

# 経頭蓋超音波ドプラ法による脳循環の評価

(第1報)

—脳血管造影との対比—

奈良県立医科大学第1内科学教室

森岡 泰子

## DIAGNOSTIC IMAGING OF THE BASAL CEREBRAL ARTERIES BY TRANSCRANIAL DOPPLER ARTERIOGRAPHY

### I. COMPARISON WITH CONVENTIONAL ANGIOGRAPHY

YASUKO MORIOKA

*The First Department of Internal Medicine, Nara Medical University*

Received March 25, 1994

*Abstract:* This study was undertaken to determine whether transcranial Doppler arteriography (TCDA) was useful in the diagnosis of cerebrovascular disorders.

Intracranial hemodynamics of the basal cerebral arteries were evaluated by TCDA in 161 patients who underwent conventional cerebral angiography: 64 cases showed ischemic cerebrovascular disease while 97 showed normal findings on both cerebral angiography and brain CT. The basilar artery was insonated in every patient on TCDA; of the 161 patients, the middle cerebral artery was detectable in 150 by transtemporal approach. Of the 32 patients evaluated for occlusion or stenosis by cerebral angiography, flow velocity mapping of the basal cerebral artery was made in 26, and TCDA indicated the presence of ischemic disease in 23.

These results indicate that TCDA is useful in the evaluation of patients with ischemic cerebrovascular disease.

#### Index Terms

cerebral angiography, cerebrovascular disease, intracranial hemodynamics, transcranial Doppler arteriography

#### はじめに

高齢化社会を迎えた現在、脳循環動態を非侵襲的に把握することは、脳血管障害の診断・治療にきわめて重要な課題と考えられる。超音波ドプラ法は脳循環動態の非侵襲的測定法として広く臨床に用いられてきたが<sup>1)</sup>、とりわけ Aaslid et al.<sup>2)</sup>によって開発された経頭蓋超音波ドプラ法(transcranial Doppler: TCD)は頭蓋内脳血流速度の測定法としてその有用性が評価されている<sup>3)-9)</sup>。

つまり、TCDは、1)非侵襲的検査法であること、2)反復検査が可能であることなどの利点を有するからである。

しかし、TCDは、病変の部位を2次的に提示する能力に欠けていた。一方、新規に開発された transcranial Doppler arteriography<sup>10)</sup>(TCDA)は、検者が血管走行に沿って測定部位の深度や探触子の角度を変化させながら血流速度波形を入力することによって、頭蓋内主幹動脈の走行を2次的にモニター画面に明示することが可能であり、しかも再現性がきわめて高い<sup>10)</sup>。しかし多数例を

対象にした詳細な報告はなされていない。そこで著者は、臨床症状から脳血管障害が疑われる患者に脳血管造影と TCDA を実施し、両検査所見を対比することで脳血管障害の非侵襲的診断を試みた。

### 対象と方法

#### 1. 対象

対象は、1988年1月から1991年12月に町立大淀病院に通院または入院中の患者のなかで、脳血管障害が疑われ、TCDA、頭部コンピュータ断層撮影(CT)および脳血管造影を実施し得た161例である。その性別は男性109例、女性52例、年齢は27から78(平均61)歳であった。対象を脳血管造影所見および頭部CT所見から、脳血管造影所見に50%以上の狭窄あるいは閉塞性病変を示した32例(I群)、脳血管造影所見に異常はないが、頭部CT所見で低吸収域を示す32例(II群)、および頭部CT所見と脳血管造影所見の両者に異常を示さず、一過性脳虚血発作の既往もない97例(III群; 平井<sup>11)</sup>の定義より脳循環不全例とみなす)の3群に分けた(Table 1)。I群における病変部位の内訳は、7例が内頸動脈閉塞、5例が内頸動脈狭窄、16例が中大脳動脈狭窄、および4例が脳底動脈狭窄である(Table 2)。

なお、血管狭窄は、従来の報告<sup>4)10)</sup>から、血管造影所見で50%以上の狭窄を示すものとした。

#### 2. 方法

##### (1) 脳血管造影

Seldinger法により4 vessel study(両側内頸動脈造影, 両側椎骨動脈造影)を実施した。

##### (2) TCDA

頭蓋内主幹動脈の血流速度(BV)はTCDA(Transcan; EME社製)を用いて測定し、全症例で脳血管造影に先立って実施した。TCDAは、2MHzのパルスドプラ血流計であり、その探触子が位置検出アームによって頭部に固定されており、側頭部からの深度をX軸、前頭部からの深度をY軸、頭頂部からの深度をZ軸とし、測定深度を変えながら血管走行に沿って血流速度の入力が可能な装置である。つまり、本装置は、血管走行に沿った血流速度を繰り返し入力することで、モニター画面上に頭蓋内血管の走行を正面像・側面像・水平像として明示することが可能になる。そこで、中大脳動脈M<sub>1</sub>部、前大脳動脈A<sub>1</sub>部の血流速度は側頭部からの走査、脳底動脈の血流速度は後頭部からの走査によって測定される(Fig. 1)。

なお、血流速度の左右差は、米田<sup>12)</sup>の報告にしたがって、左右の比が1.35以上の場合にありと判定した。さらに脳

Table 1. Subjects

| Group | No. of cases | Male | Female | Age (mean)   |
|-------|--------------|------|--------|--------------|
| I     | 32           | 28   | 4      | 45-78 (63.5) |
| II    | 32           | 23   | 9      | 36-77 (58.8) |
| III   | 97           | 58   | 39     | 35-78 (61.6) |
| Total | 161          | 109  | 52     | 35-78 (61.4) |

Group I : patients diagnosed having stenosis and/or occlusion in basal cerebral artery by cerebral angiography.

Group II : patients with low density area in brain CT, but without abnormal findings in cerebral angiography.

Group III : patients with normal findings in both brain CT and cerebral angiography.

Table 2. Angiographic findings in Group I

| Diagnosis           | No. of cases | Male | Female |
|---------------------|--------------|------|--------|
| ICA occlusion       | 7            | 6    | 1      |
| ICA stenosis (≥50%) | 5            | 5    | 0      |
| MCA stenosis (≥50%) | 16           | 12   | 4      |
| BA stenosis (≥50%)  | 4            | 3    | 1      |
| Total               | 32           | 26   | 6      |

ICA; internal carotid artery, MCA; middle cerebral artery, BA; basilar artery.

底動脈血流速度の低下は、健康者(20歳代男女15例)の正常脳底動脈平均血流速度測定(44.8±10.2 cm/秒)の結果に基づいて、24.4 cm/秒(mean-2 SD)以下とした。

### 成 績

#### 1. 内頸動脈閉塞例

##### (1) 症例呈示

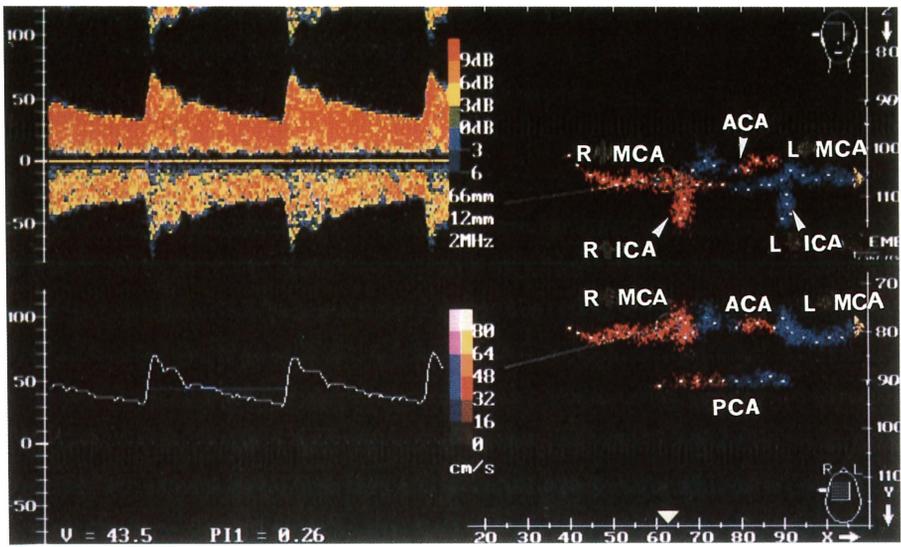
症例は、60歳の男性で、眩暈を主訴に来院した。脳血管造影所見は右内頸動脈閉塞を示し、右前大脳動脈のTCDAでは108.4 cm/秒の速い逆行性の血流を示すドプラ信号が検出された。中大脳動脈血流速度は、右側が51.3 cm/秒、左側が96.9 cm/秒であり、内頸動脈閉塞側で低下していた(Fig. 2)。

##### (2) 脳血管造影所見

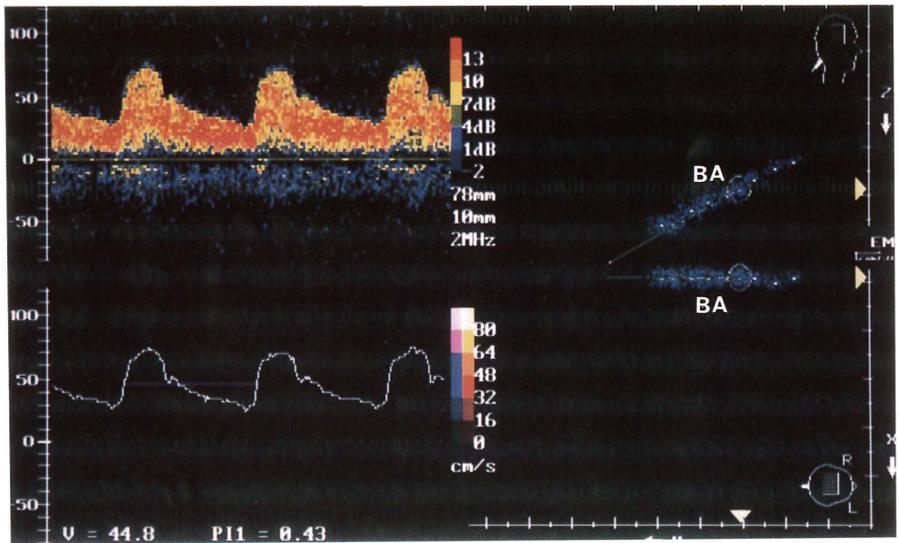
内頸動脈閉塞例における閉塞部位は4例が右内頸動脈閉塞、3例が左内頸動脈閉塞であり、全例に対側内頸動脈から対側前大脳動脈を介した側副血行が認められた(Table 3)。

##### (3) TCDA 所見

中大脳動脈血流速度は内頸動脈閉塞例7例中1例で側頭骨を介してドプラ信号を得ることができず、測定不能であったが、6例で測定が可能であった。また前大脳動脈A<sub>1</sub>部の逆行性血流も、6例全例で閉塞側と同側に確認



A



B

Fig. 1. A : BV mapping of the basal cerebral arteries by transtemporal approach. Coronal (upper) and horizontal (lower) transcranial Doppler scans. The circle with line represents sample volume position. The dots with warm color show flow toward the probe and the dots with cold color show flow away.  
B : BV mapping of the basilar artery by suboccipital approach.



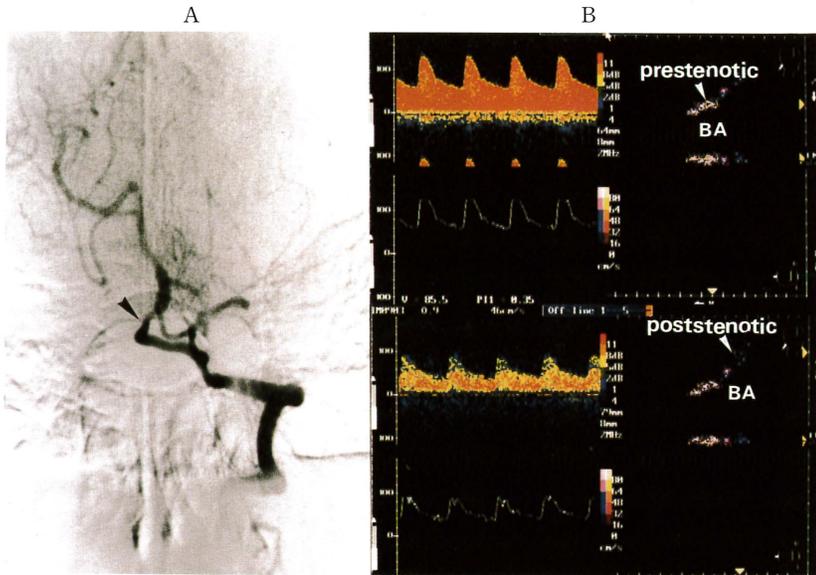


Fig. 4. A: Angiogram (anteroposterior view) of a patient with basilar artery stenosis (75%).  
B: TCDA findings of basilar artery stenosis. Mean blood velocity decreased from 85.5 cm/sec to 58.9 cm/sec at the poststenotic site.

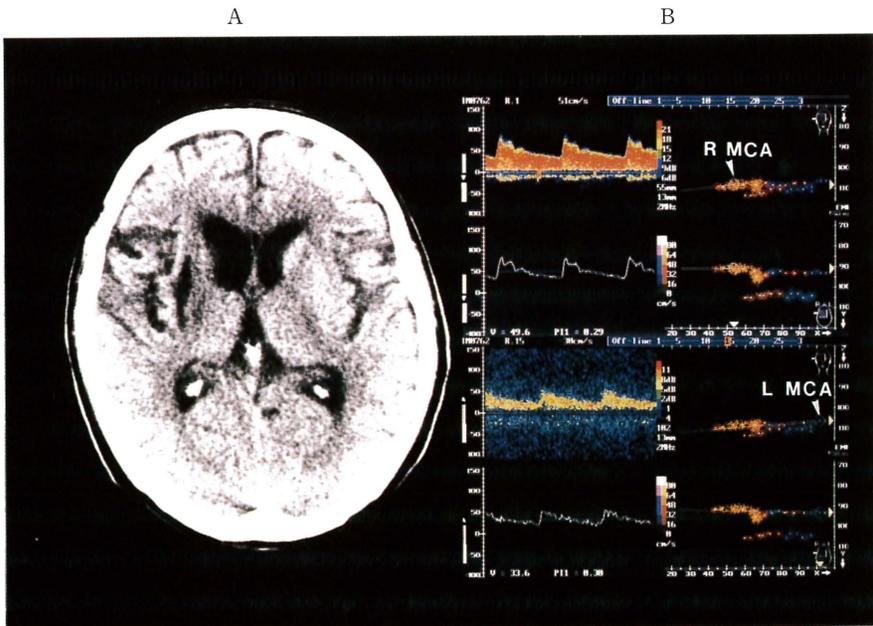


Fig. 5. A: Brain CT of a patient with left putaminal infarction.  
B: TCDA findings of left putaminal infarction. Mean blood velocity of the right middle cerebral artery ( $M_1$  portion) was 49.6 cm/sec and left was 33.6 cm/sec.

された。また、この6例中4例は患側の中大脳動脈血流速度と健側との比が1.35以上で患側の低下を示したが、残る2例は中大脳動脈血流速度に左右差を示さなかった (Table 3)。

2. 内頸動脈狭窄例

(1) 脳血管造影所見

内頸動脈狭窄例は、5例全例が75%以上の狭窄を示した。その狭窄部位の内訳は、3例が左内頸動脈狭窄、1例が右内頸動脈狭窄、1例が両側内頸動脈狭窄であった。

(2) TCDA 所見

両側の中大脳動脈M<sub>1</sub>部血流速度は、内頸動脈狭窄例5例中4例で測定が可能であった。うち2例は患側中大脳動脈の血流速度が低下しており、健側との比が1.35以上であった。中大脳動脈血流速度に左右差を示さなかった1例は、両側内頸動脈の狭窄を有しており、脳底動脈血流速度が増大していた。残る1例は、左内頸動脈に75%狭窄を示したにもかかわらず、中大脳動脈血流速度に左右差を示さなかった (Table 4)。

3. 中大脳動脈狭窄例

(1) 症例呈示

症例は、54歳の男性で、右半身の一過性脱力発作を主訴に来院した。脳血管造影所見では、左中大脳動脈M<sub>1</sub>部

に90%の狭窄が認められた。一方、左中大脳動脈M<sub>1</sub>部におけるTCDA所見では、側頭部からの深度が49mmでの血流速度は44.8cm/秒、深度が43mmでの血流速度は20.8cm/秒であり、血流速度の急峻な低下が狭窄部の末梢側で認められた (Fig. 3)。

(2) 脳血管造影所見

中大脳動脈に50%以上の狭窄を示した症例は16例であり、その狭窄部位の内訳は11例がM<sub>1</sub>部狭窄、2例がM<sub>2</sub>部狭窄、3例がM<sub>3</sub>部狭窄であった (Table 5)。

(3) TCDA 所見

中大脳動脈血流速度は、中大脳動脈M<sub>1</sub>部に狭窄を示した11例中9例で測定が可能であった。この9例は、全例において狭窄部遠位側での血流速度が近位側に比して40%以上の低下を示した。中大脳動脈M<sub>2</sub>部狭窄の2例と中大脳動脈M<sub>3</sub>部狭窄の3例では、側頭骨骨窓部と病変部血管の位置関係から、全例で病変部の血流速度測定が解剖学的に不可能であった。また、M<sub>2</sub>部狭窄の2例中1例は、狭窄部近位側でのM<sub>1</sub>部血流速度が36.1cm/秒であり、健側の76.0cm/秒との比が2.11であった。しかし、残る1例は、患側のM<sub>1</sub>部血流速度が35.8cm/秒であり、健側の38.4cm/秒との比が1.07を示したにすぎない。M<sub>3</sub>部狭窄例は、病変部における血流速度の測定が不

Table 3. Angiographic and TCDA findings of ICA occlusion

| Age, Sex | Angiographic finding | TCDA findings   |                |             |                                   |
|----------|----------------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------------------------|
|          |                      | BV of MCA<br>rt | (cm/sec)<br>lt | ratio of BV | reverse ACA flow of affected site |
| 61, M    | rt ICA occlusion     | 39.9            | 83.6           | 2.10*       | +                                 |
| 60, M    | rt ICA occlusion     | 46.3            | 96.9           | 2.09*       | +                                 |
| 56, M    | rt ICA occlusion     | 29.4            | 52.8           | 1.80*       | +                                 |
| 47, F    | lt ICA occlusion     | 78.4            | 43.9           | 1.79*       | +                                 |
| 67, M    | rt ICA occlusion     | 76.6            | 83.2           | 1.09        | +                                 |
| 63, M    | lt ICA occlusion     | 60.8            | 57.0           | 1.07        | +                                 |
| 76, M    | lt ICA occlusion     | no window       |                |             |                                   |

ICA; internal carotid artery, ACA; anterior cerebral artery, MCA; middle cerebral artery, BV; blood velocity.

\* In the 4 patients with ICA occlusion, the BV of MCA on the side with ICA occlusion decreased.

Table 4. Angiographic and TCDA findings of ICA stenosis

| Age, Sex | Angiographic finding  | TCDA findings   |                |             |
|----------|-----------------------|-----------------|----------------|-------------|
|          |                       | BV of MCA<br>rt | (cm/sec)<br>lt | ratio of BV |
| 69, M    | lt ICA stenosis (95%) | 72.4            | 40.0           | 1.81*       |
| 78, M    | rt ICA stenosis (75%) | 51.2            | 80.0           | 1.56*       |
| 85, M    | lt ICA stenosis (90%) | 66.6            | 54.4           | 1.22        |
|          | rt ICA stenosis (75%) |                 |                |             |
| 61, M    | lt ICA stenosis (75%) | 59.2            | 64.0           | 1.08        |
| 68, M    | lt ICA stenosis (75%) | no window       |                |             |

ICA; internal carotid artery, MCA; middle cerebral artery, BV; blood velocity.

\* In the 2 patients with ICA stenosis, the BV of MCA on the side with ICA stenosis decreased.

可能であった。しかし、1例は両側中大脳動脈M<sub>1</sub>部での血流速度の測定が可能であった。狭窄部近位のM<sub>1</sub>部血流速度は35.2 cm/秒であり、健側の66.6 cm/秒との比が1.89であった(Table 5)。

4. 脳底動脈狭窄例

(1) 症例呈示

症例は、73歳の女性で、意識消失発作を主訴に来院した。脳血管造影所見では、脳底動脈に75%の狭窄が認められた。脳底動脈のTCDA所見では、後頭部からの深度が64 mmでの血流速度は85.5 cm/秒、深度が79 mmでの血流速度は58.9 cm/秒であり、血流速度の急峻な低下が狭窄部の末梢側で認められた(Fig. 4)。

(2) 脳血管造影所見

50%以上の脳底動脈狭窄は、4例に認められた

(Table 6)。

(3) TCDA 所見

脳底動脈狭窄例は全例において脳底動脈血流速度の測定が可能であり、血管造影で認められた狭窄部遠位側における血流速度は近位側に比して30%以上の低下を示した(Table 6)。

5. 脳梗塞例

(1) 症例呈示

症例は、65歳の男性で、右片麻痺を主訴に来院した。発症後1年6か月の頭部CT所見では左側中大脳動脈穿通枝領域に低吸収域が認められたが、脳血管造影所見では明らかな異常がなかった。TCDAでは、左側中大脳動脈の血流速度は33.6 cm/秒であり、健側の49.6 cm/秒との比が1.48であった(Fig. 5)。

Table 5. Angiographic and TCDA findings of MCA stenosis

| Age, Sex | Angiographic finding             | TCDA findings  |                   |                |
|----------|----------------------------------|--|-------------------|----------------|
|          |                                  | BV (cm/sec)  |                   | reduction rate |
|          |                                  | prestenotic site   | poststenotic site |                |
| 54, M    | lt M <sub>1</sub> stenosis (90%) | 44.8   | 20.8              | 54%            |
| 45, F    | rt M <sub>1</sub> stenosis (90%) | 48.4   | 23.0              | 52%            |
| 56, M    | rt M <sub>1</sub> stenosis (90%) | 98.0   | 47.9              | 51%            |
| 63, F    | rt M <sub>1</sub> stenosis (90%) | 52.5   | 27.3              | 48%            |
| 61, M    | lt M <sub>1</sub> stenosis (90%) | 70.3   | 36.8              | 48%            |
| 55, M    | lt M <sub>1</sub> stenosis (90%) | 67.3   | 37.0              | 45%            |
| 65, M    | lt M <sub>1</sub> stenosis (75%) | 46.0   | 25.8              | 44%            |
| 74, M    | lt M <sub>1</sub> stenosis (75%) | 57.2   | 33.3              | 42%            |
| 60, F    | lt M <sub>1</sub> stenosis (75%) | 53.4   | 32.0              | 40%            |
| 73, F    | lt M <sub>1</sub> stenosis (75%) | no window  |                   |                |
| 67, M    | rt M <sub>1</sub> stenosis (99%) | no window  |                   |                |
| 69, M    | lt M <sub>2</sub> stenosis (90%) | stenotic lesion was undetectable   |                   |                |
| 69, M    | rt M <sub>2</sub> stenosis (75%) | lt MCA (M <sub>1</sub> ) BV : 36.1, rt MCA (M <sub>1</sub> ) BV : 76.0, ratio of BV : 2.11<br>stenotic lesion was undetectable<br>lt MCA (M <sub>1</sub> ) BV : 38.4, rt MCA (M <sub>1</sub> ) BV : 35.8, ratio of BV : 1.07 |                   |                |
| 59, M    | rt M <sub>3</sub> stenosis (90%) | stenotic lesion was undetectable   |                   |                |
| 63, M    | lt M <sub>3</sub> stenosis (50%) | lt MCA (M <sub>1</sub> ) BV : 66.6, rt MCA (M <sub>1</sub> ) BV : 35.2, ratio of BV : 1.89   |                   |                |
| 55, M    | lt M <sub>3</sub> stenosis (50%) | no window  |                   |                |
|          |                                  | no window  |                   |                |

M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> and M<sub>3</sub>; M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> and M<sub>3</sub> portion of the middle cerebral artery, BV; blood velocity.

Table 6. Angiographic and TCDA findings of BA stenosis

| Age, Sex | Angiographic finding | TCDA findings    |                   |                |
|----------|----------------------|------------------|-------------------|----------------|
|          |                      | BV (cm/sec)      |                   | reduction rate |
|          |                      | prestenotic site | poststenotic site |                |
| 66, M    | BA stenosis (75%)    | 63.2             | 35.5              | 44%            |
| 75, M    | BA stenosis (50%)    | 43.4             | 27.3              | 37%            |
| 64, M    | BA stenosis (50%)    | 37.5             | 25.5              | 32%            |
| 73, F    | BA stenosis (75%)    | 85.5             | 58.9              | 31%            |

BA; basilar artery, BV; blood velocity

(2) 脳血管造影所見

頭部 CT 所見で中大脳動脈穿通枝領域に低吸収域を示したが、脳血管造影所見に異常を示さなかった症例は、32 例であった (Table 7).

(3) TCDA 所見

中大脳動脈穿通枝領域の脳梗塞 32 例中、両側の中大脳動脈血流速度が測定可能であった症例は、12 例にすぎなかった。このうち 7 例は、患側の中大脳動脈血流速度と健側の比が 1.35 以上を示した (Table 7).

6. 脳循環不全例

(1) 脳血管造影所見

脳血管造影と頭部 CT の両者に異常を示さない症例は、97 例であった。この 97 例は、一過性脳虚血発作の既往のない症例であり、脳循環不全例と考えられた。

(2) TCDA 所見

脳循環不全例 97 例中 89 例は、TCDA 所見に異常を示さなかった。異常所見のみられた 8 例中 5 例は、脳底動脈血流速度に低下 (12.5~24.1 cm/秒) を示したが、椎骨脳底動脈系の血管造影所見には異常を示さなかった。一方、中大脳動脈 M<sub>1</sub> 部から末梢での血流速度が 35% 以上も急峻に低下したため、同部の狭窄が疑われた 3 例は、脳血管造影所見で血管の蛇行を示したにすぎない。

7. TCDA の感受性・特異性

血流速度の測定が可能であった内頸動脈閉塞例 6 例と内頸動脈非閉塞例 144 例について、同側前大脳動脈の逆行性血流を内頸動脈閉塞の診断基準にした場合は、感受性が 100%，特異性も 100% であった。50% 以上の狭窄を示した内頸動脈狭窄例 4 例と内頸動脈非狭窄例 146 例

Table 7. Brain CT and TCDA findings of cerebral infarction

| Age, Sex | CT findings<br>(side of LDA) | BV of MCA (cm/sec) |      | ratio of BV |
|----------|------------------------------|--------------------|------|-------------|
|          |                              | rt                 | lt   |             |
| 66, M    | left                         | 82.6               | 42.2 | 1.96*       |
| 53, M    | right                        | 40.0               | 68.8 | 1.64*       |
| 49, M    | left                         | 49.6               | 33.6 | 1.48*       |
| 53, F    | right                        | 36.2               | 52.5 | 1.45*       |
| 57, M    | left                         | 60.8               | 43.2 | 1.49*       |
| 63, M    | right                        | 46.1               | 64.0 | 1.39*       |
| 52, M    | right                        | 31.6               | 43.5 | 1.38*       |
| 55, M    | right                        | 42.2               | 37.1 | 1.14        |
| 63, M    | left                         | 48.0               | 43.2 | 1.11        |
| 63, F    | left                         | 68.8               | 64.0 | 1.08        |
| 63, M    | right                        | 67.2               | 68.8 | 1.02        |
| 77, M    | left                         | 55.0               | 54.4 | 1.01        |
| 69, F    | right                        | 44.8               |      |             |
| 61, M    | left                         | 89.6               |      |             |
| 68, M    | left                         | 60.8               |      |             |
| 61, M    | right                        | 40.0               |      |             |
| 56, M    | left                         | 64.0               |      |             |
| 72, F    | left                         | 62.4               |      |             |
| 69, M    | left                         | 34.6               |      |             |
| 37, M    | left                         | 41.6               |      |             |
| 28, M    | right                        | 54.4               |      |             |
| 67, M    | left                         | 59.2               |      |             |
| 58, M    | left                         | 38.4               |      |             |
| 45, F    | left                         | 62.4               |      |             |
| 36, F    | left                         | 87.4               |      |             |
| 37, F    | left                         | 56.0               |      |             |
| 61, M    | left                         | 40.0               |      |             |
| 71, M    | right                        |                    | 42.2 |             |
| 75, M    | right                        | no window          |      |             |
| 63, F    | left                         | no window          |      |             |
| 74, F    | right                        | no window          |      |             |
| 67, M    | left                         | no window          |      |             |

LDA; low density area in brain CT, BV; blood velocity, MCA; middle cerebral artery.

\* In the 7 patients with cerebral infarction, the BV of MCA on the side with cerebral infarction decreased.

Table 8. Detection of cerebrovasculer disorders by TCDA

|                                 | ICA occlusion | ICA stenosis<br>( $\geq 50\%$ ) | MCA stenosis<br>( $\geq 50\%$ ) | BA stenosis<br>( $\geq 50\%$ ) |
|---------------------------------|---------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| Right positive                  | 6             | 2                               | 11                              | 4                              |
| Right negative                  | 144           | 146                             | 135                             | 157                            |
| False positive                  | 0             | 0                               | 3                               | 0                              |
| False negative                  | 0             | 2                               | 1                               | 0                              |
| Sensitivity (%)                 | 100           | 50                              | 92                              | 100                            |
| Specificity (%)                 | 100           | 100                             | 98                              | 100                            |
| Test accuracy (%)               | 100           | 99                              | 97                              | 100                            |
| acoustic window<br>with/without | 150/11        | 150/11                          | 150/11                          | 161/0                          |

ICA ; internal carotid artery, MCA ; middle cerebral artery, BA ; basilar artery.

について、同側中大脳動脈の血流速度の低下を内頸動脈狭窄の診断基準にした場合は、感受性が50%であったが、特異性は100%に達した。50%以上の狭窄を示した中大脳動脈狭窄12例と中大脳動脈非狭窄例138例について、M<sub>1</sub>部から末梢での血流速度の急峻な低下をM<sub>1</sub>部狭窄の診断基準、中大脳動脈血流速度の低下をM<sub>2</sub>部・M<sub>3</sub>部の狭窄の診断基準にした場合は、感受性が92%、特異性が98%であった。50%以上の狭窄を示した脳底動脈狭窄例4例と脳底動脈非狭窄例157例について、脳底動脈における末梢側での血流速度の急峻な低下を脳底動脈狭窄の診断基準にした場合は、感受性が100%であり、特異性も100%であった(Table 8)。

## 考 察

最近における局所脳血管障害の診断法は目覚ましく進歩しており、とくに頭部CT・MRI(磁気共鳴断層撮影)の導入によって診断精度が飛躍的に向上した。しかし、頭部CT・MRIは脳血管障害発症後の診断には有力であるが、脳血管障害の発症を予知し得る手段にはならない。症状発現前に診断可能な方法として、脳血管造影があるが検査時の侵襲が大であり、また反復して実施することが困難である。また非侵襲的方法としてはPET(positron emission tomography)法とSPECT(single photon emission tomography)法がある。この両法は、臨床応用されているが装置の性格から簡便とはいえない難く、機器の価格や検査費用の面から実施可能な施設も限られてくる。一方、超音波ドプラ法は、1960年里村と金子<sup>14)</sup>によって初めて頸動脈および四肢の血管の検査法として臨床応用され、その簡便性と非侵襲性から脳および末梢循環の検査法として広く用いられてきた。しかし、頭蓋外頸部血管を検査対象にした超音波ドプラ法は、頭蓋外頸部の血管病変の検討には優れているが、頭蓋内病変に関しては頸動脈血流速度の左右差の検討が可能になるだ

けで頭蓋内病変を類推し得る手段にすぎなかった<sup>15)16)</sup>。

一方、経頭蓋超音波ドプラ法(TCD)は、頭蓋内主幹動脈の血流速度を直接測定することが可能であり、TCDを用いた脳動脈狭窄<sup>4)7)17)~24)</sup>、脳動脈瘤<sup>4)25)26)</sup>および脳動脈脈奇形<sup>3)~5)7)22)</sup>の診断についての報告が多数みられる。つまり、本法は頭蓋内の血管病変の診断を可能にした装置といえる。しかし、TCDには再現性、操作性の面で問題が残されており、これらを改良したtranscranial Doppler arteriography(TCDA)の臨床応用が期待されている。TCDAによる脳血管病変の診断についての報告<sup>10)27)28)</sup>はいまだ少数であり、加えて血管病変に対するTCDAの診断精度を検討した報告がない。そこで著者は、虚血性脳血管障害の多数例を対象に、TCDA所見と脳血管造影所見を対比してTCDAの有用性について検討した。

### 1. TCDAによる脳血管障害の診断

#### (1) 閉塞性病変

まず本研究は、頭蓋内血管閉塞性病変の診断に対するTCDAの有用性を、内頸動脈閉塞7例中、TCDAで血流速度が測定可能であった6例について検討した。6例は全例が病変側の前大脳動脈に逆行性の血流速度波形を呈しており、健側内頸動脈から前交通動脈を介した側副血行路の形成が示唆された。つまり、TCDAは、TCDに比して前大脳動脈を同定し易いため、逆行性の血流速度波形を表示することが容易である。この点が内頸動脈閉塞性病変の検出におけるTCDAの利点<sup>10)</sup>といえよう。6例中2例では内頸動脈閉塞側の中大脳動脈血流速度に低下がみられなかったが、これは側副血行路からの血流の供給が十分である可能性が考えられた。

#### (2) 狭窄性病変

##### 1) 内頸動脈狭窄

Hennerici et al.<sup>4)</sup>は、60%以上の内頸動脈狭窄を示す症例では狭窄部末梢側の血流速度が中枢側に比して低下、

80%以上の狭窄症例では狭窄部末梢側の血流速度が対側に比して有意に低下するが、側副血行路(眼動脈の逆流・前大脳動脈の逆流)の存在がTCDで確認できるといふ。しかし本研究で前大脳動脈の逆流を確認した6例はいずれも内頸動脈閉塞例であるが、内頸動脈狭窄例で前大脳動脈の逆流を確認できた症例は存在しなかった。この理由には、内頸動脈の狭窄の程度や後交通動脈を介して側副血行路の存在が関与していると推測される。また、内頸動脈狭窄の77例全例にTCDと血管造影の両者を実施したLindegard et al.<sup>29)</sup>は、高度の内頸動脈病変を合併した症例でも同側の中大脳動脈血流速度が保持されている症例の頻度が高いと述べている。その理由は、病側中大脳動脈の血流がWillis動脈輪を介した側副血行路と灌流圧低下時の頭蓋内血管の自動調節能によって維持されるためという。本研究でも、内頸動脈狭窄例4例中、患側中大脳動脈の血流速度低下を示したのは2例にすぎなかった。つまり、中大脳動脈の血流速度低下から内頸動脈狭窄を診断することは困難であり、頸動脈ドプラ法などの検査の併用が望ましいと考えられる。

## 2) 中大脳動脈狭窄

Mattle et al.<sup>19)</sup>は、中大脳動脈M<sub>1</sub>部狭窄例のTCD所見として狭窄部での血流速度の急峻な増大、狭窄部末梢側での血流速度の低下が認められたとしている。他にも同様の報告<sup>9)</sup>がみられる。しかし、本研究では、狭窄部位に血流速度の急峻な増大を示した症例は存在しなかった。そこで今回の検討では、血管狭窄の診断は末梢側における血流速度の急峻な低下によった。なお、血流速度に急峻な増大がみられなかった理由としては、血管狭窄部位が短いために同部位でのドプラ信号を正確に捕えられず、同部位より中枢または末梢側における血流速度を測定している可能性が高い。今回の結果を重視すると、中大脳動脈M<sub>1</sub>部狭窄例では狭窄部で40%以上の血流速度の低下が認められており、40%以上の血流速度の低下があれば、中大脳動脈M<sub>1</sub>部狭窄と診断できる可能性がある。M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>部狭窄は、狭窄部位をTCDAで検出することは、解剖学的に困難であるが、近位側のM<sub>1</sub>部での血流速度低下から、その存在を推測できる場合があると考えられる。

## 3) 脳底動脈狭窄

椎骨脳底動脈系については、黒川<sup>13)</sup>は、椎骨脳底動脈系の閉塞性脳血管障害12例(脳底動脈閉塞1例、椎骨動脈狭窄7例、後下小脳動脈狭窄4例)にTCDを施行し、狭窄部位での血流速度の上昇と狭窄部より末梢での血流速度の低下が認められたと報告している。本研究は、脳底動脈狭窄の4例全例において脳底動脈狭窄部位での血流

速度の増大を確認することができなかったが、狭窄部末梢での血流速度が全例で低下することを明らかにした。つまり、脳底動脈狭窄は、TCDA所見と脳血管造影所見が一致しており、TCDAで血流速度の急峻な低下が確認されれば狭窄部位の存在が強く疑われる。

以上の成績をまとめると、内頸動脈閉塞の診断は同側前大脳動脈の逆流所見から、中大脳動脈M<sub>1</sub>部狭窄および脳底動脈狭窄の診断は30%以上の血流速度の低下から可能といえる。

## (3) 穿通枝梗塞

Viola et al.<sup>20)</sup>は、梗塞側の中大脳動脈血流速度が脳梗塞発症直後に低下したことを報告している。本研究では、血管造影所見に異常を示さない慢性期の穿通枝脳梗塞32例中、両側の中大脳動脈の血流速度の測定が可能であった症例は12例であり、うち7例がTCDA所見に梗塞側における中大脳動脈血流速度の低下を示した。つまり、TCDAは、血管造影所見に器質的病変が存在しない場合には、末梢側の血管病変を反映している可能性があるものと推測される。

なお、両側側頭部の骨窓部がないために両側中大脳動脈の血流速度の左右差が検討できなかった症例が存在しており、この点は、今後の問題点と考えられる。

## (4) 脳循環不全

平井<sup>11)</sup>は、超音波ドプラ法およびPETによる検討から、慢性脳循環不全症例では脳血流量が低下していることを明らかにしている。また、61例の椎骨脳底動脈循環不全例を検討したSchneider et al.<sup>30)</sup>は、症例の32.8%に鎖骨下動脈盗血症候群、椎骨動脈狭窄などの病変が認められたが、残る症例では血管造影所見に有意の病変が認められなかったことから、血管造影法では小血管における責任病変の存在を診断できないとしている。本研究では、脳血管造影所見と頭部CT所見の両者に異常のない97例中89例は、TCDA所見にも異常を示さなかった。これら97例中眩暈を愁訴とした症例は44例であるが、うち5例が脳底動脈血流速度に低下を示した。この5例は、椎骨脳底動脈系に循環障害の存在する可能性があると考えられる。

なお、脳循環不全例97例中3例は、中大脳動脈血流速度に急峻な低下を示したために中大脳動脈狭窄が疑われたが、血管造影では血管の蛇行を示したにすぎなかった。つまり、TCDAは、血管走行の表示が可能で、血管の蛇行の診断も可能になる。しかし、TCDAは探触子と血管走行との角度補正が行えないため、わずかに3例ではあるが血管の蛇行と血管の狭窄の鑑別が困難であった症例が存在した。この点は、今後の検討課題と考えられる。

## 2. TCDA の診断精度

Rautenberg et al.<sup>4)</sup>は、467 例に TCD と脳血管造影の両者を実施し、狭窄性病変の診断に対する TCD の有用性を検討している。狭窄性病変は対象 467 例中 98 例に認められ、その内訳は中大脳動脈狭窄が 26 例、内頸動脈狭窄が 22 例、後大脳動脈狭窄が 12 例、椎骨動脈狭窄が 24 例、脳底動脈狭窄が 14 例であった。TCD の動脈狭窄に対する診断の感受性・特異性は、中大脳動脈、内頸動脈、後大脳動脈、椎骨動脈、脳底動脈の順にそれぞれ 92%・99%、91%・100%、83%・100%、79%・99%、64%・100%であり、椎骨脳底動脈系を除いて良好であったという。そこで彼らは、TCD による診断精度が内頸動脈系に比して椎骨脳底動脈系で低下することを指摘している。

一方、TCDA は、コンピュータシステムによる解析から、血管走行の画像表示を可能にしたものであり、血流速度の測定部位が容易に同定できる。TCDA 所見と脳血管造影所見の対比については、すでに Niederkorn et al.<sup>10)</sup>、Smith et al.<sup>27)</sup>および米山<sup>28)</sup>らによって報告されている。Niederkorn et al.<sup>10)</sup>は、21 例を対象に TCDA と脳血管造影の両者を実施している。この 21 例の内訳は、TCDA 所見と脳血管造影所見の両者に異常を示さなかった 9 例、TCDA 所見と脳血管造影所見の両者で血管病変を検出し得た 10 例(内頸動脈閉塞 3 例、内頸動脈狭窄 3 例、中大脳動脈閉塞 1 例、脳底動脈狭窄 1 例、鎖骨窩動脈閉塞 1 例、クモ膜下出血後の血管攣縮 1 例)、および TCDA 所見から対側の前大脳動脈を介した側副血行路の存在が疑われたが血管造影所見から否定された 2 例である。つまり、彼らの成績では、TCDA 所見と脳血管造影所見が一致した症例の頻度は 90%に達したことになる。そこで Niederkorn et al.<sup>10)</sup>は、狭窄あるいは閉塞性病変の診断には TCDA が有用であるが、正確な診断を期するためには TCDA と頸動脈ドプラ法を併用すべきであり、また診断精度を検討するためにはさらに多数例での検討が必要であると結論づけている。

161 例の比較的多数例を対象とした本研究では、中大脳動脈、内頸動脈および脳底動脈の狭窄あるいは閉塞性病変に対する TCDA の診断精度について検討した。狭窄あるいは閉塞性病変が認められた 32 例では、26 例で TCDA 検査が実施可能であり、うち 23 例(88%)が脳血管造影と一致した所見を示した。つまり、内頸動脈閉塞、中大脳動脈狭窄および脳底動脈狭窄に対する TCDA の診断は、感受性および特異性がそれぞれ 100%・100%、92%・98%および 100%・100%の良好な頻度を示した。一方、内頸動脈狭窄に対する TCDA の感受性は 4 例中 2 例(50%)の低率であった。内頸動脈狭窄の診断に対

して TCDA の感受性が低い理由は、1)狭窄部位近傍からのドプラ信号を検出することが困難である、2)高度の内頸動脈狭窄が存在しても病変側の中大脳動脈血流速度が維持される、の 2 点が考えられる。したがって、内頸動脈狭窄の診断時には頸動脈ドプラ法を中心とすべきであると考えられる。

以上、比較的多数例を対象とした本研究は、TCDA による狭窄および閉塞病変の診断精度が従来の報告と同等かそれ以上であることを明らかにしたものであり、虚血性脳血管病変に対する TCDA の非侵襲的診断の妥当性を示したものとイえる。

## 結 語

脳血管障害が疑われる 161 例中に脳血管造影と transcranial Doppler arteriography(TCDA)の両者を施行し、以下の結論を得た。

1. TCDA による狭窄あるいは閉塞病変の検出率は、内頸動脈狭窄を除いて、感受性と特異性がともに 92%以上であった。ことに内頸動脈閉塞および脳底動脈狭窄については、感受性・特異性がともに 100%であった。
2. しかし内頸動脈狭窄、M<sub>2</sub>部から末梢側での中大脳動脈狭窄に対する診断は TCDA 単独では困難であった。
3. 脳血管造影所見に異常を指摘できない穿通枝梗塞例は、症例の 58%が患側中大脳動脈での血流速度に低下を示した。

以上から、TCDA は、虚血性脳血管障害の非侵襲的診断法として有用であると考えられる。

## 謝 辞

稿を終るにあたり、ご指導、ご校閲を賜りました土肥和紘教授に深甚なる謝意を捧げるとともに、ご校閲、ご助言を賜りました本学第 2 外科学講座榊 寿右教授ならびに腫瘍放射線医学講座大石 元教授に深謝いたします。また直接、ご指導、ご教示いただきました山野 繁博士ならびに澤井冬樹博士に感謝いたします。また終始研究にご協力くださった町立大淀病院内科および脳神経外科の諸兄に感謝の意を表します。

本論文の要旨は第 30 回日本老年医学会総会(1988 年 10 月 1 日、長崎)および第 53 回日本循環器学会総会(1989 年 3 月 31 日、名古屋)において発表した。

## 文 献

- 1) 金子仁郎: 脳血管障害の超音波血流検査法による診断. 臨床神経学 14: 215, 1974.
- 2) Aaslid, R., Markwalder, T. M. and Nornes,

- H. : Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J. Neurosurg.* **57**: 769, 1982.
- 3) **Aaslid, R.** : Transcranial Doppler sonography. Splinger-Verlag, Wien, p1, 1986.
- 4) **Hennerici, M., Rautenberg, W., Mohr, J. P. and Steinke, W.** : Stroke. Churchill Livingstone, New York, p255, 1993.
- 5) 森竹浩三, 米川泰弘, 長澤史朗, 金子隆昭, 半田 肇 : 脳血管外科における transcranial Doppler の有用性について. *脳神経外科* **15** : 709, 1987.
- 6) **Caplan, L. R., Brass, L. M., De Witt, L. D., Adams, R. J., Gomez, C., Otis, S., Weschler, L. R. and von Reutern, G. M.** : Transcranial Doppler ultrasound: present status. *Neurology* **40** : 696, 1990.
- 7) 森竹浩三 : 脳神経超音波学. にゅーろん社, 東京, p46, 1988.
- 8) **Lindgaard, K. F., Lundar, T., Wiberg, J., Sjøberg, D., Aaslid, R. and Nornes, H.** : Variations in middle cerebral artery blood flow investigated with noninvasive transcranial blood velocity measurements. *Stroke* **18** : 1025, 1987.
- 9) **Aaslid, R., Huber, P. and Nornes, H.** : Evaluation of cerebrovascular spasm with transcranial Doppler ultrasound. *J. Neurosurg.* **60** : 37, 1984.
- 10) **Niederkorn, K., Myers, L. G., Nunn, C. L., Ball, M. R. and McKinney, W. M.** : Three-dimensional transcranial Doppler blood flow mapping in patients with cerebrovascular disorders. *Stroke* **19** : 1355, 1988.
- 11) 平井俊策 : 脳の動脈硬化性疾患の定義および診断基準に関する研究. 平成元年度厚生省循環器病研究委託費による研究報告集. 国立循環器病センター, 大阪, p80, 1990.
- 12) 米田正太郎 : 超音波血流測定法. *綜合臨牀* **32** : 2507, 1983.
- 13) 黒川 泰 : 椎骨脳底動脈系に対する経頭蓋骨のドプラ法. *山口医学* **40** : 189, 1991.
- 14) **Satomura, S. and Kaneko, Z.** : Ultrasonic blood rheograph. Proceedings of the third International Conference of Medical Electronics, London, p254, 1960.
- 15) 山野 繁, 澤井冬樹, 平山俊英, 湯村文敏, 金内雅夫, 濱口尚重, 横山和弘, 西浦公章, 土肥和紘, 籠島 忠, 石川兵衛 : 総頸動脈血流動態と脳血管造影所見の関係. *日臨生誌.* **19** : 39, 1989.
- 16) **Mizukami, M., Yamaguchi, K. and Yunoki, K.** : Evaluation of occlusive cerebrovascular disease using ultrasonic quantitative flow measurement. *Stroke* **12** : 793, 1981.
- 17) **Aaslid, R., Huber, P. and Nornes, H.** : A transcranial Doppler method in the evaluation of cerebrovascular spasm. *Neuroradiology* **28** : 11, 1986.
- 18) **Provinciali, L., Minciotti, P., Ceravolo, G., Angeleri, F. and Sanguinetti, C. M.** : Transcranial Doppler sonography as a diagnostic tool in vascular dementia. *Eur. Neurol.* **30** : 98, 1990.
- 19) **Mattle, H., Grolimund, P., Huber, P., Sturzenegger, M. and Zurbrugg, H. R.** : Transcranial sonographic findings in middle cerebral artery disease. *Arch. Neurol.* **45** : 289, 1988.
- 20) **Viola, S., Antonacci, R., D'Annunzio, S., Faricelli, A., Aquilone, L., Gambi, D. and Malatesta, G.** : Three-dimensional transcranial Doppler in acute ischemic stroke in the territory of the middle cerebral artery: clinical and CT correlation. *Ital. J. Neurol. Sci.* **12** : 545, 1991.
- 21) **Kaps, M., Damian, M. S., Teschendorf, U. and Dorndorf, W.** : Transcranial Doppler ultrasound findings in middle cerebral artery occlusion. *Stroke* **21** : 532, 1990.
- 22) **Giller, C. A., Hodges, K. and Batjer, H. H.** : Transcranial Doppler pulsatility in vasodilation and stenosis. *J. Neurosurg.* **72** : 901, 1990.
- 23) **Brass, L. M., Duterte, D. L. and Mohr, J. P.** : Anterior cerebral artery velocity changes in disease of the middle cerebral artery stem. *Stroke* **20** : 1737, 1989.
- 24) **Zanette, E. M., Fieschi, C., Bozzao, L., Roberti, C., Toni, D., Argentino, C. and Lenzi, G. L.** : Comparison of cerebral angiography and transcranial Doppler sonography in acute stroke. *Stroke* **20** : 899, 1989.
- 25) **Gilsbach, J. M. and Harders, A. G.** : Microvascular and transcranial Doppler sonographic evaluation of cerebral aneurysm flow pattern. *Neurol. Res.* **11** : 41, 1989.

- 26) **Becker, G., Greiner, K., Kaune, B., Winkler, J., Brawanski, A., Warmuth-Metz, M. and Bogdahn, U.** : Diagnosis and monitoring of subarachnoid hemorrhage by transcranial color-coded real-time sonography. *Neurosurgery* **28** : 814, 1991.
- 27) **Smith, R. R., Graeber, M., Brown, R. and Wilson, R.** : Transcranial Doppler arteriography - a technical note. *J. Miss. State Med. Assoc.* **30** : 175, 1989.
- 28) 米山公啓, 川名加代子, 今村 諭, 千保 誠, 成田 義信, 明石のぞみ, 加茂 力, 杉原 浩, 清水 亨 : Three dimension transcranial Doppler と脳血管写 所見の対比. *Neurosonology* **2** : 76, 1989.
- 29) **Lindegaard, K. F., Bakke, S. J., Grolimund, P., Aaslid, R., Huber, P. and Nornes, H.** : Assessment of intracranial hemodynamics in carotid artery disease by transcranial Doppler ultrasound. *J. Neurosurg.* **63** : 890, 1985.
- 30) **Schneider, P. A., Rossman, M. E., Bernstein, E. F., Ringelstein, E. B., Torem, S. and Otis, S. M.** : Noninvasive evaluation of vertebrobasilar insufficiency. *J. Ultrasound Med.* **10** : 373, 1991.
-