

## 強膜内陥術の脈絡膜循環動態に与える影響 (図6, 表2)

吉田 晃敏・広川 博之 (旭川医科大学眼科)  
 福井 康夫・坂本 淳

Choroidal Circulatory Changes After  
 Scleral Buckling Procedures

Akitoshi Yoshida, Hiroyuki Hirokawa, Yasuo Fukui  
 and Jun Sakamoto

*Department of Ophthalmology, Asahikawa Medical College*

要 約

本研究では、強膜内陥術 **Scleral Buckling (SB)** の脈絡膜循環動態に与える影響を眼球脈波を指標として探索した。眼球脈波は、**Oculocerebrovasculometer** と増幅器を用いて計測し、次の2つを脈絡膜循環動態の **parameter** とした。すなわち脈波の振幅 (PA) と、**Suction cup** による眼球加圧で PA が消失した時点の眼圧 (PA 消失圧) である。裂孔原性網膜剝離に対し術者、手術材料、術式とも同一で SB を施行した23人を検討した結果、SB 施行範囲の拡大に伴って PA および PA 消失圧は低下した。また、3例の裂孔原性網膜剝離患者に対する SB 術中の PA を経時的に測定した結果、PA は強膜を内陥させた時に初めて低下した。さらに SB 術中の5羽の家兎眼においても、PA の低下は強膜の内陥によることが確認された。これらの結果から、SB 施行によって脈絡膜循環は低下し、さらにその施行範囲の拡大に伴って循環低下の程度が大きくなることが推測された。(日眼 92:785—791, 1988)

キーワード：強膜内陥術，脈絡膜循環，眼球脈波，裂孔原性網膜剝離

Abstract

This study was made to determine the influence of scleral buckling (SB) on the choroidal circulation, utilizing the ocular pulse amplitude as an index. The ocular pulse amplitude was recorded using an oculocerebrovasculometer and amplifier. The parameters used were the pulse amplitude (PA) and PA disappearing pressure, intraocular tension at the point where PA had disappeared resulting from pressure on eyeballs using a suction cup. We examined 23 patients with rhegmatogenous retinal detachment in whom SB was performed by the same ophthalmologist, using the same surgical materials and operation method (implant). The results obtained revealed that PA and the PA disappearing pressure decreased as the extent of SB treatment widened. In 3 cases of rhegmatogenous retinal detachment, PA, measured periodically during SB treatment, showed no decrease until the sclera was allowed to indent. It was also confirmed that the decrease of PA was due to indentation of the sclera, this was also shown by PA determination in the eyeballs of 5 rabbits during SB treatment. The results obtained suggest that choroidal circulation decreases by conducting SB, and that the degree of circulation lowering can be enhanced as the indication of SB treatment widens. (*Acta Soc Ophthalmol Jpn* 92:785—791, 1988)

別刷請求先：078 旭川市西神楽4—5—3—11 旭川医科大学眼科学教室 吉田 晃敏 (昭和63年2月17日受付)

Reprint requests to: Akitoshi Yoshida, M.D. Dept. of Ophthalmol., Asahikawa Medical College

4-5-3-11 Nishikagura, Asahikawa 078, Japan

(Accepted February 17, 1988)

**Key words:** Scleral buckling, Choroidal circulation, Ocular pulse amplitude, Rhegmatogenous retinal detachment

## I 緒言

強膜内陥術 Scleral Buckling (以下 SB と略) は、裂孔原性網膜剥離に対する確立された基本的手術手技であり、近年では良好な網膜復位率が報告されている。しかしながら一方では、SB 施行による合併症は皆無ではなく、最近ではこれらの合併症を防ぐため SB を行わずに気体を眼内に注入することで裂孔原性網膜剥離を治療しようとする試み、いわゆる pneumatic retinopexy<sup>1)</sup>が行われるようになってきた。

一方、SB 施行により眼内循環動態が変化し、この変化が術後の合併症発生の一因として考えられている。網膜循環に関し、Yoshida ら<sup>2)</sup>は laser Doppler 法を用いてヒトの SB 施行による血流量の変化を測定した結果、健眼に比べ SB 眼では網膜血流量の低下、とくに SB 施行部位における低下を報告し、この血流量低下が術後の合併症発現の一因となり得る可能性を推測した。一方、脈絡膜循環に関しては、Diddie ら<sup>3)</sup>は家兎眼を対象として encircling による影響を microsphere 法で検討した結果、encircling は脈絡膜血流量を低下させることを報告した。また間野<sup>4)</sup>は、同様に家兎眼に encircling を行い、脈絡膜血流量を水素クリアランス法により測定した。その結果、脈絡膜血流量は encircling の締め込み量の増加に伴って低下することを報告した。以上の過去の研究成績を総合すると、SB 後にはヒトで網膜血流量が低下すること、さらに家兎では脈絡膜血流量が低下することの2点が明らかとなっている。しかしながら、眼球の血管構築が家兎とは異なるヒトの眼球において、SB による脈絡膜循環への影響については未だ解明されていない。

そこで今回我々は、ヒトの SB 後の脈絡膜循環動態について検討を行った。ヒトでは、脈絡膜血流を直接測定する方法は未だ確立されていない。そこで我々は、脈絡膜循環動態を反映すると考えられている眼球脈波<sup>5)</sup>を指標として、ヒト眼球における segmental SB の脈絡膜循環動態に与える影響を探索し、家兎における実験成績とあわせて検討したので報告する。

## II 実験方法

### 1. 眼球脈波の測定

眼球脈波は、Langham<sup>6)~8)</sup>により開発された Alcon

社製 Oculocerebrovasculometer (OCVM) と高感度な増幅器を用いて角膜表面で記録した。図 1 にヒト眼球から記録した典型的な脈波パターンを示す。なお、図示のように波形の peak to peak をもって脈波の振幅 pulse amplitude (PA) とした。

次に OCVM に付属の suction cup を用いて眼球を徐々に加圧し、眼圧をモニターしながら PA が消失した時点の眼圧、PA 消失圧 (mmHg) を測定した。図 2 にヒト眼球における加圧時の PA の変化を示す。PA は、眼球の加圧に伴って低下しこの例では眼圧が 65 mmHg となった時点で消失した。

### 2. 対象

本実験では次の3つの対象を用いた。

第1の対象は、片眼性の裂孔原性網膜剥離のため、SB を施行された23人である。年齢は20歳から69歳(平均52歳)で、男性12人、女性11人であった。これらは

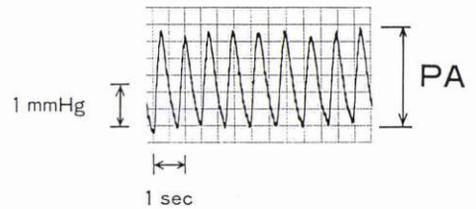


図1 眼球脈波の典型例。PA は脈波 (pulse amplitude) の振幅を表す。

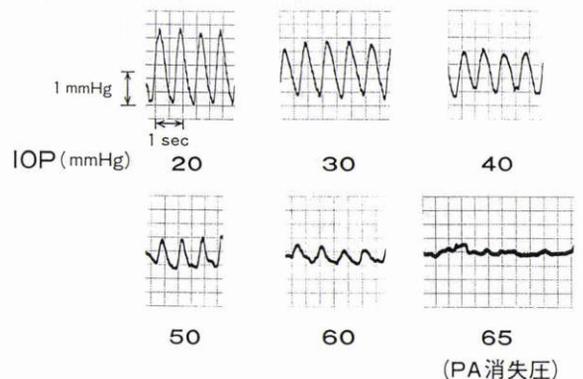


図2 加圧による PA 変動の典型例。PA は眼圧の上昇に伴って低下し、この例では眼圧が 65 mmHg となった時点で消失した。すなわち、PA 消失圧は 65 mmHg である。

術前にPVR等の合併症がなく、術者、手術材料(Mira社製 No. 276 silicone tire +No. 40 encircling silicone band), 術式 (Schepens式 implant<sup>9)</sup>)とも同一であった。いずれの症例においても初回手術で網膜は完全に復位した。また、これらの症例では、術中、術後の合併症は認めず、術後SB施行眼と健眼との屈折度の差は3 Diopter以内であった。なお、手術から本測定までの期間は、4カ月から6カ月であった。

これらの対象の両眼に対してPA, PA消失圧を計測した。次に、個体差によるばらつきを少なくするため、健眼の値をコントロールとして、SB眼と健眼との比を算出した。すなわち、それらは次式で示される。

$$PA \text{ 比} = \frac{SB \text{ 眼の PA}}{\text{健眼の PA}}$$

$$PA \text{ 消失圧比} = \frac{SB \text{ 眼の PA 消失圧}}{\text{健眼の PA 消失圧}}$$

また、これらの対象をSB施行範囲による差異を検討する目的でSB施行範囲により、A群(1象限, 6人), B群(2象限, 9人), C群(3象限以上, 8人)に分類した。

第2の対象は、3例の片眼性裂孔原性網膜剝離患者(48歳男性, 68歳男性, 49歳男性)で、全身麻酔下にSBを施行し(2例は2象限, 1例は1象限)、術中のPAを測定した。すなわち、SB開始前から終了時までを表1に示す5つのstageに分類し、おのこのstageでPAを測定した。

第3の対象は、5羽の成熟有色家兎(レッキス, 体重2.0~2.5kg)である。麻酔は、22G エラストー針にて耳静脈に血管確保を行った後、pentobarbital sodium 25.0mg/kg (NEMBUTAL® 0.5ml/kg)を静注し、以後一定の麻酔深度を得るように適宜追加した。また、股動脈にカニューレションして、圧力センサーを挿入し動脈圧をモニターした。さらに両後肢、左前肢より心電図(ECG)を記録した。

以上の設定のもとに、SB術中の各時点において、PA, ECGそして動脈圧を同時に記録した。SBは右眼に対し2象限にわたって施行した。家兎眼では強膜が

表1 SB術中のPA測定時点(ヒト)。

1. 開始前
2. 強膜半層切開, diathermy
3. silicone tire (仮縫合)+encircling
4. silicone tire (本縫合)+encircling
5. 終了時

薄く implant 法は容易ではなかったもので、implant 法に用いる silicone tire(Mira社製 No. 276)を episcleral に縫着した(explant), silicone tireを強膜上に本縫合する際には、あらかじめ30G針を用いて前房穿刺を行い、眼圧が術前にくらべて上昇しないように配慮した。

### III 結 果

#### 1. 対象(1)を用いた実験の結果

対象(1)から得られたPA比は全例で1.0以下であり、SB施行眼では健眼よりPAが小さいことが判明した。PA比の平均±S.D.は0.46±0.20であった。図3にPA比の各群別の結果を示す。SB施行範囲が拡大

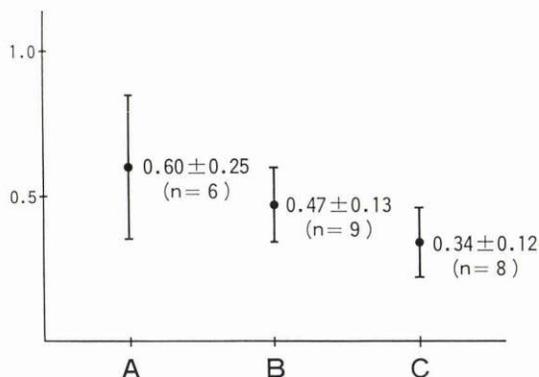


図3 PA比(SB眼/健眼)。数値は平均±S.D.。A群とC群との間に統計学的有意差を認めた(p=0.03)。A:SB 1象限, B:SB 2象限, C:SB 3象限以上。

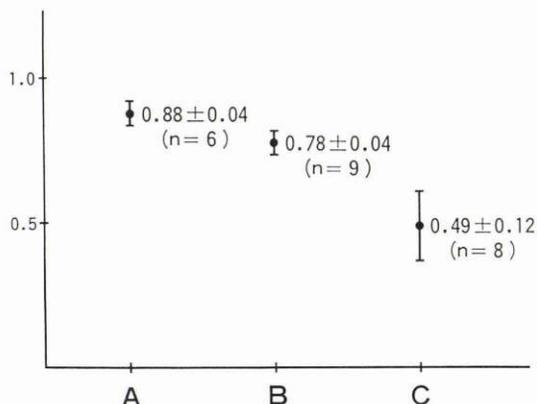


図4 PA消失圧比(SB眼/健眼)。数値は平均±S.D.。A群とB群, B群とC群との間に統計学的有意差を認めた(p<0.001)。A:SB 1象限, B:SB 2象限, C:SB 3象限以上。

するほど、PA 比は低下した。

次に、もう一つの parameter である PA 消失圧比について検討すると、この比も全例で1.0以下であり、従って、SB 施行眼では健眼より PA 消失圧が小さいことが判明した。PA 消失圧比の平均±S.D.は、0.71±0.18であった。図4に PA 消失圧比の各群別の結果を示す。この比は群内でのばらつきが小さく、SB 施行範囲が拡大する程低下した。特に、A 群、B 群とゆるやかな低下を示すのに対して、C 群では著しく低下した。また各群間共に統計学的に有意差を認めた (p<0.001)。

2. 対象 (2) を用いた実験の結果

図5に48歳男性の右眼に施行したSB (1象限) 開始前から終了時までの PA の推移を示す。この期間内では心拍数 (90/分前後)、血圧 (130/80前後) ともに安定した状態であった。一方 PA は、SB 開始前、強膜半層切開終了時、そして silicone tire を強膜 bed 内に軽

く仮縫合した時点まではほぼ一定であったが、本縫合により強膜を内陥させて初めて有意に低下した。なお、この例では網膜下液の排液を行わなかった。従って、強膜の内陥により眼圧が上昇することを防ぐため、silicone tire を本縫合する直前に前房穿刺を行って本縫合後の眼圧を13mmHgとし、それ以前 (10~14 mmHg) とほぼ同じ値にコントロールした。

3例のSB 術中における PA、眼圧および血圧の推移を表2に示す。3例とも PA は、silicone tire を強膜 bed 内に軽く仮縫合する時点まではほぼ一定で、本縫合により強膜を内陥させて初めて有意に低下した。

3. 対象 (3) を用いた実験の結果

図6に家兎眼におけるSB (explant) 術中の ECG、動脈圧そして PA の推移の典型例を示す。家兎眼の PA は、ヒト眼のそれのおよそ1/10であった。計測の結果、ヒト眼のSB 術中に観察されたように、家兎眼においても PA は、silicone tire を強膜上に軽く仮縫合す

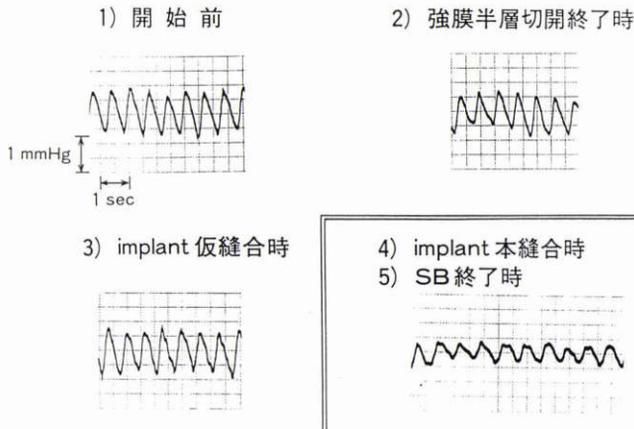


図5 SB 術中の PA (ヒト)。PA は本縫合により強膜を内陥させて初めて有意に低下した。

表2 SB 術中における PA、眼圧、血圧の推移 (ヒト)。IOP: 眼圧, BP: 血圧。数値は mmHg。PA は、全例において本縫合により強膜を内陥させて初めて低下した。

症 例 (SB 範囲)	48歳, 男性 (1象限)			68歳, 男性 (2象限)			49歳, 男性 (2象限)		
	PA	IOP	BP	PA	IOP	BP	PA	IOP	BS
SB 開始前	1.2	10	124/70	0.5	8	128/72	0.6	7	150/90
開瞼器装着後									
強膜半層切開 diathermy 終了時	1.0	12	130/84	0.5	7	130/79	0.6	8	140/60
Implant 仮縫合時	1.2	14	128/76	0.6	9	138/80	0.7	13	150/83
Implant 本縫合時	0.6	13	128/86	0.2	10	126/80	0.3	11	140/80
眼圧のコントロール	前房穿刺			網膜下液排液			網膜下液排液, 前房穿刺		

数値は mmHg

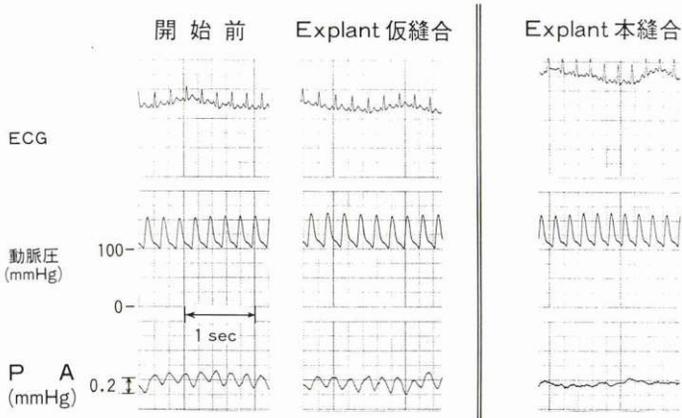


図6 SB術中のPA(家兎)。PAは本縫合により強膜を内陥させて初めて有意に低下した。

るまではほとんど変化せず、本縫合により強膜を内陥させて初めて低下した。なお、前述したように、この本縫合直前に前房穿刺を行い一連の測定期間中眼圧はほぼ一定に保った。

以上の結果は、他の4羽における実験でも同様であった。すなわち、PAはsilicone tireを強膜上に本縫合して強膜を内陥させてはじめて低下した。

#### IV 考 按

まずPAおよびPA消失圧がどのような意味を持つかを考えてみたい。我々の記録した眼球脈波は、心拍出に一致した周期を有し、しかも角膜表面より記録したものであるから、その振幅(PA)は眼内の血流状態を反映していると考えられる。そしてこのPAは、網膜中心動脈閉塞症の患者からもほぼ正常に記録されること<sup>10)11)</sup>、さらにこれらの患者の眼球を加圧し視神経乳頭上の拍動が消失した時点(網膜中心動脈完全閉塞時)においても記録されること<sup>5)12)13)</sup>から、このPAは網膜の血流よりも眼球内の血流の約90%を占める脈絡膜の血流を反映していると考えられている<sup>12)13)</sup>。

一方、豊福ら<sup>14)</sup>は、眼球を100mmHg程度に加圧して眼内の血液循環を完全に停止させた状態から蛍光眼底造影を開始し、眼圧を徐々に下降させていくと、まず網膜中心動脈が造影され、さらに7~8mmHg下降させると初めて脈絡膜血管が造影されることを報告した。すなわち彼らの結果は、脈絡膜血圧が網膜血圧より7~8mmHg低いことを示唆している<sup>15)</sup>。また、西川ら<sup>12)</sup>はOCVMを用いた眼球加圧実験から、PA消失圧は、網膜中心動脈の血流が止まる圧より約7mmHg低

いことを報告している。従って、以上の2つの報告を統合すると、PA消失圧は脈絡膜血圧を示していることが推測される<sup>5)12)</sup>。

以上の過去の研究成果から、今回我々が用いたPA、PA消失圧という2つのparameterとも脈絡膜循環動態を反映していると考えられる。しかしながら、PAの大きさがそのまま脈絡膜血流量を反映しているとは言い難い。一方、PA消失圧は、眼内圧を上昇させ脈絡膜血流を停止させた時点の眼内圧を示すと考えられ、脈絡膜血圧を推測する1つのparameterとなり得ると考えられる。

今回の我々の実験結果から、以下の点が明らかとなった。まず対象(1)を用いた実験成績から、SB眼ではPAおよびPA消失圧が低下し、これらの低下の程度はSB施行範囲が拡大する程大きくなるという点である。阪本ら<sup>16)</sup>は、PAに影響を与える因子を検討する目的で、OCVMを用いて輪状締結術・ブロンベ縫着術のいずれかまたは両者の併用手術を施行した17眼のPAを測定した。その結果、我々の結果と同様に16眼でPAの低下を認めたが、術式が一定でなかったため、SB施行範囲との関連は検討していない。そこで今回我々は、SBによる脈絡膜循環動態の変化をその施行範囲との関連において探索するため以下の3点に特に留意した。その第1として、SBは術者、材料、手法とも同一とし、SBの施行範囲のみを可変的因子とした。第2として、PAは屈折異常で変化するという報告<sup>17)</sup>もあるため、SB眼と健眼との屈折度の差を3D以内と限定した。さらに第3としては、阪本ら<sup>16)</sup>も指摘しているようにPAには個体差があり、我々はこの影響を除

くため健眼をコントロールとして患眼と健眼との比を指標として評価した。このように対象の選定および測定結果の解析に関し細心の注意を払って検討した結果、SB施行範囲が拡大する程、PAおよびPA消失圧が低下する、すなわち脈絡膜循環が障害されることが明らかとなった。さらに、SB術中のどの時点でPAが低下するかを探索する目的で行った対象(2)の実験成績から、PAの低下はsilicone tireを強膜上に軽く縫合しただけでは低下せず、本縫合により強膜を内陥させて初めて有意に低下することが判明した。この結果は、SBによる脈絡膜循環障害は強膜の内陥によることを強く推測させる。この推論は、さらに対象(3)、すなわち家兎を用いた実験成績からも支持される。

SB後に脈絡膜血流量が低下することは、家兎を用いた実験からDiddieら<sup>3)</sup>、間野<sup>4)</sup>が報告しており、その原因としてSBが強膜あるいは脈絡膜中の渦静脈を圧迫することによる静脈流出路障害を上げている。高橋<sup>18)</sup>は、家兎を対象として渦静脈結紮により脈絡膜における静脈流出路障害のモデルを作製し、脈絡膜血流量の変化を水素クリアランス法により測定した。その結果、渦静脈を2本、および3本結紮した時の脈絡膜血流量は非結紮時に比べてそれぞれ73%、49%に低下したと報告している。この数値は、今回我々がヒトSB眼を対象として測定したPA消失圧が、健眼にくらべてSB2象限で78%、3象限以上で49%に低下した結果と酷似する。従って、家兎眼およびヒト眼の両者において1本の渦静脈がおよそ1象限の脈絡膜血液の流出路として機能すると仮定すると、ヒト眼においてもSB後に脈絡膜循環が低下する原因としてその流出路の機能的障害が起こっていることが推測される。

今回の我々の研究により、ヒト眼においてもSB後、脈絡膜循環は低下し、さらにその施行範囲の拡大に伴って、循環低下の程度が大きくなることが推測される。この脈絡膜循環の低下が、SB術後の合併症や視機能および術後視力の推移とどのように関連するかは明らかではない。しかしながら、今回の眼球加圧実験の結果からも明らかなように、SB施行眼ではその施行範囲が大きくなる程、より小さな加圧、すなわちより小さな眼圧の上昇で脈絡膜循環が障害される。このことから、SB眼とくに広範囲に施行されたSB眼においては、脈絡膜循環の障害という観点から術後の眼圧の上昇には十分な注意が必要である。さらにSBは、網膜を復立させるという効能とは裏腹に、このような短所を有しているため、その施行範囲は必要最小限にとど

めるべきであると考えられる。

なお今後の研究では、SB施行眼における脈絡膜循環の長期的変化、および術後の合併症と脈絡膜循環動態との関連について検討していきたい。

稿を終えるにあたり、ご校閲を賜りました保坂明郎教授に深謝いたします。また御指導下さいました旭川医大附属動物実験施設、田中 宏、中谷和宏、前田忠之の各先生に深謝いたします。本論文の要旨は第91回日本眼科学会総会にて発表した。

#### 文 献

- 1) Hilton GF, Grizzard WS: Pneumatic retinopexy. A two-step outpatient operation without conjunctival incision. *Ophthalmology* 93: 626—641, 1986.
- 2) Yoshida A, Feke GT, Green GJ, et al: Retinal circulatory changes after scleral buckling procedures. *Am J Ophthalmol* 95: 182—188, 1983.
- 3) Diddie KR, Ernest JT: Uveal blood flow after 360° constriction in the rabbit. *Arch Ophthalmol* 98: 729—730, 1980.
- 4) 間野ともえ: 赤道部強膜全周締結術の脈絡膜循環への影響。第1報。術後早期について。眼紀 33: 460—467, 1982.
- 5) 西川憲清: 眼動脈循環障害の診断について。眼紀 35: 2120—2124, 1984.
- 6) Langham ME: A new procedure for the analysis of intraocular dynamics in human subjects. *Eye Res* 2: 314—324, 1963.
- 7) Langham ME: A clinical procedure for the measurements of the ocular pulse pressure relationship and the ophthalmic arterial pressure. *Eye Res* 27: 17—25, 1978.
- 8) Sanborn GE, Langham ME: An evaluation of currently available noninvasive tests of carotid artery disease. *Ophthalmology* 87: 435—439, 1980.
- 9) Schepens CL: Retinal detachment and allied diseases. Vol. 1, 405—435, WB Saunders, Philadelphia, 1983.
- 10) 松本聖子, 竹本 環, 明石伸子他: OCVM (Oculocerebrovasculometry)の使用経験。眼紀 33: 1014—1020, 1982.
- 11) 張野正誉, 三浦玲子, 渡辺 仁他: 網膜動脈閉塞症における頸動脈病変。一、眼動脈流速脈波と眼底血圧の検討一。眼紀 36: 2274—2278, 1985.
- 12) 西川憲清, 福田全克, 真鍋礼三: 眼底血圧測定法について。大警病医誌 9: 115—118, 1985.
- 13) Bynke HG, Schéle B: On the origin of the ocular pressure pulse. *Ophthalmologica* 153: 29—36, 1967.

- 14) 豊福秀尚, Best M, Galin MA 他: 眼球圧迫時の蛍光眼底撮影. 臨眼 26: 311—316, 1972.
- 15) Blumenthal M, et al: Ocular circulation. An analysis of retinal and choroidal blood flow in man. Am J Ophthalmol 71: 819—825, 1971.
- 16) 阪本寿美, 卯月かおる, 玉田玲子他: 眼球脈波に影響する要因について—網膜剝離手術による変化一. 眼紀 35: 2125—2129, 1984.
- 17) Giovannini A, Colombati S, Ciliberti C: The hemodynamics of the myopic eye: Rheo-oculographic findings. Doc Ophthalmol Proc Series 28: 135—139, 1981.
- 18) 高橋節夫: 脈絡膜組織血流量に関する研究. 第3報, 渦静脈結紮による影響. 眼紀 33: 958—961, 1982.

(第91回日眼総会原著)