

## 超音波ドップラー法による緑内障 眼循環動態の解析

平田 昌也・橋本真理子・太根 節直 (聖マリアンナ医科大学眼科学教室)

### 要 約

原発性開放隅角緑内障の病期の進行に関連した眼循環動態を解析するため、超音波ドップラー法による眼底の網膜中心動脈主幹の血流流速波の検出を行い、次の結果を得た。即ち、①緑内障では、正常眼に比べ、眼動脈(内側前頭動脈 *Ophthalmic artery*: OA と略記)に比べ、網膜中心動脈(眼底動脈 *Fundus artery*: FA と略記)の血流流速値の低下がみられ、同時に血流の流速脈波の立ち上がり時間の短縮化傾向を示し、病期の進行につれてその傾向が更に著明となった。②両者の血流流速値の比 [V (FA/OA) と略記] は、視野障害の進行度 (Kosaki 分類) との有意の逆相関を示し、立ち上がり時間による両者の比 [T (FA/OA) と略記] は、乳頭の C/D 比と有意の逆相関を示した。以上は *Integral spectrum analyzer* を装着したリアルタイム・ソナグラム方式血流方向指示型 2 周波超音波ドップラー血流計 (Vasoflo-3) を使用し得られた成績である。対象は、20~70 歳代の原発性開放隅角緑内障 (*Primary open angle glaucoma*: POAG と略記) の 60 症例 (男性 28 名, 女性 32 名 (平均年齢  $64.3 \pm 12.1$  歳)) の 100 眼と、同年代の正常者 30 名 (平均年齢  $58.1 \pm 14.3$  歳) 60 眼である。上記の結果により、緑内障の眼循環動態の解析に超音波ドップラー法は有用であることが判明した。(日眼会誌 93: 1054-1061, 1989)

キーワード: 原発性開放隅角緑内障, 超音波ドップラー法, 眼動脈, 網膜中心動脈, 眼循環動態

## Analysis of Ocular Circulatory Kinetics in Glaucoma by the Ultrasonic Doppler Method

Masaya Hirata, Mariko Hashimoto and Sadanao Tane

*Department of Ophthalmology, St. Marianna University School of Medicine.*

### Abstract

In order to analyze ocular circulatory kinetics in relation to the stages of progression of primary open-angle glaucoma, the pulse wave of flow velocity in the central retinal artery was measured by the ultrasonic Doppler method. In eyes with glaucoma, the ratio of blood flow velocity of the central retinal artery (fundus artery: FA) to that of the ophthalmic artery (medial frontal artery: OA) was smaller and, at the same time, the pulse rise time (PRT) of the pulse wave of flow velocity was shorter than in normal eyes, a tendency which increased as the disease progressed. The ratio of FA to OA in terms of velocity [V (FA/OA)] showed a significant inverse correlation with the degree of visual field disorder (Kosaki classification) and the ratio in terms of PRT [T (FA/OA)] showed significant inverse correlation with the C/D ratio of the papilla. An ultrasonic Doppler blood flowmeter with 2 frequencies, attached to an integral spectrum analyzer for indicating the direction of blood flow using

別刷請求先: 213 神奈川県川崎市宮前区菅生 2-16-1 聖マリアンナ医科大学眼科学教室 平田 昌也  
(平成元年 6 月 16 日受付, 平成元年 7 月 25 日改訂受理)

Reprint requests to: Masaya Hirata, M.D. Dept. of Ophthalmol., St. Marianna Univ. School of Med.  
2-16-1, Sugao, Miyamae-ku, Kawasaki 213, Japan

(Received June 16, 1989 and accepted in revised form July 25, 1989)

real time sonography (Vasoflo-3), was used. The investigation was conducted on 100 eyes with primary open-angle glaucoma in 60 patients aged 20~70 years [28 males and 32 females (mean age  $64.3 \pm 12.1$ )], and 60 eyes in 30 normal subjects of the same age (mean age  $58.1 \pm 14.3$ ). These results demonstrated that the ultrasonic Doppler method is useful for the observation of ocular circulatory kinetics in eyes with glaucoma. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93: 1054-1061, 1989)

**Key words:** Primary open-angle glaucoma, Ultrasonic Doppler method, Ophthalmic artery, Central retinal artery, Ocular circulatory kinetics

## I 緒 言

超音波ドップラー法は、閉塞性末梢動脈病変などの非観血的診断法として、多くの分野で臨床的に高い評価を得ている。眼科領域において、超音波ドップラー法を応用して頸動脈系の血流障害疾患である高安病、内頸動脈閉塞症、虚血性視神経症、海綿静脈洞癭などの血流流速脈波の解析がなされているが、これを緑内障の眼循環検索に応用したのは、山本<sup>1)</sup>及び太根<sup>2)</sup>のみである。そこで著者は、非観血的に生体深部の血流の流速脈波をほとんど生理的狀態で測定できる超音波ドップラー法を応用して、緑内障の眼循環動態の一端を解明する事を目的とし、網膜中心動脈の主幹を中心とした眼底動脈 (Fundus artery: 以下 FA と略記) 及び眼動脈の末梢の内側前頭動脈 (Ophthalmic artery: 以下 OA と略記) の流速脈波より得られた流速値と、種々の病期の緑内障の視野障害、並びに流速脈波の立ち上がり時間と視神経乳頭陥凹の程度との相関を検討した結果、緑内障では病期が進行するにつれて FA 血流の流速値の低下と、血流流速脈波の立ち上がり時間の短縮化傾向を認めたので、以下に述べたいと思う。

## II 対象及び方法

対象は、眼圧が20mmHg 未満コントロールされている20~70歳代の原発性開放隅角緑内障 (Primary open angle glaucoma: 以下 POAG と略記) の60症例 [男性28名、女性32名の100眼 (平均年齢  $64.3 \pm 12.1$  歳): 以下 G 群と略記] で、他の眼循環に特に影響する眼疾や全身疾患を持つものは除外した。

そして同年代の正常者30名60眼 (平均年齢  $58.1 \pm 14.3$  歳: 以下 N 群と略記) を対照とした。さらに視野障害 (Kosaki 分類) 別に I~IIa 期, IIb~IIIa 期, IIIb~IV 期, V~VI 期をそれぞれ G<sub>1</sub> 群, G<sub>2</sub> 群, G<sub>3</sub> 群, G<sub>4</sub> 群とし、垂直乳頭陥凹径/乳頭径比 (以下 C/D 比と略

記) を病期別に、30%以上60%未満, 60%以上90%未満をそれぞれ g<sub>1</sub> 群, g<sub>2</sub> 群とした。

N 群と G 群に対する超音波ドップラー法による眼血流の流速脈波の測定は、以下の如くに行った。眼循環動態の解析のため、各眼につき主に乳頭面上の FA と、眼動脈の末梢の OA の流速脈波を超音波ドップラー血流計 Vasoflo-3 装置により測定した。血管内を流れる赤血球は様々な速度成分を持ち、皮膚面及び角膜面より、ビーム幅2.5 (mm) 以内で、測定深度20~45 (mm) において吸収減衰が少なく、指向性の良い周波数4 (MHz) の超音波ビームを一定の角度で投射すると、血流より反射するドップラー音 (血流音) が得られ、これを高速フーリエ変換 (FFT) し、スペクトラム解析を行い、血流速度成分とそれに対する強度を検出し、リアルタイムソナグラム像としてカラー表示を行い、その模式図を示した (図1)。使用した超音波ドップラー血流計は、Vasoflo-3で、10×100 (mm) のペンシル型プローブを用い、OA の流速脈波測定には、直接眼窩の上内側壁の皮膚面より血管との角度を約60°に保ち固定した。また、FA の流速脈波測定には、プローブ固定を容易にするための中空円筒型のアイキャップを装着し、内部にスコピゾルを満たし、プローブと眼軸の角度を耳側方向約10°に保ち、角膜面上より

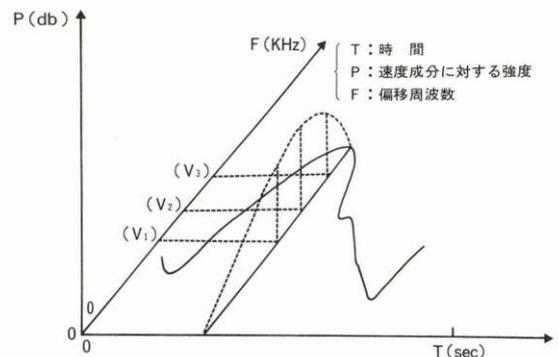


図1 血流流速脈波の模式図

測定した。FA, OA 両者の流速脈波検出時に表示される種々のデータのうち、2心拍の平均偏移周波数 (Mean Frequency: 以下 Mean F と略記) (図2) と、

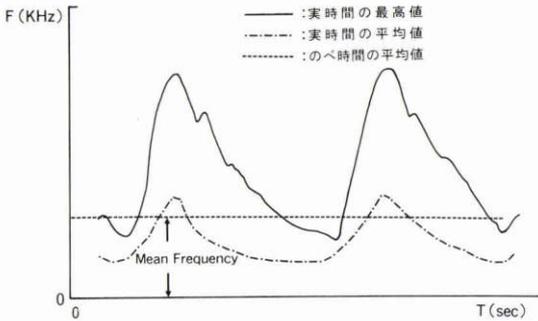


図2 平均偏移周波数 (Mean F) の示す位置。点線の値が2心拍の平均偏移周波数を示す。

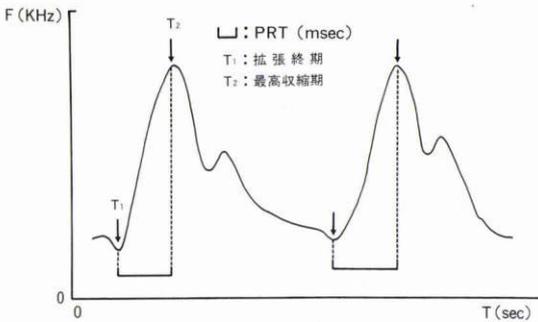


図3 Pulse rise time (PRT) の示す位置

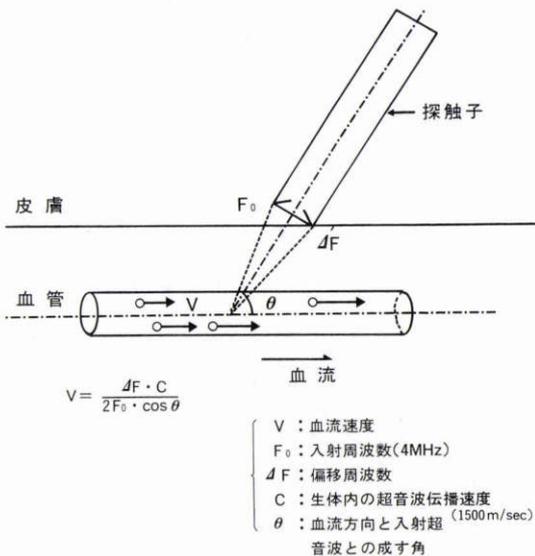


図4 流速脈波測定法と血流流速の算出式

拡張終期から最高収縮期までの時間 (Pulse rise time: 以下 PRT と略記) (図3) の2種データを解析に用い、また個々の症例における個人差の変動を回避するため、FA と OA の比率をとった。血流速度は、Mean F より算出した。そしてその式を示した(図4)。FA, OA 両者の Mean F の比率を眼底血流速度指数 [V (FA/OA) と略記] とし、両者の PRT の比率を流速上がり時間指数 [T (FA/OA) と略記] とした。相対的な変化として V (FA/OA) は FA の循環血流量を、T (FA/OA) は血管の形状的变化を示すものと考え、V (FA/OA) と視野による病期 (Kosaki 分類)、また T (FA/OA) と緑内障性視神経乳頭陥凹による病期との相関について検討した。

### III 結果

#### 1. V (FA/OA) と視野障害進行度との関係

N 群では、FA と OA の流速値が接近しているが、G 群では、FA が OA に比べて低下傾向を示した。即ち、N 群の流速値は  $0.201 \pm 0.058$  (m/s) で、G 群では  $0.152 \pm 0.036$  (m/s) であった。そして、N 群及び G 群の V (FA/OA) と視野障害の相関の分布状況を示す(表1)。N 群の V (FA/OA) は、総平均値で  $69.3 \pm 11.6$  (%) で、G 群のそれは  $54.5 \pm 14.2$  (%) で、両群では危険率 1 (%) で有意差を認めた。また、各症例群の V (FA/OA) の平均値を示した(表2)。N 群と G<sub>1</sub> 群との比較では、後者ではすでに視野に軽度の変化を来しているにもかかわらず、両者の間には有意差は認められなかった。N 群と G<sub>2</sub> 群との比較では、統計学的に危険率 5 (%) で有意差を認めた。N 群と G<sub>2</sub> 群との比較では、統計学的に危険率 1 (%) で有意差を認めた。G<sub>1</sub> 群と G<sub>2</sub> 群との比較では、有意差は認められなかった。

表1 眼底血流速度指数 V (FA/OA) による正常者群及び視野病期別緑内障群の分布状況

V (FA/OA) (%)	N 群	G <sub>1</sub> 群	G <sub>2</sub> 群	G <sub>3</sub> 群	G <sub>4</sub> 群	Σ
≥ 100	2	1	0	0	0	3
~ 90	30	12	2	0	0	44
~ 70	23	5	20	19	4	71
~ 50	5	1	5	6	21	38
~ 30	0	1	1	0	2	4
Σ	60	20	28	25	27	160

N : Normal, G<sub>1</sub> : I~IIa 期, G<sub>2</sub> : IIb~IIIa 期, G<sub>3</sub> : IIIb~IV 期, G<sub>4</sub> : V~VI 期 (Kosaki 分類)

表2 正常者群及び視野病期別緑内障群の眼底血流速度指数 V (FA/OA) の平均値, mean±SD (%)

症例群	V (FA/OA)(%)
N 群	69.3±11.6
G 群	54.5±14.2
G <sub>1</sub> 群	69.0±15.0
G <sub>2</sub> 群	60.8±13.8
G <sub>3</sub> 群	54.1± 9.2
G <sub>4</sub> 群	47.9±10.5

mean±SD (%)

N: Normal, G: Glaucoma, G<sub>1</sub>: I~IIa期, G<sub>2</sub>: IIb~IIa期, G<sub>3</sub>: IIIb~IV期, G<sub>4</sub>: V~VI期(Kosaki分類)

表3 流速立上がり時間指数 T (FA/OA) による正常者群及び C/D 比病期別緑内障群の分布状況

C/D比(%) T(FA/OA)(%)	N 群	g <sub>1</sub> 群	g <sub>2</sub> 群	Σ
≥ 240	1	1	0	2
~ 220	2	3	0	5
~ 200	8	3	0	11
~ 180	4	2	1	7
~ 160	5	8	0	13
~ 140	16	6	2	24
~ 120	20	5	4	29
~ 100	2	11	7	20
~ 80	1	3	35	39
~ 60	0	0	9	9
~ 40	1	0	0	1
Σ	60	42	58	160

N: Normal, g<sub>1</sub>: 30≤C/D<60, g<sub>2</sub>: 60≤C/D<90

表4 正常者群及び C/D 比病期別緑内障群の血流速度立上がり時間指数 T (FA/OA) の平均値, mean±SD (%)

症例群	T (FA/OA)(%)
N 群	137.1±35.2
G 群	98.1±40.0
g <sub>1</sub> 群	137.7±42.0
g <sub>2</sub> 群	76.8±21.0

mean±SD (%)

N: Normal, G: Glaucoma, g<sub>1</sub>: 30≤C/D<60, g<sub>2</sub>: 60≤C/D<90

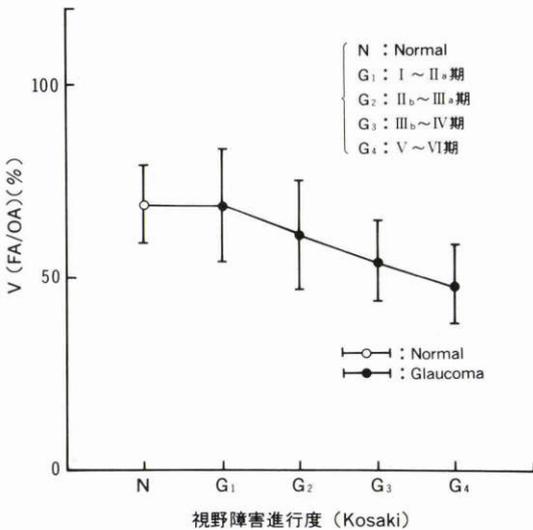


図5 視野障害進行度と V (FA/OA) との相関

G<sub>1</sub>群とG<sub>3</sub>群との比較では、統計学的に危険率1(%)で有意差を認めた。G<sub>1</sub>とG<sub>4</sub>群との比較では、G<sub>4</sub>群のV(FA/OA)は、47.9±10.5(%)で、病期の進行に伴ってOAに対してFAの著明な低下を示した。統計学的に危険率1(%)で有意差を認めた。G<sub>2</sub>群とG<sub>3</sub>群との比較では有意差は認められなかった。G<sub>2</sub>群とG<sub>4</sub>群の場合は、統計学的に危険率1(%)で有意差を認めた。G<sub>3</sub>群とG<sub>4</sub>群との比較では危険率5(%)で有意差を認めた(図5)。G群の中でも晩期緑内障以上の視

野障害を示すものは、N群に比較してFAの著明な低下を示す例が多く認められた。

## 2. T (FA/OA) と垂直 C/D 比との関係

N群, G(g<sub>1</sub>, g<sub>2</sub>)群の分布状況を示し(表3), 各症例群の平均値を示した(表4)。N群では、FAのPRTがOAに対して延長傾向にあるが、G群では、FAのPRTは短縮傾向にある。即ちN群のPRTは、125.6±39.6(ms)で、G群では92.3±28.5(ms)であった。そしてT(FA/OA)はN群で137.1±35.2(%)、G群で98.1±40.0(%)であり、統計学的に危険率1(%)で有意差を認めた。N群とg<sub>1</sub>群との比

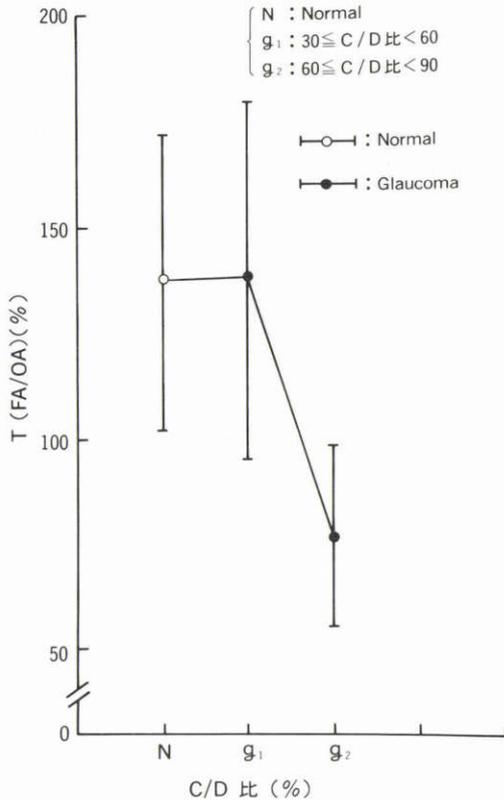


図6 垂直C/D比と血流速度立上がり時間指数T (FA/OA)の相関

較では両者の間に有意差は認められなかった。N群とg<sub>2</sub>群との比較では統計学的に危険率1(%)で有意差を認めた。g<sub>1</sub>群とg<sub>2</sub>群との比較では、危険率1(%)で有意差を認めた(図6)。

### 3. 症例

次に臨床例を提示する。

第1例)53歳男性、右眼POAGで、その眼底写真(図7)、蛍光眼底写真(図8)、FAの流速脈波(図9)、及びOAの流速脈波(図10)を示す。視野変化は、IIB(Kosaki分類)で、視野障害に比べてFAの流速値の低下が強く、PRTも短縮傾向にある。

第2例)61歳女性、右眼POAGで、その眼底写真(図11)、蛍光眼底写真(図12)、FAの流速脈波(図13)及びOAの流速脈波(図14)を示す。視野変化はV(Kosaki分類)で、C/D比は80~90(%)である。V(FA/OA)は29.5(%)、T(FA/OA)は70.5(%)で、視野障害進行度とV(FA/OA)、C/D比とT(FA/OA)が共に逆相関を示した。即ち、平均流速によるFAの

強い低下と、PRTの強い短縮を認めた。

## IV 考 按

今回著者らは、緑内障に対する眼循環の解析を病期との関連において把握するため、超音波ドプラー法を用いて試みた。

測定部位は、FA及びOAである。FAは、視神経鞘血管系において重要な役割をなすと考えられ、その血管構築は臨床的に緑内障などの疾患の病態解明に重要で、多くの研究が解析を進めている。OAは内頸動脈の第一分枝である眼動脈が網膜中心動脈、後毛様動脈を分枝して後は、その主幹動脈となるものである。

さて、V(FA/OA)、T(FA/OA)は、緑内障の眼循環動態を知るうえで、1つの評価指標になると考え、さらにFAとOAの比をとることにより、比較対象となる個人の全身の影響による個体差を最小にし得ると考えた。また平均流速値は、2心拍の流速値の平均値で、流速脈波の波形にはほとんど影響を受けないものである。超音波ドプラー血流計で流速脈波を検出する場合、一般的に問題となるのは、雑音の影響、ヘマトクリット値の影響、超音波ビームの入射角などである。まず雑音の影響は、機械的精度の向上により、今回の計測範囲では問題とならなかった。

ヘマトクリット値の影響については、正常範囲内では大きな差異<sup>45)</sup>はないし、さらに今回は、個別に計測値の比率をとる事により影響はないものと考えた。探触子と血流のずれ及び超音波ビームの入射角については、計測した2カ所のうちOAは、比較的体表面に近い部位にあり、約60°の角度を保って測定し得た。

FAの場合は、探触子と眼軸との角度を耳側約10°に保ち計測したところドプラー音を聴取し得た。さらに角度を増していくとより大きなドプラー音を聴取した。これは、探触子との角度より、眼動脈血流の唸り音であると考えた。

また我国では、谷口<sup>6)</sup>により眼動脈流速脈波の多くの分析が成されている。直接眼球より聴取し得た唸り音は、前記した2カ所のみであり、探触子の特性、解剖学的位置関係より、最初のドプラー音は、FAのものであると考えた。本実験では、得られた測定値、即ち、V(FA/OA)と視野障害進行度(Kosaki分類)との相関を検討し、N群のV(FA/OA)は、69.3±11.6(%)で、G群では、54.5±14.2(%)であった。これはOAに対してFAの低下傾向を意味し、症例2)では、蛍光眼底写真における乳頭面上毛細血管の

充盈欠損 (図12) があり、後毛様動脈系の循環障害も同時に認め両者とも視神経の循環障害<sup>7)8)</sup>を示唆するものと考えた。Schwartz<sup>9)</sup>は、緑内障において、その多くが、乳頭面上で毛細血管の絶対的充盈欠損を示すと報告した。

対象は、すでに薬物により眼圧がコントロール良好で、視野障害が停止しているものも含まれるが、V (FA/OA) の低下の割合は、視野障害進行度に対してほぼ直線的な低下を示した。緑内障の病因の1つである循環障害は、病期の進行に伴って徐々に発現する傾向にあると思われた。一方、T (FA/OA) と C/D 比の間には有意の逆相関関係があり、N 群の T (FA/OA) は、 $137.1 \pm 35.2$  (%) で、G 群では、 $98.1 \pm 40.0$  (%) であった。これは、G 群において FA の PRT の短縮、つまり流速脈波の拡張終期から最高収縮期ま

での時間が短いことを意味し、C/D 比が大きくなるにつれてその傾向が強くなった。これは、視神経乳頭陥凹により狭窄した血管の血流状態を反映しているものと考えた。即ち、緑内障の病因の1つである乳頭の陥凹による血管屈曲が網膜中心動脈血流に機械的障害を及ぼし、PRT が短縮するものと考えられた。これは、病期の進行した緑内障ほど強く発現する傾向にあり、興味深く思われた。超音波ドップラー法による眼循環動態の分析は、多くの研究家によって試みられている。内頸動脈の血流障害の診断に、Hyman<sup>9)</sup>は、眼窩上動脈で、Muller<sup>10)</sup>は、眼動脈の末梢である内側前頭動脈について行っている。内頸動脈の閉塞により眼動脈が外頸動脈と脳動脈間の側副血行路となり、そのとき眼動脈血流は逆方向に脳動脈へ流れようとする。いわゆ

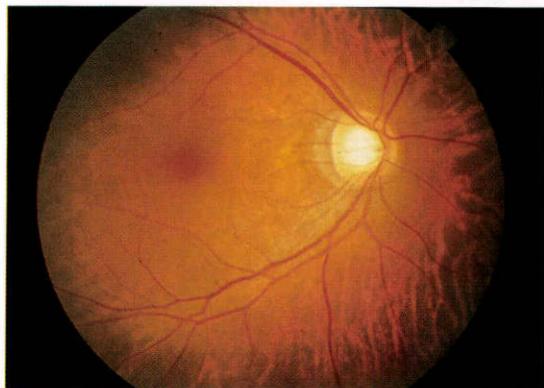


図7 53歳、男性、右眼 POAG、視野変化 IIb (Kosaki 分類)、C/D 比は65 (%)

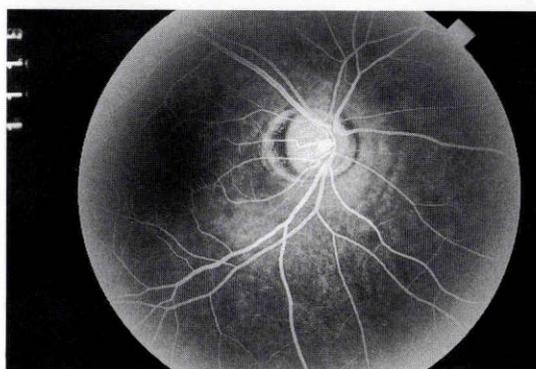


図8 症例1の蛍光眼底写真で、眼底血流速度指数 V (FA/OA) の低下を認めるが、乳頭面上の著明な充盈欠損は認めない。また、血流速度立上がり時間指数 T (FA/OA) の短縮も強い。

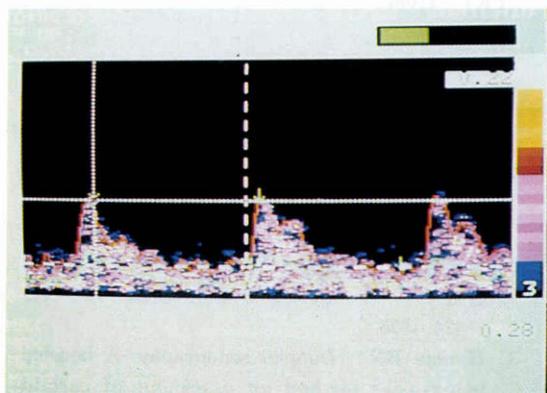


図9 症例1のFAの流速脈波 (Mean F=0.2KHz, PRT=90ms)

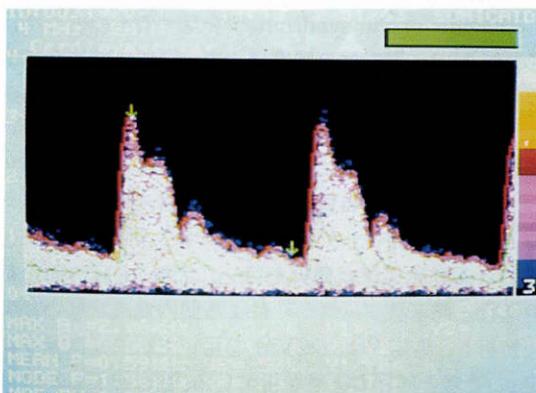


図10 症例1のOAの流速脈波 (Mean F=0.59KHz, PRT=70ms)

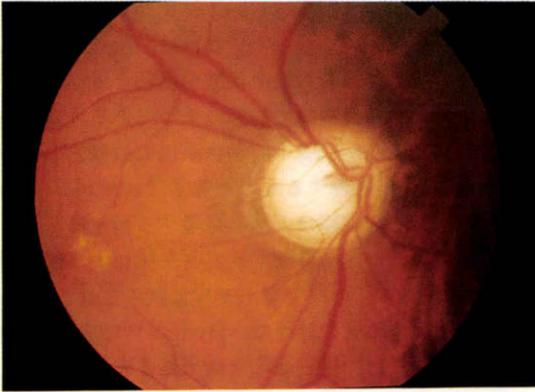


図11 61歳, 女性, 右眼 POAG, 視野変化 V (Kosaki 分類), C/D 比は80~90 (%)

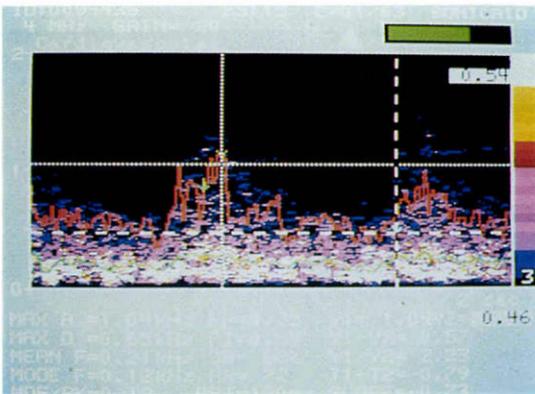


図13 症例2のFAの流速脈波 (Mean F=0.21KHz, PRT=120ms)

る Ophthalmic artery steal phenomenon を呈し, 高度の眼循環障害をきたす<sup>11)</sup>。

Ischemic ocular syndrome<sup>12)</sup>を呈するものとして, Kearns<sup>13)</sup>は, 頸動脈の閉塞により, 眼底に糖尿病性網膜症類似の所見を示すものを, Venous stasis retinopathy と称し, Haefnagels<sup>14)</sup>は, 頸動脈閉塞後の出血性緑内障の眼底に同様の所見を呈することを報告し, Bullock<sup>15)</sup>は, 頸動脈と眼動脈の血流障害を伴ったぶどう膜炎を報告している。山本<sup>1)</sup>は, 人眼の乳頭部と思われる動脈血流の分析を行い, 太根<sup>2)</sup>も緑内障の病期進行と超音波ドップラーによる眼内血流状態の相関を解析し, 馬場<sup>16)</sup>は, OCVM を用いて眼内血流量を測定し, 著者と同様の結果を得ている。超音波ドップラー法を用いた緑内障の研究は少なく, さらに多くの研究が必要である。

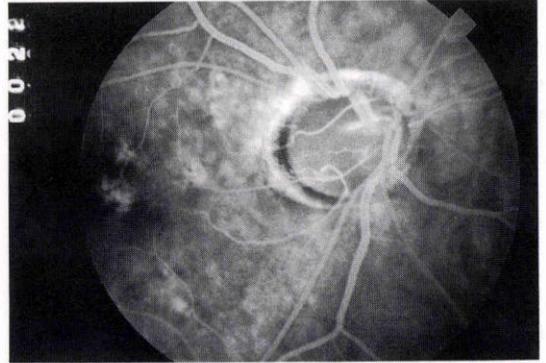


図12 症例2の蛍光眼底写真で, 眼底血流速度指 V (FA/OA)=29.5 (%), 血流速度立ち上がり時間指数 T (FA/OA)=70.5 (%) である。

乳頭面上の毛細血管の充盈欠損を認め, 同時に視神経陥凹による血管の狭窄を認める。V (FA/OA), T (FA/OA) とその所見が逆相関する典型的な症例である。

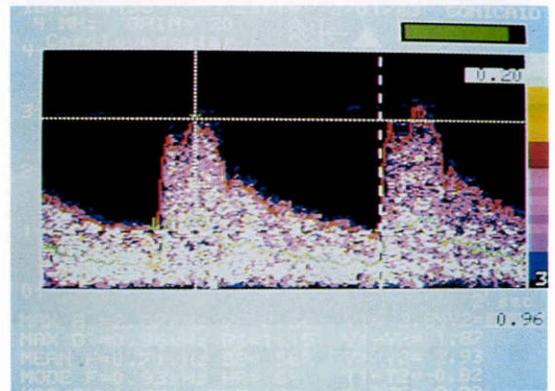


図14 症例2のOAの流速脈波 (Mean F=0.71KHz, PRT=170ms)

## 文 献

- 1) 山本由記雄, 平野史郎, 鎗木ふく代, 他: 緑内障眼における超音波 Doppler 法応用による眼底循環の研究. 日眼会誌 79: 1147-1153, 1975.
- 2) 太根節直, 佐久間靖子: 緑内障眼循環に対する超音波ドップラー法による解析. 眼臨 70: 419-424, 1976.
- 3) Hyman BN: Doppler sonography. A bedside noninvasive method for assesment of carotid artery disease. Am J Ophthalmol 77: 227-231, 1974.

- 4) 浅生雅人, 松尾裕英, 北畠 顕他: 循環モデルによる超音波血流計の定量性に関する検討. 電子医学 1: 202—209, 1976.
- 5) 神谷滋雄, 八木晋一, 佐々木明他: 血液からの超音波後方散乱に対する実験的検討. 日本 ME 学会予稿集 13: 423—424, 1975.
- 6) 谷口裕章: 超音波 Doppler 法による眼血流状態の研究, 眼動脈流速脈波の分析 (第一報). 眼紀 21: 105—111, 1970.
- 7) **Lieberman MF, Maumenee AE, Green WR**: Histologic studies of the vasculature of the anterior optic nerve. *Am J Ophthalmol* 53(11): 721—748, 1969.
- 8) **Hayreh SS**: Blood supply of the optic nerve head and its role in optic atrophy, glaucoma, and oedema of the optic disc. *Brit J Ophthalmol* 53(11): 721—748, 1969.
- 9) **Schwartz B, Rieser JC, Fishbein SL**: Fluorescein angiographic defects of the optic disc in glaucoma. *Arch Ophthalmol* 95: 1961—1974, 1977.
- 10) **Muller HR**: The diagnosis of internal carotid artery occlusion by directional Doppler sonography of the Ophthalmic artery. *Neurology* 22: 816—823, 1972.
- 11) **Huckman MS, Haas J**: Reversed Flow through the Ophthalmic artery as a cause of rubeosis iridis. *Am J Ophthalmol* 74: 1094—1099, 1972.
- 12) **Sanders MD, Hoyt WF**: Hypoxic ocular sequelae of carotid-cavernous fistulae. Study of the cause of visual failure before and after neurosurgical treatment in a series of 25 cases. *Brit J Ophthalmol* 53: 82—97, 1969.
- 13) **Kearns TP, Hollenhorst RW**: Venous stasis retinopathy of occlusive disease of the carotid artery. *Proc Saff Meetings of the Mayo Clinic* 38: 304—312, 1963.
- 14) **Hoefnagels KLJ**: Rubeosis of the iris associated with occlusion of the carotid artery. *Ophthalmologica* 148: 196—200, 1964.
- 15) **Bullock JD, Falter RT, Downing JE, et al**: Ischemic ophthalmia secondary to an ophthalmic artery occlusion. *Am J Ophthalmol* 74: 486—493, 1972.
- 16) 馬場裕行, 井上洋一: ヒト眼における OCVN を用いた眼内血流量測定 of 原理. あたらしい眼科 4: 1169—1171, 1987.