO₂，ヘマトクリット，橈骨動脈の

Table 1 Clinical summary of the 18 study cases

Case No	Name	Age	Sex	Diagnosis	Operation	Preoperative				Postoperative			
						Vmax	Vmean	Vmin	PI	Vmax	Vmean	Vmin	PI
1	KH	50	F	VSD	closure	78	38	24	1.58	76	62	52	0.72
2	HW	0	M	VSD	closure	72	40	32	1.42	86	64	48	0.84
3	MH	1	F	VSD, ASD	closure	70	46	26	1.50	74	68	40	0.62
4	HO	52	M	ASD	closure	72	50	44	0.80	76	54	48	0.74
5	KI	3	F	ASD	closure	68	48	36	0.76	74	52	48	0.72
6	MT	1	F	ASD	closure	74	58	38	0.74	76	56	40	0.78
7	YS	4	F	ASD	closure	70	60	36	0.80	72	62	44	0.68
8	HF	53	M	AR, MR	replacement (Aortic)	80	46	22	1.60	92	62	50	0.82
9	AH	59	F	AR	replacement (Aortic)	72	40	32	1.32	84	64	54	0.86
10	AM	60	F	AR, MR	replacement (Aortic, Mitral)	76	40	26	1.59	78	66	40	0.65
11	AK	53	F	AR, MR, TR	replacement (Aortic, Mitral)	88	46	24	1.60	74	52	44	0.85
12	YS	55	M	MR, TR	replacement (Mitral)	84	60	42	0.90	98	58	50	0.60
13	NM	42	M	MR	replacement (Mitral)	90	62	44	0.92	100	70	58	0.72
14	TT	44	F	MR	replacement (Mitral)	78	56	48	0.88	92	68	54	0.82
15	HO	59	F	MR	replacement (Mitral)	76	50	42	0.78	88	70	56	0.84
16	SU	62	F	MS	replacement (Mitral)	74	48	44	0.86	86	66	50	0.88
17	NK	70	M	MR, TR	replacement (Mitral)	72	36	46	0.68	104	80	52	0.73
18	YT	60	F	MR, TR, AR	replacement (Mitral)	76	42	24	1.34	74	60	44	0.67

VSD: ventricular septal defect, ASD: atrial septal defect, AR: aortic regurgitation, MR: mitral regurgitation, TR: tricuspid regurgitation, MS: mitral stenosis, Vmax: maximal cerebral blood flow velocities, Vmean: mean cerebral blood flow velocities, Vmin: minimal cerebral blood flow velocities, PI: pulsatility index (Gosling)

Fig. 1 Transcranial Doppler (TCD) spectrum in a one-year-old female baby with ventricular septal defect (VSD)

a: These waveforms were obtained before ventricular septal closure. The upstroke time was prolonged and the ejection time was shortened. The maximum systolic flow velocities and the mean flow velocities were low, and the PI values were elevated to 1.50.

b: TCD records obtained just after septal closure showed normal Doppler waveforms. The PI values were reduced to within the normal ranges.

Table 2 Changes in clinical variables

	Preoperative	Postoperative
MNPT (°C)	34.2 ± 1.6	34.4 ± 1.2
pH	7.401 ± 0.050	7.403 ± 0.044
PaCO ₂	33.8 ± 3.8	34.5 ± 3.1
Ht (%)	28.4 ± 2.6	27.6 ± 2.2
MAP (mmHg)	78.6 ± 8.2	82.4 ± 9.6
HR (/min)	72.2 ± 3.6	74.4 ± 5.4

MNPT: mean nasopharyngeal temperature

Ht: hematocrit, MAP: mean arterial pressure (radial artery)

HR: heart rates

直接穿刺による体血圧および、心拍数については、いずれも有意差を認めなかった (Table 2).

a) 中隔欠損症例

Case 3 MH 1歳 女児 (Fig. 1)

1994年5月11日、出生。生下時からVSD、ASDを指摘されており、1歳を過ぎた時点での根治術を計画し、1995年7月8日施行した。

TCD上で、中隔欠損閉鎖前にはVmaxは70~78cm/s、Vmeanは44~48cm/s、Vminは22~28cm/s程度であり、PI値は1.50と高値を示した (Fig. 1a)。閉鎖後Vmaxは若干上昇し、Vmeanは68cm/s、Vminは50~56cm/sと著明に上昇し、PI値は0.62に低下していた (Fig. 1b)。ドプラー波形に注目してみると、閉鎖前にはupstrokeの立ち上がりがなだらかなであり、systolic peakは先鋭な形状をしていたが、閉鎖後upstrokeは急峻となり、systolic peakの時間は延長していた。

VSDの3症例全体では、Vmaxは中隔閉鎖前平均73.3cm/sであり、閉鎖後は78.7cm/sとほとんど変化していなかった。これに対して、Vmeanは閉鎖前41.3cm/sが閉鎖後64.7cm/sに、Vminでは27.3cm/sが46.7cm/sと著明に上昇していた (Table 3)。PI値は平均1.50であったものが0.71に低下していた。ASD症例全例では、Vmax、Vmean、Vmin、および、PI値のいずれも閉鎖前の値に異常と思われる所見はなく、閉鎖後も有意な変化は認めなかった。

Table 3 Preoperative and postoperative clinical values on TCD records

				(cm/s)			
Diagnosis		Preop	Postop	Diagnosis		Preop	Postop
VSD (n=3)	Vmax	73.3	78.7	AR (n=4)	Vmax	79.0	82.0
	Vmean	41.3	64.7		Vmean	43.0	61.0
	Vmin	27.3	46.7		Vmin	26.0	49.5
	PI	1.50	0.71		PI	1.52	0.80
ASD (n=4)	Vmax	71.0	74.5	MR (n=7)	Vmax	78.6	91.7
	Vmean	54.0	56.0		Vmean	50.6	67.4
	Vmin	38.5	45.0		Vmin	41.4	52.0
	PI	0.78	0.73		PI	0.91	0.75

VSD: ventricular septal defect, ASD: atrial septal defect, AR: aortic regurgitation, MR: mitral regurgitation

Vmax: maximal cerebral blood flow velocity, Vmean: mean cerebral blood flow velocity

Vmin: minimal cerebral blood flow velocity, PI: pulsatility index (Gosling)

Fig. 2 Preoperative and postoperative Doppler records in patients with aortic valve regurgitation

a,b: TCD records obtained in Case 8, a 53-year-old man, with aortic valve regurgitation

a: In the preoperative TCD recordings, the upstroke time was shortened and the systolic peaks were separated by mild systolic retraction ($\downarrow$). A marked reduction of end-diastolic flow velocity in the middle cerebral artery was recorded. Mild reverse flow was also seen during the diastolic phase ($\uparrow$).

b: Postoperative TCD records in the same patient. The end-diastolic flow velocity recovered to normal, and the retrograde flow disappeared postoperatively.

c,d: TCD records in Case 11, a 53-year-old woman with aortic valve regurgitation

c: Contour oscillations were seen in the preoperative TCD recordings. The PI values were elevated to 1.64.

d: The PI value was reduced to 0.85 and the diastolic flow velocity was elevated to 40 cm/s, postoperatively.

b) 大動脈弁置換術症例

Case 8 HF 53歳 男性 (Fig. 2)

1993年12月中旬, 歯科治療を受けた。1994年1月初旬から発熱, 動悸, 呼吸困難が出現し, 亜急性心内膜炎, 大動脈弁閉鎖不全症および軽度の僧帽弁閉鎖不全症と診断した。1994年2月24日, 大動脈弁置換術を施行した。

本症例では, 弁置換前には Vmax は76~78cm/s, Vmean は38~44cm/s, Vmin は20cm/s 程度であり, PI 値は1.59であった (Fig. 2a)。弁置換後には Vmax はほとんど変化せず80cm/s 前後の値であったが, Vmean は66cm/s, Vmin は52cm/s と著明に増加しており, PI 値は0.65に低下していた (Fig. 2b)。弁置換前のドプラ波形では, 収縮期に2峰性のピークを示す, いわゆる bisferious pulse contour を認めた (Fig. 2a)。拡張期に異常な spiky wave を認めたが, 弁置換後には収縮期血流波形は正常化しており, spiky wave も消失していた。

Case 11 AK 53歳 女性

1980年頃から発熱を繰り返していた。1994年2月から発熱, 動悸, 呼吸困難が強くなり入院した。1994年5月16日, 大動脈弁, 僧帽弁置換術を施行した。弁置換前のドプラ波形では, 非常に強い contour oscillation がみられ, 収縮期の持続時間の短縮を示していた (Fig. 2c)。Vmax は70~80cm/s で, Vmean は46cm/s, Vmin は20~24cm/s であった。また, PI 値は1.64と著明に上昇していた。弁置換後, ドプラ波形上 contour oscillation は消失し, systolic peak の延長が認められた (Fig. 2d)。このとき, Vmax は72~74cm/s, Vmean は46cm/s, Vmin は38cm/s となり, PI 値は0.85と正常化していた。

AR 例4例では, 弁置換前 Vmax は平均79cm/s であり, 置換後は82cm/s とほとんど変化がなかった (Table 3)。

Vmean は置換前43cm/s であったものが置換後は61cm/s に増加し, Vmin も置換前26cm/s であったが置換後49.5cm/s と著明に上昇していた。PI 値の平均値は, 置換前1.52と高値をとっていたが, 置換後0.80に低下し, 正常化していた。

c) 僧帽弁置換術症例

Case 15 HO 59歳 女性

上気道炎症状があり, 1994年4月, 来院し, 心雑音があり, 僧帽弁閉鎖不全症と診断した。1994年6月18日, 僧帽弁置換術を施行した。

置換後, 血流速度測定値は術前に比べて, 全体的に増加していた。この変化は, 平均体血圧が68mmHg から98mmHg に上昇していた影響と考えられた。ドプラの波形自体は弁置換前後でほとんど変化はみられなかった (Fig. 3a, b)。

Case 18 YT 68歳 女性

1995年2月, 心不全, 呼吸不全症状があり, 入院した。僧帽弁, 三尖弁, 大動脈弁閉鎖不全症があり, 1995年8月24日, 僧帽弁置換術を施行した。

本例では, 置換前 Vmax は84~90cm/s, 置換後96~100cm/s と若干上昇し, Vmin は置換前後とも50cm/s 程度と血流速度はあまり変化がなかったが, 置換前systolic peak の持続時間が短く, このため Vmean 値は42cm/s と低値であり, PI 値は0.9~1.3とやや高値であった (Fig 3c)。弁置換後には systolic peak の持続は延長し, Vmean は78cm/s と上昇し, PI 値は0.6程度に低下した (Fig 3d)。

僧帽弁置換術症例7例中1例 (csae 18) では術前に比べて, 置換後 Vmean および Vmin は上昇し, PI 値は低下していた。しかし, 他の6症例では, Vmax, Vmean, Vmin, PI 値のいずれにおいても, 一定の変化は認められ

Fig. 3 Preoperative and postoperative Doppler records in the patients with mitral valve regurgitation.

a,b: TCD waveforms obtained in Case 15, a 59 year-old woman, with mitral insufficiency. In the preoperative TCD recordings, the Doppler waveforms appeared normal.

c,d: TCD waveforms in Case 18, who underwent surgical replacement of the mitral valve.

This patient was also diagnosed as having mild tricuspid insufficiency and aortic insufficiency. The flow velocity during diastolic phase was reduced, and the PI value was elevated slightly in the preoperative TCD examination. Postoperatively, the PI value was reduced to within the normal range.

なかった (Table 3).

考 察

TCD 検査施行時に、不整脈によりドプラ波形が大きく変化することはよく経験するところであり、脳血流速度を測定する際に、心機能の評価することは重要である³⁾。頸部頸動脈における duplex scan や TCD などの所見における心機能の評価の重要性について述べた文献は多いが、先天性心疾患や弁膜症疾患における術中の血流速度や血流波形変化についてのまとまった報告は、われわれが渉猟したかぎりにおいては、ほとんどなかった^{1, 2, 4, 5, 8)}。そこで今回われわれは、術中の心機能モニターとしての TCD の有用性について検討してみた。

検討した18症例におけるモニターの結果を Table 3 にまとめてみた。心室中隔欠損症例および、大動脈弁置換を行った症例では、術直前の TCD 検査所見において拡張期最低血流速度と平均血流速度が低下していた。このため、PI値は1.5程度に上昇していた。術後所見では、最大血流速度は術前とほとんど変化はなかったが、最低血流速度と平均血流速度は著しく上昇、回復しており、PI 値は正常範囲内まで低下していた。これは拡張期における大動脈弁逆流や中隔欠損による左右シャントが消失し、心拍出が正常化したためと思われる。一方、心房中隔欠損症例および、大動脈弁以外の弁疾患症例では、1例を除いて術前の血流速度やPI値に異常所見をほとんど認めず、術後もほとんど変化がなかった。これらの例では、術前後における体循環自体の直接的な変化がほとんどないことが原因であると考えた。

Carotid duplex sonography などから得られた大動脈弁閉鎖不全症例における特徴的な所見として、収縮期最

大血流速度の上昇、upstroke が急峻な形状となること、拡張期血流速度が低下し、強い場合には逆流がみられること、および、いわゆる bisferious pulse と呼ばれる二峰性のピークが収縮期にみられること、があげられている^{1, 4, 5, 8)}。収縮期に血流速度が亢進し、同時に upstroke が急峻化する所見については、弁逆流に伴う左室の仕事量の増大により左室の hypertrophy が生じた結果であると考えられている。収縮期に二峰性のピークがみられる原因については様々な説があるが、確定的なことはまだ不明である。AR があっても約30%の例では bisferious pulse などの特徴的な所見がみられないこともあり、注意が必要である²⁾。なお、これとよく似た変化は、動脈管開存症やVSD例でもみられることがある¹⁾。また、心機能が正常な場合でも、異常な低血圧の際に AR 例と同じような拡張期の血流速度低下が観察される例が報告されている^{1, 6, 8)}。一方、頭蓋内脳循環の病態変化の面からみると、この AR に特徴的な血流波形によく似た変化、すなわち拡張期の血流速度低下、PI 値の上昇などの所見は、頭蓋内圧亢進時に典型的に認められる所見である^{2, 5, 6, 8)}。従って、病態生理学的に、頭蓋内圧亢進がないと考えられる症例の TCD 検査の際に、このような異常所見が得られた場合には、AR や VSD, PDA などの心疾患が存在するという可能性を常に念頭に置いて検査をする必要があると考えられた。

また、特に亜急性心内膜炎による弁膜疾患例では、ドプラ波形上で contour oscillation と呼ばれるような、特徴的な spiky wave の混入が認められた。この spiky wave は大動脈弁、僧帽弁、三尖弁のいずれの弁置換疾患例でも認められた。しかも、この spiky wave は弁置換後には消失していた。したがって、この所見は、硬化したり変形した弁が動くときに生ずる機械的な雑音が混入したものと考

えた。

我々の施設では低体温下体外循環開心術中の脳血流モニターとしてTCDを用いており、この一環として術前後の弁機能モニターとして応用してみた。今回の結果から、大動脈弁疾患については、弁置換前に血流波形の異常があり、置換後に正常化する所見が得られ、TCD モニターは非常に有用であった。しかしながら、僧帽弁、三尖弁疾患例では、spiky wave の混入所見以外に弁置換前の異常所見を捉えることができず、弁置換後の血流波形にもほとんど変化はなかった。このため、僧帽弁、三尖弁疾患例の弁機能評価には TCD モニターでは不十分であると考えられた。中隔欠損例においても、VSD 例では瘻孔閉鎖前に AR 例と同様の血流波形変化が捉えられ、閉鎖後に正常化する所見が得られた。しかし、ASD 症例では、閉鎖前の血流波形異常がほとんどみられず、閉鎖後も変化はなかった。したがって、心機能モニターとしての TCD の応用には限界があり、体循環にその機能が直接反映される左室系の疾患 (AR や VSD) については、評価が可能であったが、その他の機能評価については限界があった。また、TCD における血流速度は、血圧や PaCO₂、ヘマトクリットなど様々な要因で大きく変化することが知られており、特に、心臓血管外科手術中では、循環血液量や体温などの生理的条件の変化や投与薬剤等によりダイナミックに循環動態が変化することが多く、血流速度の絶対値としては相互の比較が困難な場合が多い^{4, 9)}。今回の検討においても、各症例における測定時の生理的条件をできるだけ一定となるようにしたが、開心術前後で血流速度が著しく変化した症例も見られた。したがって、PI 値など、比較的生理的条件の影響を受けにくい値を指標として評価する必要があると考えられた。今後、他の心奇形などについても検討したいと考えている。

結 論

TCD を用いて開心術中の心機能モニターを行う利点としては以下のようなことがある。すなわち、1) 体外循環のモニターとしてTCDを使用しており、余分な操作を必要とせず、即時的に評価が可能であるということ、2) TCD 検査は非侵襲的であり、患者の負担が少ないこと、3) 術前後の記録の比較が簡単にできること、4) 最も重要な臓器である脳における左心機能の評価が可能であること、5) 体循環のなかでは最も末梢血管抵抗が低く、かつ安定していること、および、ドプラの sampling volume と血管径の差が少ないために安定したデータが得られること、などである。一方、欠点としては、1) 大動脈弁など

の左室以外の異常の検出で難しいこと、2) 血圧変化や不整脈などにより所見の比較や判定が困難となる場合が多いこと、3) 心臓から比較的遠い位置におけるモニターであり、血管腔、血管壁や末梢の影響を受け、波形に変化が生ずる可能性が高いこと、4) 弁の音の混入など artifact に対する対策が必要な場合も多いこと、等があった。また、左室機能に異常がある例では、頭蓋内圧亢進時のドプラ波形所見とよく似た所見がみられることがあり、TCD 検査所見判定の際に重要であると考えられた。

文 献

- 1) 市橋 光, 谷野定之, 倉松俊弘, 宮尾益知, 柳澤正義: 先天性心疾患児における脳室径および脳血流パターン (PI) の変化. *Neurosonology* 3: 147-151, 1990
- 2) Kallman CE, Gosink BB, Gardner DJ: Carotid duplex sonography; Bisferious pulse contour in patients with aortic valvular disease. *AJR* 157: 403-407, 1991
- 3) 上平 聡, 森 透: 心臓血管外科の術中モニタリング. 金谷春之, 高倉公朋 (監): TCD マニュアル - 経頭蓋超音波診断, 東京: 中外医学社, 1996, pp125-129
- 4) Kofke WA: Transcranial Doppler ultrasonography in anesthesia. in Babikian VL, Wechsler LR (ed): *Transcranial Doppler ultrasonography*, St. Louis: Mosby, 1993, pp190-215
- 5) Lindegaard KF: Indices of pulsatility. in Newell DW, Aaslid R (ed): *Transcranial Doppler*, New York: Raven Press, 1992, pp67-82
- 6) 永井秀政: 頭蓋内圧評価. 金谷春之, 高倉公朋 (監): TCD マニュアル - 経頭蓋超音波診断, 東京: 中外医学社, 1996, pp117-119
- 7) Pugsley W, Klinger L, Treasure T, Harrison M, Newman S: The impact of microemboli during cardiopulmonary bypass on neurological functioning. *Stroke* 25: 1393-1399, 1994
- 8) von Reutern GM, von Buedingen HJ (ed): *Ultrasound diagnosis of cerebrovascular disease*, Stuttgart, New York: George Thieme Verlag, 1993
- 9) Weyland A, Stephan H, Kazmaire S, Weyland W, Schorn B, Gruene F, Sonntag H: Flow velocity measurements as an index of cerebral blood flow. Validity of transcranial Doppler sonographic monitoring during cardiac surgery. *Anesthesiology* 81: 1401-1410, 1994