

早期緑内障における黄斑部青錐体感度と視神経乳頭形状変化との相関

山崎 芳夫, 田中 千鶴, 早水扶公子, 水木 健二

日本大学医学部眼科学教室

要 約

目的: 緑内障における黄色背景光青色検査視標 (blue on yellow perimetry: 以下, B on Y) を用いた黄斑部感度 (macular sensitivity: 以下, MS) 測定と視神経乳頭形状変化との相関について, 白色背景光白色検査視標 (white on white perimetry: 以下, W on W) による MS 測定と比較検討した。

対象と方法: 正常者 28 例 28 眼, 高眼圧症 (ocular hypertension: 以下, OH) 23 例 23 眼, 早期原発開放隅角緑内障 (primary open-angle glaucoma: 以下, POAG) 23 例 23 眼を対象とした。Humphrey Field Analyzer (以下, HFA) の黄斑プログラムを用いて, B on Y と W on W で MS 測定を行い, Heidelberg Retina Tomograph を用いて視神経乳頭形状解析を行い, 乳頭耳側のトポグラフィック・パラメータを求めた。

結果: 3 群間の乳頭耳側のトポグラフィック・パラ

メータに有意差はなかったが, 早期 POAG 群は正常者群, OH 群と比較し, B on Y, W on W とともに有意な MS の低下があった。W on W では 3 群ともに MS と乳頭耳側トポグラフィック・パラメータに相関はなかったが, B on Y では早期 POAG 群において MS と乳頭耳側の cup area, cup/disc area ratio, cup volume, および rim volume との間に有意な相関を示した。

結論: HFA の黄斑プログラムを用いた B on Y は, W on W と比較し眼圧上昇に伴う黄斑部視機能障害を検出し得る可能性を持つ。(日眼会誌 105: 776-780, 2001)

キーワード: Blue on yellow perimetry, White on white perimetry, 黄斑部感度, Heidelberg Retina Tomograph, 青錐体

Correlation between Blue Chromatic Macular Sensitivity and Optic Disc Change in Early Glaucoma Patients

Yoshio Yamazaki, Chizuru Tanaka, Fukuko Hayamizu and Kenji Mizuki

Department of Ophthalmology, Nihon University School of Medicine

Abstract

Purpose: To investigate the relationship between morphological changes of the optic nerve head (ONH) and macular sensitivity (MS) determined with blue-on-yellow (B on Y) and white on white (W on W) perimetry in normal subjects and patients with glaucoma.

Methods: One randomly chosen eye was evaluated in each of 28 normal subjects, 23 patients with ocular hypertension (OH), and 23 patients with early primary open-angle glaucoma (POAG). Mean values for MS by B on Y and W on W perimetry were obtained with the macular program using a modified Humphrey Field Analyzer (HFA). The Heidelberg Retina Tomograph (HRT) with software version 2.01 was used to evaluate the topographic parameters of temporal sector in ONH.

Results: There was no significant difference in temporal topographic parameters of ONH among the three clinical groups. Mean values for MS of B

on Y and W on W perimetry in early POAG were significantly lower than in normal subjects and OH. Mean values for MS of W on W perimetry showed no significant correlation with ONH parameters of the temporal sector. In early POAG, mean values for MS of B on Y perimetry significantly correlated with cup area, cup/disc area ratio, cup volume, and rim volume in the temporal sector of ONH.

Conclusion: The measurement of mean MS of B on Y might be able to detect the glaucomatous optic nerve damage due to increased intraocular pressure prior to the morphological changes of ONH in early stages of glaucoma. (J Jpn Ophthalmol Soc 105: 776-780, 2001)

Key words: Blue on yellow perimetry, White on white perimetry, Macular sensitivity, Heidelberg Retina Tomograph, Blue cone

別刷請求先: 173-8610 東京都板橋区大谷口上町 30-1 日本大学医学部眼科学教室 山崎 芳夫
(平成 13 年 4 月 9 日受付, 平成 13 年 5 月 16 日改訂受理)

Reprint requests to: Yoshio Yamazaki, M.D. Department of Ophthalmology, Nihon University School of Medicine, 30-1 Oyaguchikami-machi, Itabashi-ku, Tokyo 173-8610, Japan
(Received April 9, 2001 and accepted in revised form May 16, 2001)

I 緒 言

緑内障と後天性青黄異常との関連の研究の歴史は古く、Lakowski ら¹⁾²⁾が anomaloscope や 100-hue test を用い、青黄異常を示す高眼圧症(ocular hypertension: 以下, OH)は原発開放隅角緑内障(primary open-angle glaucoma: 以下, POAG)に移行しやすいことを報告して以来、緑内障早期診断での後天性色覚異常検出の役割が注目されている。選択的色順応法の導入³⁾により、高輝度黄色背景光下で青錐体の分光特性に一致する青色単色光の検査視標を用いた青錐体感度視野が計測可能となり、Yamazaki ら⁴⁾⁵⁾は POAG の黄斑部青錐体感度閾値の低下は最高眼圧値と相関すること、同等の視野障害を持つ POAG と正常眼圧緑内障(normal-tension glaucoma: 以下, NTG)との検討で、POAG は NTG と比較し、有意に青錐体感度が低下することを明らかにし、緑内障眼での青錐体感度障害と眼圧上昇との関連を指摘した。緑内障性視神経障害に対する病理組織学的検討⁶⁾から、太い軸索径を持つ網膜神経線維は細い神経線維と比較し眼圧上昇に対し脆弱であること、太い軸索径と大きな細胞体を持つ網膜神経節細胞は magnocellular (以下, M 細胞)と parvocellular (以下, P 細胞)のサブタイプであることが報告されている。さらに、色覚情報伝達系を司る P 細胞系についての電気生理学的検討⁷⁾から、短波長域に分光特性を持つ ON 中心型細胞は中波長域や長波長域に分光特性を持つ ON 中心型細胞よりも細胞体が約 50% 大きいことが明らかにされ、これらの基礎的研究が緑内障眼での眼圧上昇による青色感度の易障害性の理論的根拠となっている。

近年、Humphrey Field Analyzer(Carl Zeiss, San Leandro, 米国: 以下, HFA)に黄色背景光青色検査視標(blue on yellow perimetry: 以下, B on Y)を用いた新しいプログラムとして short-wavelength automated perimetry (以下, SWAP)が開発⁸⁾され、緑内障早期診断への試みが注目されている⁹⁾。また、Heidelberg Retina Tomograph(Heidelberg Engineering GmbH, Heidelberg, ドイツ: 以下, HRT)は三次元的視神経乳頭解析装置として広く普及し、その測定結果である乳頭トポグラフィック・パラメータは網膜感度変化と優れた相関を示し、乳頭を分割したトポグラフィック・パラメータとそれに対応する視野セクターとの網膜感度変化との間においても有意な相関を持つことが報告¹⁰⁾され、HRT による視神経乳頭形状解析は視神経乳頭全領域のみならず、乳頭を分割したセクターにおいて視神経乳頭形状の詳細な解析機能を有することが知られている。

既に我々¹¹⁾は SWAP を用い、緑内障眼では黄斑部青錐体感度と視神経乳頭陥凹面積比とが有意な相関を持つことを明らかにしている。そこで今回、乳頭黄斑線維束を含めた耳側の視神経乳頭形状変化に注目し、正常眼、

OH, POAG の臨床例を対象に B on Y と従来の白色背景光白色検査視標(white on white perimetry: 以下, W on W)を用いた黄斑部感度閾値測定を行い、視神経乳頭耳側の形状変化との関連について検討を行い、黄斑部青錐体感度測定による緑内障早期診断の可能性について報告する。

II 実験方法

1. 対 象

対象は、日本大学医学部附属板橋病院眼科外来通院中の OH, POAG である。また、正常有志者および軽度の屈折異常や外眼部疾患で当科を受診した患者から、複数回の眼圧測定で 21 mmHg 未満、眼科一般検査で前述の疾患以外の存在を否定できた症例を正常対照群(正常群)として採用した。OH および POAG 患者については、HFA 中心プログラム 30-2(以下, HFA 30-2)による静的閾値計測を 2 回以上経験し fixation loss 33% 未満, false positive 20% 未満, false negative 20% 未満の再現性良好な視野測定結果が得られている症例を選択した。OH は、正常開放隅角、眼圧下降薬無治療下での複数回の眼圧測定で 22 mmHg 以上, HFA 30-2 で連続する 2 点以上に 5 dB 以上、また、1 点以上の 10 dB 以上の年齢別正常値からの感度低下点がない、散瞳下での精密眼底検査で明らかな視神経乳頭の陥凹拡大、萎縮および網膜神経線維層の欠損がないことと定義した。POAG は、正常開放隅角、続発緑内障を推定する所見がなく、眼圧下降薬無治療下での複数回の眼圧測定で 22 mmHg 以上, HFA 30-2 で少なくとも連続する 2 点以上に 5 dB 以上、または、1 点以上に 10 dB 以上の年齢別正常値からの感度低下点を有すること、また、水平経線を跨ぐ連続する 2 点以上に -5 dB 以下の感度低下点があること、散瞳下での精密眼底検査で緑内障性乳頭陥凹拡大、萎縮があること、と定義した。検討対象は石原式色盲検査表(38 表)で先天性色覚異常の存在を否定し、矯正視力 1.0 以上、屈折異常は球面值 6.0 diopter (D)未満、円柱値で 2.5 D 未満、年齢は 70 歳未満とした。また、除外基準として、①内眼部手術の既往、②視神経および網脈絡膜疾患の既往および存在、③色覚に影響を及ぼし得るあらゆる全身疾患、あるいは色覚に影響を及ぼし得る薬物による治療歴、④瞳孔の異常、および瞳孔径に影響を与え得る疾患の既往および存在、⑤視野および色覚に影響を及ぼすと思われる前眼部異常、また、白内障を含めた中間透光体混濁の存在を設定した。対象は選択基準に合致し、検査内容、目的について説明を行い、同意の得られた 74 例 74 眼である。対象眼の内訳は、正常者は 28 例 28 眼、年齢 57.0±9.9(平均値±標準偏差、レンジ 36~69)歳、等価球面度数 -0.9±1.8(-4.25~+2.00)D。OH は 23 例 23 眼、年齢 55.5±7.2(42~69)歳、等価球面度数 -0.8±2.0(-5.25

～+1.75)D. POAG は 23 例 23 眼, 年齢 54.4 ± 9.8 歳 (39～67) 歳, 等価球面度数 -1.1 ± 2.4 ($-5.75 \sim +1.75$) D であった. POAG は検査実施前 3 か月以内に測定した HFA 30-2 の前述の再現性良好な検査結果に基づき, corrected pattern standard deviation (以下, CPSD) 値にかかわらず, mean deviation (MD) 値が -5 dB 以上の早期 POAG を選択した.

2. 方 法

黄斑部感度閾値測定は, HFA 750 の黄斑プログラムを用い, 各被験者に対し B on Y と W on W の両者を 2 回測定を実施した. 1 回目と 2 回目の測定間隔は 3 か月以内とした. B on Y における刺激光は波長 440 nm の青色, 背景光は 530 nm の黄色で, 背景光輝度は 100 cd/m^2 である. 刺激サイズは Goldmann 視野計の視標 V (64 mm^2) を用いた. W on W では, 通常の白色背景光で輝度は 10 cd/m^2 を用い, 刺激サイズは Goldmann 視野計の視標 III (4 mm^2) の白色視標を用いた. 閾値測定は自然瞳孔で, 近方視力完全矯正下で, B on Y, W on W の順で行った. 黄斑部感度閾値測定は, fixation loss, false positive, false negative が全くない 2 回目の検査結果を採用し, 黄斑プログラムの固視点を除く全 16 点の感度閾値の平均値 (mean sensitivity: 以下, MS) を求めた. さらに自然瞳孔下で HRT を用い, 各 1 眼につき連続 3 回の視神経乳頭画像の取り込みを画角 $10^\circ \times 10^\circ$ で行い, 記録された 3 画像を合成し平均値画像を作製後, 視神経乳頭の範囲を設定し, HRT Version 2.01 のソフトウエアを用い, 傾斜座標システムに基づき, 乳頭トポグラフィック・パラメータを算出した. さらに, HFA 30-2 視野と視神経乳頭とのセクター分割対応の指標である Wirtschefer 分類¹²⁾に従い, 乳頭耳側の $-30^\circ \sim +30^\circ$ の耳側乳頭トポグラフィック・パラメータを pre-defined segment 画面から求めた. 本研究では, HRT により算出されるトポグラフィック・パラメータの中から分割した乳頭セクターの形状評価に適する disc area, cup area, rim area, cup/disc area ratio, cup volume, rim volume, mean cup depth, maximum cup depth, mean retinal nerve fiber layer (RNFL) thickness, および RNFL cross section area の 10 項目を採用し検討を行った¹⁰⁾. なお, 今回採用した平均値画像は測定標準偏差が $30 \mu\text{m}$ 未満のみを対象とした.

統計学的解析には SPSS 統計ソフト (SPSS, Inc., Chicago, IL, 米国) を用い, 分散分析法 (ANOVA) を用い, 数値の相関は Spearman 順位相関係数を求めて検討し, いずれも危険率 5% 未満を有意とした.

III 結 果

正常眼, 高眼圧症, および早期 POAG の臨床背景, W on W, B on Y での MS 値, 乳頭耳側 60° の乳頭トポグラフィック・パラメータを表 1 に示す. W on W お

よび B on Y での MS 値において, 3 群間に統計学的有意差があった ($p < 0.05$). 各 2 群間の比較では, W on W および B on Y での MS 値は, 早期 POAG と正常眼との間に統計学的有意差を示した ($p < 0.05$). 乳頭トポグラフィック・パラメータにおいては, 3 群間および各 2 群間に統計学的有意差はなかった.

正常眼, 高眼圧症, および早期 POAG の各群における W on W, B on Y での MS 値と乳頭トポグラフィック・パラメータとの相関を表 2, 3 に示す. W on W での MS 値においては, いずれの群ともに乳頭トポグラフィック・パラメータとの間に有意な相関関係はなかった. 一方, B on Y での MS 値においては, 早期 POAG 群の B on Y の MS 値と乳頭耳側 60° の cup area, cup/disc area ratio, cup volume, および rim volume との間に有意な相関関係を示した ($p < 0.01$). しかし, 他の 2 群においては B on Y の MS 値と乳頭トポグラフィック・パラメータとの間に有意な相関関係はなかった.

IV 考 按

B on Y を用いた網膜感度閾値測定では, W on W と比較し, 加齢変化による水晶体の短波長光の透過率減少¹³⁾, 近視性変化の影響¹⁴⁾, 測定結果の閾値のばらつき (短期変動, short term fluctuation: 以下, SF) が大きいこと¹⁵⁾などが結果の評価における課題となっている.

Sample ら¹⁶⁾¹⁷⁾は水晶体の加齢変化や白内障の影響を除外する目的で, 水晶体自発蛍光測定や短波長光と長波長光の水晶体透過率の比較による SWAP での測定結果の補正式を提案しているが, 一方, 被検者の年齢が 70 歳未満とそれ以上では水晶体の短波長光透過率変動は異なり, 70 歳未満では B on Y と W on W との感度閾値の解離が極めて少ないことを明らかにしている. 本研究では, B on Y による青錐体感度閾値の補正を行っていないが, 測定解析対象の選択基準を 70 歳未満, 矯正視力 1.0 以上, かつ, 色覚や視野に影響を及ぼす程度の白内障が存在しない症例を選択し, また, 3 群間の年齢分布に有意差がないことから, 加齢や水晶体混濁が本研究結果に及ぼす影響は少ないと考えられる.

青錐体細胞は赤・緑錐体細胞よりも細胞数が少なく, また, 近視眼では後極部網膜伸展による視細胞密度の低下により, 正常眼でも B on Y による感度閾値は近視性屈折異常の影響が顕著であることが報告¹⁴⁾されている. 本研究では対象の選択に当たり, 等価球面度数が -6.0 D 以上の強度近視眼を除外し, 3 群間の等価球面度数分布に有意差はなく, B on Y と W on W での網膜感度閾値の解離が最小の黄斑部での感度閾値を測定しており, 本研究結果への近視性変化の影響は少ないと考える.

また, 感度閾値測定では, 初回検査では閾値のばらつきが大きく, 2 回目以降では小さく安定した測定結果が得られることから¹⁵⁾, 本研究では全対象に対し 2 回測定

表 1 対象群の臨床背景, 黄斑部感度閾値, および乳頭耳側トポグラフィック・パラメータ

	正常眼 (28 眼)	高眼圧症 (23 眼)	早期 POAG (23 眼)	ANOVA P value
年齢(歳)	57.0±9.9	55.5±7.2	54.4±9.8	n.s.
等価球面度数(D)	-0.9±1.8	-0.8±2.0	-1.1±2.4	n.s.
W on W MS(dB)	33.2±1.4	32.9±1.9	31.0±2.7*	0.001
B on Y MS(dB)	25.6±3.7	24.6±2.8	22.7±3.1*	0.027
Disc area(mm ²)	0.35±0.07	0.34±0.09	0.34±0.11	n.s.
Cup area(mm ²)	0.24±0.09	0.24±0.10	0.24±0.11	n.s.
Rim area(mm ²)	0.11±0.05	0.11±0.04	0.10±0.04	n.s.
Cup/Disc area ratio	0.67±0.18	0.66±0.17	0.68±0.15	n.s.
Cup volume(mm ³)	0.054±0.038	0.062±0.039	0.051±0.044	n.s.
Rim volume(mm ³)	0.009±0.006	0.008±0.005	0.007±0.003	n.s.
Mean cup depth(mm)	0.29±0.10	0.31±0.11	0.29±0.14	n.s.
Maximum cup depth(mm)	0.56±0.15	0.60±0.18	0.57±0.18	n.s.
Mean RNFL thickness(mm)	0.071±0.016	0.069±0.018	0.072±0.021	n.s.
RNFL cross section area(mm ²)	0.059±0.013	0.058±0.017	0.060±0.020	n.s.
Mean deviation(dB)	-0.31±0.86	-0.61±1.32	-3.12±0.84*#	0.000
Corrected standard pattern deviation(dB)	1.49±1.19	1.30±1.00	3.88±3.24*#	0.000

平均値±標準偏差

* : 正常群と早期 POAG 群との間に有意差あり (Scheffe's test, p<0.05)

: 高眼圧症と早期 POAG 群との間に有意差あり (Scheffe's test, p<0.05)

W on W : white on white perimetry, B on Y : blue on yellow perimetry, MS : macular sensitivity, RNFL : retinal nerve fiber layer, POAG : primary open-angle glaucoma, ANOVA : analysis of variance

表 2 各群での W on W の黄斑部感度閾値と乳頭耳側トポグラフィック・パラメータとの Spearman 順位相関係数

	正常眼 (28 眼)	高眼圧症 (23 眼)	早期 POAG (23 眼)
Disc area	0.134	-0.175	-0.349
Cup area	0.115	-0.252	-0.336
Rim area	0.119	0.336	0.111
Cup/Disc area ratio	-0.014	-0.248	-0.336
Cup volume	0.155	-0.072	-0.295
Rim volume	0.054	0.233	0.295
Mean cup depth	0.178	-0.157	-0.154
Maximum cup depth	0.282	-0.170	0.013
Mean RNFL thickness	0.307	-0.044	0.133
RNFL cross section area	0.287	-0.096	-0.139

表 3 各群での B on Y の黄斑部感度閾値と乳頭耳側トポグラフィック・パラメータとの Spearman 順位相関係数

	正常眼 (28 眼)	高眼圧症 (23 眼)	早期 POAG (23 眼)
Disc area	-0.329	-0.253	-0.340
Cup area	-0.342	-0.278	-0.631**
Rim area	0.293	0.069	0.375
Cup/Disc area ratio	-0.298	-0.218	-0.549**
Cup volume	-0.092	-0.115	-0.528**
Rim volume	0.328	0.086	0.542**
Mean cup depth	-0.023	0.150	-0.282
Maximum cup depth	0.178	0.206	-0.197
Mean RNFL thickness	0.257	-0.041	0.147
RNFL cross section area	0.099	-0.125	-0.122

** : p<0.01

を実施し, 2 回目の再現性良好な検査結果を採用した。

青感度障害は OH や POAG 患者に高頻度に出現する後天性色覚異常であり, それは青錐体系細胞が受容した青感度系の視覚情報伝達を司る網膜神経節細胞の P 細胞のサブタイプが眼圧上昇に対し脆弱であるためと理解されている⁴⁾⁵⁾。しかしながら, 病理組織学的検討によれば, 短波長域に分光特性を持つ青錐体系細胞の分布は黄斑部中心窩から 0.75°~1.5° の傍中心窩領域に最も高密度に分布し, 周辺網膜ではその細胞密度は減少することが知られている^{18)~20)}。本研究では, 緑内障における青感度障害と視神経乳頭形状変化との関係を厳密に評価する目的で, SWAP の黄斑プログラムを採用し, HRT による視神経乳頭形状解析は乳頭黄斑線維束を中

心とした耳側 60° に範囲を設定して検討を行った。

本研究において採用した 10 項目の乳頭トポグラフィック・パラメータは乳頭のセクター分割でも正常眼と緑内障との間で有意差を示す鋭敏なパラメータであるが¹⁰⁾, 本研究結果で 3 群間にいずれも有意差がなかったことは, POAG 群が極めて早期の症例のみを採用したためと考えられる。しかしながら, 乳頭耳側の形状変化に統計学的有意差はなく, 黄斑部における B on Y と W on W の感度がともに, 早期 POAG 群は正常群と比較し有意な感度閾値の低下を示した結果は, B on Y と W on W の MS 値が眼圧上昇による乳頭黄斑線維を含めたびまん性の網膜神経線維の機能障害を鋭敏に検出可能で

あることを意味している。

さらに、乳頭耳側のトポグラフィック・パラメータとの相関では、W on W の MS 値では何ら相関はなく、B on Y の MS 値は早期 POAG 群において 4 項目のトポグラフィック・パラメータと有意な相関があった本研究結果は、B on Y による黄斑部青錐体感度閾値は乳頭耳側の形状変化を反映することを推定するとともに、眼圧上昇により生ずる乳頭黄斑線維を含めたびまん性網膜神経線維層障害は青錐体感度障害と有意に相関を持つとする過去の報告²¹⁾²²⁾を支持するものである。また、本研究結果は、3 群間の乳頭トポグラフィック・パラメータに何ら有意差がないことから、MD 値が -5 dB 以上の早期緑内障において視神経の形態学的変化出現以前に B on Y は W on W よりも鋭敏に黄斑部領域での視機能障害を検出し得ることを推定している。

本研究結果は、HFA の黄斑プログラムの SWAP は、従来の W on W より早期に眼圧上昇に伴う黄斑部視機能障害を検出し得る可能性を持つことを示し得た。今後、SWAP は緑内障早期発見の診断法の一つとして、その普及が期待できると考えられた。

稿を終えるに当たり、ご校閲頂きました日本大学医学部眼科学教室澤 充教授に深謝いたします。

文 献

- 1) **Lakowski R, Drance SM** : Acquired dyschromatopsias, the earliest functional losses in glaucoma. *Doc Ophthalmol Pro Ser* 19 : 159—1652, 1979.
- 2) **Drance SM, Lakowski R, Schulzer M, Douglas GR** : Acquired color vision changes in glaucoma. Use of 100 hue test and Pickford anomaloscope as predictors of glaucomatous field change. *Arch Ophthalmol* 99 : 829—831, 1981.
- 3) **Wald G** : The receptors of human color vision. *Science* 145 : 1007—1016, 1964.
- 4) **Yamazaki Y, Drance SM, Lakowski R, Schulzer M** : Correlation between color vision and highest intraocular pressure in glaucoma patients. *Am J Ophthalmol* 106 : 397—399, 1988.
- 5) **Yamazaki Y, Lakowski R, Drance SM** : A comparison of the blue color mechanism in high- and low-tension glaucoma. *Ophthalmology* 96 : 12—15, 1989.
- 6) **Glovinsky Y, Quigley HA, Dunkelberger GR** : Retinal ganglion cell loss is size dependent in experimental glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 32 : 484—491, 1991.
- 7) **de Monasterio FM** : Asymmetry of on- and off-pathways of blue-sensitive cones of the retina of macaques. *Brain Res* 166 : 39—49, 1979.
- 8) **Sample PA, Weinreb RN** : Color perimetry for assessment of primary open-angle glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 31 : 1869—1875, 1990.
- 9) **Johnson CA, Adams AJ, Casson EJ, Brandt JD** : Blue-on-yellow perimetry can predict the development of glaucomatous visual field loss. *Arch Ophthalmol* 111 : 645—650, 1993.
- 10) **Lester M, Swindale NV, Mikelberg FS** : Sector-based analysis of optic nerve head shape parameters and visual field indices in healthy and glaucomatous eyes. *J Glaucoma* 6 : 371—376, 1997.
- 11) **辻 典明, 山崎芳夫** : 緑内障における短波長感度錐体視野と視神経乳頭陥凹との相関. *臨眼* 53 : 667—670, 1999.
- 12) **Wirtscheffter JD, Becker WL, Howe JB, Younge BR** : Glaucoma visual field analysis by computed profile of nerve fiber function in optic disc sectors. *Ophthalmology* 89 : 255—267, 1982.
- 13) **Wyszecki G, Stiles WS** : Factors in the eye that control the internal stimulus. In : Wyszecki G, et al (Eds) : *Color science, concepts and methods, quantitative data and formulae*. 2nd ed, John Wiley & Sons, Baltimore, 95—116, 1982.
- 14) **川端秀仁, 藤本尚也, 安達恵美子** : 近視眼網膜感度の blue on yellow perimetry による検討. *日眼会誌* 101 : 648—655, 1997.
- 15) **高橋現一郎, 青木容子, 北原健二** : 正常者における blue-on-yellow perimetry の短期変動. *日眼会誌* 103 : 108—111, 1999.
- 16) **Sample PA, Martinez GA, Weinreb RN** : Short-wavelength automated perimetry without lens density testing. *Am J Ophthalmol* 118 : 632—641, 1994.
- 17) **Sample PA, Esterson FD, Weinreb RN, Boyton RM** : The aging lens. *In vivo* assessment of light absorption in 84 human eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 29 : 1306—1311, 1988.
- 18) **de Monasterio FM, McCrane EP, Newlander JK, Schein SJ** : Density profile of blue-sensitive cones along the horizontal meridian of macaque retina. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 26 : 289—302, 1985.
- 19) **de Monasterio FM, Schein SJ, McCrane EP** : Staining of blue-sensitive cones of the macaque retina by a fluorescent dye. *Science* 213 : 1278—1281, 1981.
- 20) **Marc RE, Sperling HG** : Chromatic organization of primate cones. *Science* 196 : 454—456, 1977.
- 21) **Airaksinen PJ, Lakowski R, Drance SM, Price M** : Color vision and retinal nerve fiber layer in early glaucoma. *Am J Ophthalmol* 101 : 208—213, 1986.
- 22) **Polo V, Larrosa JM, Pablo LE, Pinilla I, Honrubia FM** : Correlation of functional and structural measurements in eyes suspected of having glaucoma. *J Glaucoma* 8 : 172—176, 1999.