

高眼圧症における Blue on Yellow 視野計での網膜感度分布

前田 秀高, 田中 佳秋, 杉浦 寅男, 中村 誠, 山本 節

神戸大学医学部眼科学教室

要 約

高輝度の黄色光背景野に短波長の青色検査光による指標を用いて、網膜感度測定を行う Blue on Yellow (以下、B/Y) 視野計を高眼圧症眼を対象に視野測定を行い、その感度分布について検討した。対象は、正常眼 20 例 20 眼および高眼圧症例 22 例 22 眼。方法は、Humphrey 自動視野計 (モデル 640) を用いて、通常の明度識別視野計である White on White (以下、W/W) 視野計により中心部視野を測定した後、1 週間以内に B/Y による測定を行った。その結果、W/W で測定した場合、正常群と高眼

圧症群との感度差はほとんどなかったが、B/Y を用いて測定した場合、高眼圧症群は正常群に比べて中心部で 2.5 dB のびまん性感度低下を認めた。高眼圧に対して、青錐体を主とする青黄信号伝達系が脆弱である可能性が推測された。(日眼会誌 102:111—116, 1998)

キーワード: Blue on Yellow 視野計, 明度識別視野計, 高眼圧症, 青錐体

Distribution of Retinal Sensitivity with Blue on Yellow Perimetry in Ocular Hypertension

Hidetaka Maeda, Yoshiaki Tanaka, Torao Sugiura, Makoto Nakamura and Misao Yamamoto

Department of Ophthalmology, Kobe University School of Medicine

Abstract

We evaluated the visual field pattern with Blue-on-Yellow perimetry in 22 eyes of 22 persons with ocular hypertension. Another series of 20 normal eyes served as controls. All the subjects underwent central field perimetry with a Humphrey automated perimeter (Model 640) using White-on-White targets. Blue-on-Yellow perimetry was performed within one week later. Both groups showed no difference in White-on-White perimetry, but the ocular hypertensive group showed a diffuse reduction in central sensitivity to

Blue-on-Yellow perimetry by an average of 2.5 dB compared with the controls. These findings show the possibility that ocular hypertension causes fragility of the blue-yellow transmission system including the blue cones. (J Jpn Ophthalmol Soc 102:111—116, 1998)

Key words: Blue-on-Yellow perimetry, White-on-White perimetry, Ocular hypertension, Blue cone

I 緒 言

緑内障患者に後天性色覚異常、特に青黄異常が出現することは古くから報告されている。また、色相配列検査や選択の色順応法による分光感度測定や種々の電気生理学的手法により、早期緑内障においては、青黄チャンネルに対応する視神経経路を主体とする青錐体系反応の易障害性¹⁾が報告されている。近年、緑内障の早期視野異常を捕えることを目的として、青錐体系反応の感度測定を試みた Blue on Yellow (以下、B/Y) 視野計²⁾が考案され試用されている。これは、高輝度の黄色背景野に短波長の青色検査光による指標を投影して視野測定を行うもので、通常

の白色背景野に白色の指標を用いて行う明度識別視野計である White on White (以下、W/W) 計測に比べて緑内障視野異常の検出率が高い^{3,4)}とする報告が多い。しかし、正常眼における感度分布をはじめとして高眼圧症や緑内障眼における網膜感度分布および視野パターンについての報告は少なく、未だ一定の見解はない。今回我々は、正常眼および高眼圧症眼を対象に、W/W と B/Y を用いて中心部視野を測定し、B/Y における網膜感度分布および視野特性について W/W との比較から、その有用性について検討したので報告する。

別刷請求先: 650 兵庫県神戸市中央区楠町 7-5-2 神戸大学医学部眼科学教室 前田 秀高
(平成 8 年 10 月 17 日受付, 平成 9 年 9 月 11 日改訂受理)

Reprint requests to: Hidetaka Maeda, M.D. Department of Ophthalmology, Kobe University School of Medicine, 7-5-2 Kusunoki-cho, Chuo-ku, Kobe-shi, Hyogo-ken 650, Japan

(Received October 17, 1996 and accepted in revised form September 11, 1997)

Ⅱ 対象および方法

1. 対 象

対象は、当科緑内障外来で無治療で経過観察を行っており、本研究にインフォームド・コンセントの得られた高眼圧症例 22 例 22 眼および正常ボランティア 20 例 20 眼である。正常対照群は、軽度の屈折異常以外に眼科的異常を認めない健常成人とした。高眼圧症群は、現在無治療で経過観察中で、経過期間中に眼圧が 1 回以上 21 mmHg を越え、検眼鏡的に視神経乳頭に異常を認めず、明らかな乳頭陥凹拡大や視神経線維欠損を認めず、通常の明度識別視野計で異常点を認めないものとした。また、視神経乳頭の形成不全があるものや傾斜乳頭を呈する症例も対象から除外した。対象は、屈折率が $-4\text{ D} \sim +3\text{ D}$ の範囲で矯正視力 1.0 以上のものに限定した。中間透光体の混濁や加齢変化による青錐体系反応の低下による視野への影響を除外するために対象年齢を 20 歳以上 50 歳未満とし、両群における年齢分布をマッチングさせた。両群の年齢分布を図 1 に、両群の臨床背景を表 1 に示す。

2. 測定方法

方法は、被検者に測定の主旨を十分説明したうえで、W/W あるいは B/Y を用いて中心部視野の測定を行った。また、B/Y は測定前に約 10 分間の明順応を行ったのち測定を行った。グリッドパターンは中心 30-2 プログラムを用い、中心 30 度内の精密閾値測定を行った。視野計測機器には Humphrey field analyzer (モデル 640) (Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) を用いた。それぞれの使用条件は表 2 に示すように、W/W では従来の白色背景野に白色の指標を使用し、背景輝度に $31.5(\text{asb})$ 、刺激サイズは Goldmann のサイズ III (4 mm^2) を用いた。B/Y では、刺激色に短波長の青 (440 nm) を、背景色には黄色 (530 nm) を、背景輝度には高輝度の $100(\text{cd}/\text{m}^2)$ を、刺激サイズには Sample ら²⁾の報告に基づいて Goldmann のサイズ V (64 mm^2) を用いて行った。両者とも視標提示時

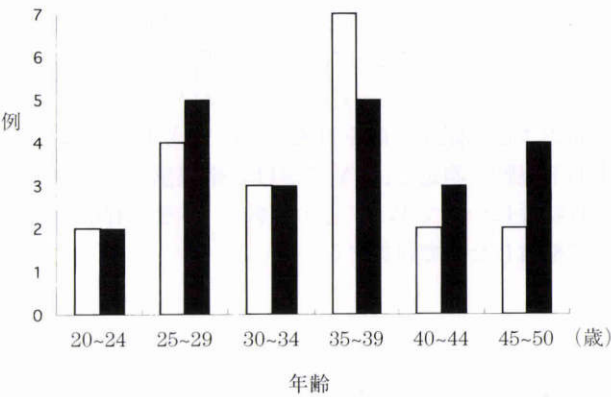


図 1 両群の年齢分布。

正常群および高眼圧症群の各群の年齢分布には有意差はなかった。

□：正常群 ■：高眼圧症群

表 1 両群の臨床的背景

	正常群	高眼圧症群	P 値
症例数(例)	20	22	
平均年齢(歳)	35.5 ± 7.3	38.9 ± 9.7	0.12
屈折度(D)	-1.89 ± 1.25	-20.3 ± 0.96	0.28
眼圧(mmHg)	15.6 ± 1.83	20.3 ± 2.24	0.01

表 2 White on White(W/W)および Blue on Yellow(B/Y)perimetry の測定条件

	W/W	B/Y
刺激色	White	Blue (440 nm) filter
背景色	White	Yellow (530 nm) filter
背景輝度	31.5 (asb)	100 (cd/m ²)
刺激サイズ (Goldmann)	III (4 mm ²)	V (64 mm ²)

間は 200 msec とした。また、B/Y 視野計では背景輝度が $100\text{ cd}/\text{m}^2$ のもとで青色刺激光の強度が 65 asb を認識できる感度を 0 dB と設定して感度測定を行った。測定は、同一検者が同一時間帯に同一機器を用いて行った。視野計による両測定の間隔期間は 1 週間以内とし、検査の順序はランダムに行った。また、いずれの検査も初回の結果は除外し、2 回目以降の検査で、偽陽性、偽陰性、固視不良が 15% 以内で結果の信頼度の高いものを 2 回分合計し、その平均値を算出し測定値とした。

3. 解析方法

視野解析法については、既報⁵⁾に従い乳頭辺縁領域を網膜視神経線維の走行を考慮し、図 2 のように 7 つの領域、すなわち、上下それぞれの F 1, F 2, F 3 領域と黄斑部線維領域に相当する M 領域に分割した。視野測定結果についても、同様に網膜視神経線維の走行を考慮して上下それぞれに対応する 7 領域に分割し、各領域ごとの網膜感度の合計値を算出した。各領域ごとの網膜感度の合計値を測定点数で除し、各測定領域における平均感度を算出し統計学的に検討した(表 3, 4)。これを基に、両群の各領域における平均網膜感度値をプロットした(図 3, 4)。また、高眼圧症眼と正常対照群との間に各測定方法でどの程度感度の変化があるのかを調べるために、両測定法で各領域ごとに正常群の平均感度を 1 とした時の高眼圧症群の平均網膜感度の相対値を算出し、相対網膜視感度 (κ) としてパーセント表示で算出した。 κ の算出方法は、正常群および高眼圧症群の各群で(各領域の B/Y の平均網膜感度 ÷ 各領域の W/W の平均網膜感度)を算出し、各領域について相対値を算出したもので、結果を表 5 に示した。統計には Student-t 検定を用い、両側 5% を有意水準として両群の相違につき検定を行った。また、中心部から上下方向に周辺側に及ぶ感度の変化率の概略を調べるため、図 2, 3 に鼻側視野に相当する F 3 領域を除く中心感度(F), M, F 1, F 2 領域の網膜感度の平均値をプロットしグラフにした。

視神経乳頭

対応する視野

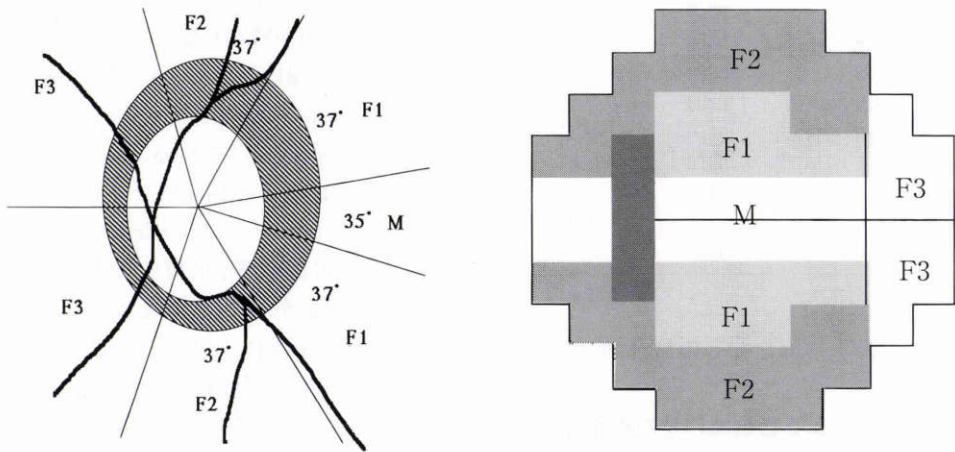


図 2 視野領域の分割(左眼).

乳頭辺縁領域を網膜視神経線維の走行を考慮し、F 1、F 2、F 3 領域と黄斑部線維領域に相当する M 領域に分割した。視野測定結果についても同様に上下それぞれに対応する 7 領域に分割した。

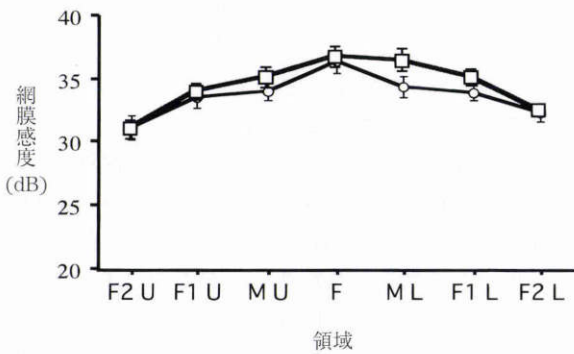


図 3 Blue on Yellow 視野計における正常群および高眼圧症群の各領域の網膜感度分布。
F：中心感度、M:M 領域、F1:F1 領域、F2:F2 領域で示し、それぞれ上方：U、下方：L で示す。
□：正常群 ○：高眼圧症群

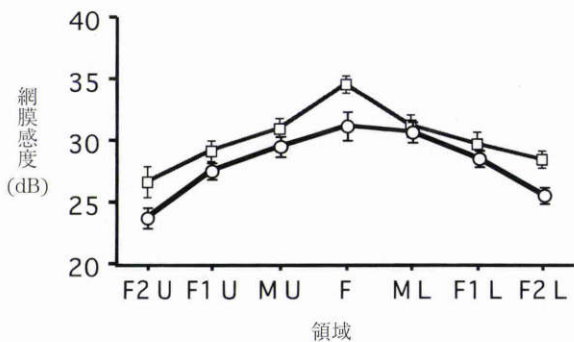


図 4 White on White 視野計における正常群および高眼圧症群の各領域の網膜感度分布。
F：中心感度、M:M 領域、F1:F1 領域、F2:F2 領域で示し、それぞれ上方：U、下方：L で示す。
□：正常群 ○：高眼圧症群

表 3 W/W における各領域の平均網膜感度 (dB)

		正常群	高眼圧症群	P 値
中心感度		36.7±1.2	36.1±1.7	0.11
M 領域	上	34.9±1.4	34.1±1.4	0.30
	下	36.1±1.7	34.4±1.5	0.08
F1 領域	上	34.0±1.4	33.6±1.6	0.43
	下	35.0±1.3	33.9±1.1	0.15
F2 領域	上	31.2±2.0	30.8±1.9	0.47
	下	32.1±1.5	31.9±1.6	0.33
F3 領域	上	32.5±1.6	32.6±1.8	0.42
	下	33.6±1.6	32.8±1.6	0.16

平均値±標準偏差

表 4 B/Y における各領域の平均網膜感度 (dB)

		正常群	高眼圧症群	P 値
中心感度		33.6±1.5	31.1±1.7	0.12
M 領域	上	31.6±1.8	30.0±1.8	0.07
	下	32.0±1.7	30.9±1.5	0.19
F1 領域	上	30.7±1.5	28.4±1.2	0.05*
	下	29.9±1.7	29.2±1.9	0.20
F2 領域	上	25.5±2.3	23.8±2.0	0.05*
	下	27.9±1.6	26.3±1.7	0.05*
F3 領域	上	29.8±1.6	27.4±2.0	0.13
	下	29.0±1.7	27.2±1.9	0.10

平均値±標準偏差

III 結 果

1. 両群の臨床背景

臨床背景は正常群と高眼圧症群の間には年齢、屈折に統計学的な有意差はなく、比較に適当な 2 群と考えられた。また、眼圧は高眼圧症群では正常群に比し有意に高値を示した(p=0.01)。なお、平均眼圧が 20.8 mmHg であったのは複数回(計 3 回)の眼圧測定の平均値であったこと

表 5 両群における各領域の相対網膜視感度(κ)(%)

		W/W (%)	B/Y (%)	P 値
中心感度		98.7	92.6	0.01*
M 領域	上	97.8	94.9	0.02*
	下	95.3	96.6	0.05*
F1 領域	上	98.8	92.5	0.01*
	下	96.9	97.6	0.17
F2 領域	上	98.7	93.3	0.01*
	下	99.3	94.3	0.01*
F3 領域	上	101.0	92.0	0.01*
	下	97.6	93.8	0.05*

*: 有意差あり

から、1 回でも 21 mmHg 以上示したものを高眼圧症としたためである。

2. 両群における W/W による各領域の平均網膜感度

W/W により測定した正常群および高眼圧症における各領域の平均網膜感度の結果を表 3 に、これをプロットしたものを図 3 に示す。これから、明度識別視野計である W/W では、正常群および高眼圧症群の間には全領域において統計学的な有意な感度差を認めなかった。また、W/W を用いた場合の正常眼および高眼圧症眼の全症例において全測定点で、スタットバック 2 を用いた解析結果では、total deviation (TD) の確率シンボルが年齢別正常値との間に異常点を認めなかった。

3. 両群における B/Y による各領域の平均網膜感度

B/Y により測定した正常群および高眼圧症群における各領域の平均網膜感度の結果を表 4 に、これをプロットしたものを図 4 に示す。これから、正常眼と高眼圧症群の間には、M、F1 L、F3 領域では感度に統計学的な有意差はなかったが、F1 U および F2 領域では統計学的に有意な感度差を認めた。

4. W/W および B/Y における相対網膜視感度(κ)の比較

W/W および B/Y の各測定方法で、各領域ごとに高眼圧症眼の正常眼に対する相対値(κ)を算出した。これから、B/Y は W/W と比較して F1 L を除く全領域で有意に相対値が低かった。

IV 考 按

緑内障における視神経の障害機構を巡っては血管障害説⁶⁾や機械障害説⁷⁾など、過去から多くの議論が繰り返されているが、未だ定説はない。臨床的には、緑内障診断は眼圧値、神経乳頭所見とともに視野測定結果が診断に占める割合は高く、視野測定による閾値感度測定は診断および経過観察において必要不可欠である。しかし、Quigley ら⁸⁾によれば、緑内障では自動視野計で中心 30 度内に 10 dB の感度低下があれば 40%、5 dB の感度低下があれば 20% の視神経線維が障害されていると報告している。すなわち、現在臨床で用いられている視野測定システムでは、神経節細胞とその軸索である視神経線維が

ある一定の割合(20%)以上障害されないと、静的視野には異常が起これないと考えられている。したがって、緑内障の視野異常をより早期に正確に捕えることが可能な測定機器の開発が望まれてきた。

従来から、緑内障眼では色相配列検査や選択の色順応法⁹⁾による種々の分光感度測定により、青錐体系反応の易障害性¹⁰⁾が指摘されている。青錐体をはじめとする色覚情報伝達は、明るさ感覚のチャンネル(luminance channel)と色感覚のチャンネル(chromatic channel)に大別され、近年の電気生理学的研究によれば、luminance チャンネルは受容野が広く、大きな包体径を持つ Y 細胞を介して中枢へ伝達され、一方 chromatic チャンネルは受容野と包体が小さく細い軸索を持つ X 細胞系を介して中枢へ伝達される¹¹⁾と考えられている。横山¹²⁾は錐体系の網膜電図(ERG)反応およびスペクトル感度測定を行い、青錐体が緑内障の早期に侵されると報告し、その原因は青錐体系の脆弱性にあると推論している。また、阿部ら¹³⁾は緑内障ではその極早期において、X 細胞系の 1 つである青錐体系が最も障害されやすく、その後に Y 細胞系の障害が起こると報告している。以上の報告から、近年、緑内障や高眼圧症では青錐体系反応が最も早期に異常が生ずるのではないかと推測されている。

B/Y 視野計は高輝度の黄色背景野に大型指標として短波長の青色刺激光を投影することにより、赤、緑錐体や杆体系反応と分離して、青錐体反応のみを検出する¹⁴⁾ことを目的として開発された新しい視野測定法である。この原理を従来の視野計に取り入れることにより、視細胞層に存在する青錐体から視神経経路に伝達される錐体系反応を測定し、その網膜感度測定を試みたものである。これにより、従来の分光感度検査や色覚検査に比し、再現性や定量性が格段に向上し、錐体機能の変化やその動態をより客観的に評価することが可能¹⁵⁾と考えられている。

そこで今回、我々は青錐体系の感度低下を検出し得るとされる B/Y 視野計を用いて、高眼圧症におけるその挙動について検討した。まず、従来から臨床に頻用されており、信頼性も確立されている W/W を用いた場合の網膜感度分布を測定し、各領域ごとの平均値を算出した。その結果、正常群、高眼圧症群とも全領域において両群の間に有意な感度差は認められなかった。W/W を用いた正常人の網膜感度分布については、以前 Iwase ら¹⁶⁾も報告しているが、我々の結果もほぼこれに準じた結果となった。一部、F2 領域で上方領域が下方領域の感度に比べ低下していたのは、一部に眼瞼の影響を受け上方感度が低下した例が存在したものと推測された。一方、W/W で測定した場合、正常群と高眼圧症群との感度差は殆どなかったが、B/Y を用いて測定した場合、高眼圧症群は正常群に比べて中心部で 2.5 dB のびまん性感度低下を認めた。William ら¹⁷⁾は B/Y を用いた場合、高眼圧症群では正常群に比しびまん性の感度低下を認めたと報告しており、

今回の我々の結果もそれと一致する。

今回の研究から、高眼圧症を対象に閾値測定を行った場合、W/W では正常コントロールとの間に感度差がほとんどなかったにもかかわらず、B/Y では正常コントロールに比較して diffuse な感度低下が認められことが示された。この理由としては、以下が考えられた。1つは、高眼圧状態が持続することにより、青錐体系反応が障害を受けている可能性である。この青錐体細胞の脆弱性については、解剖学的に網膜内色受容体である錐体の分布は、赤錐体：緑錐体：青錐体=32:16:1と青錐体の数は極めて少なく、青錐体のスペクトル感度領域は赤、緑錐体のスペクトル感度領域とは離れており、補い合うことができないため、高眼圧に対し青黄信号伝達系が極めて脆弱性を有している¹⁾可能性が報告されていることから否定できないと考えられる。2つ目は視野で感度低下を示した部位に将来緑内障性変化を生ずることを予測する指標になり得る可能性が考えられた。これを支持する報告として、Johnson¹⁵⁾らは高眼圧症から緑内障を発症した患者のうち、5年以内に緑内障に移行する可能性を示唆する B/Y の sensitivity は 100 %、specificity は 94 %であったと報告している。さらに、高眼圧症における B/Y の W/W に対するびまん性の相対感度低下⁴⁾も、高眼圧状態の青錐体系の影響を支持する。

また、高眼圧症眼では、B/Y では W/W の場合と比較して、F2 領域(特に上方)では M、F1 領域に比べて感度差が大きい傾向があった。この理由として、B/Y では易疲労性によって眼瞼などの影響を受けやすいことや周辺部に存在する杆体系反応と錐体系反応が十分分離されていない可能性があり、視野結果に影響を与えたことなどが考えられた。しかし、F2 領域に B/Y で W/W に比較しての相対的網膜感度低下を認めた場合、それが病的なものか、正常誤差の範囲内のものかの判定は診断上非常に重要であり、F2 領域での感度低下の判定には、対応する乳頭所見の有無を鑑別し診断を行う必要がある。以上の結果から、現在の設定条件下で B/Y を用いる場合、中心 30 度の視野では周辺部感度低下を認めた場合、それが病的なものかどうか判定が困難であり、Sample ら¹⁸⁾が報告したようにグリッドパターンを中心 24 度以内にして視野測定を行った方が、眼瞼や中間透光体などの影響を受けにくく、これを臨床に用いた方が良いと推測された。

また、現在 Humphrey 自動視野計にオプション付属の B/Y では、背景輝度に 100 cd/m² が用いられているが、de Jong ら¹⁹⁾によれば、正常眼では短波長錐体は瞳孔径 3 mm の時、140 cd/m² で最も分離されるが、杆体は 120~300 cd/m² で最も抑制されると報告しており、錐体系反応と杆体系反応を十分分離し、錐体系反応を鋭敏に捕えるためには背景輝度などの再検討も必要と思われた。また、Sample ら²⁰⁾は 10 例の正常者を対象に B/Y の正常者の網膜感度分布を報告しているが、我々の結果は、これに

比し全測定点においてやや感度が良好であった。これは彼らの対象年齢が 54~68 歳と高齢であり、神経節細胞の加齢性変化の影響が視野に影響した可能性があることと背景輝度が 80.9 cd/m² とやや低輝度であったため、網膜感度が我々の結果よりも低く提示されたためと考えられた。

今回の使用経験から、Blue on Yellow perimetry の利点、欠点についても検討した。利点としては、従来の分光感度検査や色覚検査に比し、再現性や定量性が格段に向上し、錐体機能の変化やその動態をより客観的に評価することが可能であること、従来の白色背景視野計では検出し得なかった視野異常を明らかにできる可能性があること、などがあげられる。一方、問題点としては、高輝度背景野での検査による被検者の疲労が大きく、検査にかなりの慣れを必要とすることがある。また、B/Y による感度測定は錐体の解剖学的特性上、固視点近傍の感度は良好に描出し得るが、中心外部位では杆体系反応が関与している可能性があり、錐体と杆体系反応が完全に分離されているのか不明²¹⁾な点があること、中間透光体の混濁や加齢によっても青錐体系反応が低下し、これが視野結果に及ぼす影響も考慮しなければならないことにより、現段階では対象がかなり限定されること、があげられる。また、W/W では視野解析のためのグローバルインデックスが用意されているが、B/Y では正常者の網膜感度曲線が未だ確立されていないため、これらを用いることができないなど、臨床応用に際しては未だ解明すべき点も多いが、早期に視野異常を検出し得る能力を有する Blue on Yellow perimetry は次世代の視野計として期待でき、将来的にさらなる研究が望まれる。

本論文の要旨は第 100 回日本眼科学会総会で発表した。

文 献

- 1) Sample PA, Weinreb RN, Boynton RM: Acquired by dyschromatopsia in glaucoma. *Surv Ophthalmol* 31: 54—64, 1986.
- 2) Sample PA, Weinreb RN: Color perimetry for assessment of primary open-angle glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 31: 1869—1875, 1990.
- 3) Johnson CA, Adams AJ, Casson EJ, Brandt JD: Progression of early glaucomatous visual field loss as detected by blue-on-yellow and standard white-on-white automated perimetry. *Arch Ophthalmol* 111: 651—656, 1993.
- 4) Heron G, Adams AJ, Husted R: Central visual fields for short-wavelength sensitive pathways in glaucoma and ocular hypertension. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 29: 64—72, 1988.
- 5) 伊藤美樹: 緑内障眼視神経乳頭の色調解析. *日眼会誌* 97: 390—395, 1993.
- 6) Quigley HA, Addicks EM: Regional differences in the structure of the lamina cribrosa and their rela-

- tion to glaucomatous optic damage. *Arch Ophthalmol* 99: 137—143, 1981.
- 7) **Radius RL**: Regional specificity in anatomy at the lamina cribrosa. *Arch Ophthalmol* 99: 478—480, 1981.
- 8) **Quigley HA, Addicks EM, Green WR**: Optic nerve damage in human glaucoma. III Quantitative correlation of nerve fiber loss and visual field defect in glaucoma, ischemic neuropathy, papilledema, and toxic neuropathy. *Arch Ophthalmol* 100: 135—146, 1982.
- 9) **Drance SM, Lakowski R, Shulzer 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.
- 10) **Lachenmayr BJ, Drance SM, Douglas GR and Mikelberg FS**: Light-sense, flicker and resolution perimetry in glaucoma: A comparative study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 229: 246—251, 1991.
- 11) **de Monasterio FM**: Asymmetry of on- and off-pathways of blue-sensitive cones of the retina of macaques. *Brain Res* 166: 39—48, 1979.
- 12) **横山 実**: 眼病と青の感覚. *臨眼* 33: 111—114, 1979.
- 13) **阿部春樹, 坂井豊明, 山崎芳夫**: 平面色光視野計により分離される青・緑・赤錐体系の眼底疾患における選択的障害・第2報緑内障内障眼における検討. *日眼会誌* 87: 950—957, 1983.
- 14) **Felius J, de Jong LAMS, van den Berg JTP, Greve EL**: Functional characteristics of blue-on-yellow perimetric thresholds in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 36: 1665—1674, 1995.
- 15) **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—652, 1993.
- 16) **Iwase A, Kitazawa Y, Ohno Y**: On age-related norms of the visual field. *Jpn J Ophthalmol* 32: 429—37, 1988.
- 17) **William MH, Scott ES, Gary LT, Ronit N, Mae OG**: Glaucomatous visual field damage luminance and color-contrast sensitivities. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 31: 359—367, 1990.
- 18) **Sample PA, James DNT, Genaro AM, Weinreb RN**: Short-wavelength color visual field in glaucoma suspects at risk. *Am J Ophthalmol* 115: 225—233, 1993.
- 19) **de Jong LAMS, Snepvangers CEJ, van den Berg JTP, Langerhorst CT**: Blue-yellow perimetry in the detection of early glaucomatous damage. *Doc Ophthalmol* 45: 303—314, 1990.
- 20) **Sample PA, Weinreb RN**: Color perimetry for assessment of primary open-angle glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 31: 1869—1875, 1990.
- 21) **Hudson C, Wild JM, Archer-Hall J**: Maximizing the dynamic range of the Humphrey Field Analyzer for blue-on-yellow perimetry. *Ophthalmol Physiol Opt* 13: 405—408, 1993.