

原発開放隅角緑内障と正常眼圧緑内障における frequency doubling technology の異常検出感度の比較

堀越 紀子¹⁾, 尾谷 雅博¹⁾, 田村 陽子¹⁾, 岡野 正¹⁾, 臼井 正彦²⁾

¹⁾東京医科大学霞ヶ浦病院眼科, ²⁾東京医科大学眼科学教室

要 約

目 的 : Frequency doubling technology (FDT) を用いて原発開放隅角緑内障 (POAG) と正常眼圧緑内障 (NTG) における異常検出感度を比較した。

対象と方法 : 対象は, POAG 患者 29 例 29 眼, NTG 患者 27 例 27 眼で, 平均年齢, Humphrey 視野計 (HFA) の mean deviation (MD), pattern standard deviation (PSD) には両群間に差がなかった。適切な遠見矯正レンズを用いて全例に FDT の C-20 プログラムを施行した。

結 果 : FDT と HFA における MD の相関関係は, POAG 群が $y=0.60x-2.7$ ($r=0.78$, $p<0.01$), NTG 群が $y=0.59x+0.6$ ($r=0.81$, $p<0.001$) となった。FDT の視野指標の比較では, POAG 群の MD が NTG 群に比べ有意に低下していたが ($p<0.05$), PSD に差がなかった。早期緑内障例 ($MD \geq -5$ dB) で HFA と FDT の MD

の有意水準を比較すると, POAG 群では NTG 群に比べ FDT の有意水準が HFA より低くなる症例の割合が多かった ($p<0.02$)。FDT の耳側周辺部の測定点では, POAG の平均網膜感度が NTG に比べ有意に低下している測定点が多かったが, HFA では全測定点の平均網膜感度に差がなかった。

結 論 : FDT では NTG に比べ POAG の異常をより鋭敏に検出していた。これにより My 細胞の障害の程度が NTG と POAG で異なることが示された。(日眼会誌 105 : 244—250, 2001)

キーワード : Humphrey 自動視野計, Frequency doubling technology, 正常眼圧緑内障, 原発開放隅角緑内障, My 細胞

Comparison of Detectability of Visual Field Abnormality by Frequency Doubling Technology in Primary Open-angle Glaucoma and Normal-tension Glaucoma

Noriko Horikoshi¹⁾, Masahiro Osako¹⁾, Yoko Tamura¹⁾,
Tadashi Okano¹⁾ and Masahiko Usui²⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, Kasumigaura Hospital, Tokyo Medical University

²⁾Department of Ophthalmology, Tokyo Medical University

Abstract

Purpose : To compare the effectiveness of frequency doubling technology (FDT) in detecting abnormalities in primary open-angle glaucoma (POAG) and normal-tension glaucoma (NTG).

Subjects and Methods : Twenty-nine POAG patients (29 eyes) and 27 NTG patients (27 eyes) were studied. All subjects underwent testing with program C-20 of FDT with appropriate corrective lenses.

Results : No significant differences were observed between the two groups in mean age, mean deviation (MD), and pattern standard deviation (PSD) measured by the Humphrey Field Analyzer (HFA). The correlation between MD values determined by HFA (x) and FDT (y) is represented by $y=0.60x-2.7$ ($r=0.78$, $p<0.01$) in the POAG group and $y=0.59x+0.6$ ($r=0.81$, $p<0.001$) in the NTG group. No significant difference was found in the average PSD between the two groups. In early glaucoma

cases ($MD \geq -5$ dB by HFA), a larger proportion of cases in the POAG group than the NTG group had a lower significance level of MD determined by FDT than by HFA ($p<0.02$). At many test points on the temporal periphery in FDT the mean sensitivity was lower in the POAG group than in the NTG group; whereas no significant differences among HFA test points were observed.

Conclusions : FDT detected visual field abnormalities in POAG cases more sensitively than in NTG cases. This finding indicates that the pathogenesis of My-cell damage is different in POAG and NTG. (J Jpn Ophthalmol Soc 105 : 244—250, 2001)

Key words : Humphrey Field Analyzer, Frequency doubling technology, Primary-open angle glaucoma, Normal-tension glaucoma, My-cell

別刷請求先 : 160-0023 東京都新宿区西新宿 6—7—1 東京医科大学眼科学教室 尾谷 雅博
(平成 12 年 2 月 7 日受付, 平成 12 年 10 月 3 日改訂受理)

Reprint requests to : Masahiro Osako, M.D. Department of Ophthalmology, Tokyo Medical University. 6-7-1 Nishishinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0023, Japan

(Received February 7, 2000 and accepted in revised form October 3, 2000)

I 緒 言

実験的に起こした緑内障で慢性的に高眼圧が持続すると大きな直径の神経節細胞が優先的に障害されることが報告¹⁾されており、緑内障では magnocellular system (M 細胞系) の障害が早期から起こると考えられている。このような背景から、精神物理学的に早期の緑内障の異常を検出するために神経節細胞の時間周波数特性や空間周波数特性を応用して M 細胞系の障害を検出する研究がなされている²⁾。

Frequency doubling technology (FDT) は、M 細胞系の中でも数が少なく、nonlinear な反応を示す My 細胞の機能異常を選択的に検出する視野計であり³⁾、最近では一般臨床で広く用いられている。Johnson ら⁴⁾は緑内障患者の視野障害レベルを Humphrey (ハンフリー) 視野計 (HFA) の mean deviation (MD) 値で分類した場合、MD > -6 dB の早期緑内障では FDT の感度は 82%、特異度は 95%、-6 dB > MD > -12 dB の中期緑内障および -12 dB > MD > -22 dB の末期緑内障ではそれぞれ 97% の感度が得られたと報告している。尾裕ら⁵⁾も緑内障における FDT の感度は 97.1%、特異度は 95.7% となり、MD が -5 dB 以上の緑内障早期例および -5 dB 未満の緑内障進行例の感度はそれぞれ 96.6、97.4% となったことを報告しており、FDT が緑内障の有用な検査であることがわかる。

原発開放隅角緑内障 (POAG) では高眼圧による視神経の機械的障害が主な病態となるが、正常眼圧緑内障 (NTG) では眼圧以外の因子が関与することが以前から知られている^{6)~9)}。また、POAG と NTG では乳頭所見や視野変化などに相違点があることが数多く報告^{7)10)~18)}されており、POAG と NTG では視神経に対する障害機序が異なることが予想される。

大きな神経節細胞である M 細胞系の障害は眼圧による依存性が強いいため、眼圧が高くない NTG では POAG に比べ M 細胞系の障害の程度に差が生じてくる可能性がある。今回、我々は FDT を用いて NTG と POAG の異常検出感度を比較し、両疾患における My 細胞の障害程度の相違について検討した。

II 実験方法

対象は、POAG 患者 29 例 29 眼 (POAG 群)、NTG 患者 27 例 27 眼 (NTG 群) の合計 56 例 56 眼 [平均年齢: 61.6 ± 11.8 (平均値 $\pm$ 標準偏差) 歳] である。すべての症例は静的視野計測の経験者であり、矯正視力は 1.0 以上、中間透光体には明らかな混濁はなかった。POAG の診断基準は、① 緑内障性視神経萎縮とそれに対応する視野異常があること、② 眼圧が 22 mmHg 以上、③ 開放隅角であること、である。NTG の診断基準は、① POAG 類似の視野欠損と視神経乳頭障害、② 未治療

時および治療時の眼圧が常に 21 mmHg 以下、③ 正常開放隅角、④ 他の原因疾患 (頭蓋内・副鼻腔疾患) のないこと、⑤ 大量出血・ショックの既往がないこと、とした。

表 1 は POAG 群と NTG 群における患者背景を示す。平均年齢、等価球面度数、24-2 プログラムを用いた HFA の MD、pattern standard deviation (PSD) の平均のいずれにおいても両群間に有意差はなかったが、POAG 群の平均眼圧は NTG 群に比べ有意に高かった (t-test, $p < 0.001$)。眼圧は視野検査を行った時点における各群の平均眼圧を比較したものであり、緑内障治療薬が投与されていた症例が含まれている。

FDT の C-20 プログラムをすべての対象に対して行った。FDT の測定では遠見矯正レンズを用い、最初に被験者にデモプログラムをみせて光覚閾値検査との視標の違いを理解してもらってから検査を施行した。測定アルゴリズムには modified binary search (MOBS)¹⁹⁾²⁰⁾を用いて、全測定点の網膜感度を測定した。偽陽性、偽陰性、固視不良のいずれかが 33% 以上のものはあらかじめ対象から除外した。

FDT の C-20 プログラムは、固視点を中心として水平および垂直 20° までの範囲 ($-20^\circ \sim +20^\circ$) を測定するプログラムであり、各象限 4 個、中心 1 個の合計 17 個の測定点から成る。視標サイズは、中心が半径 5° の円、他は固視点から 20° までを 1 辺 10° とした正方形から成る (図 1)。視標内に低空間周波数 (0.25 cycle/degree) の正弦格子縞を高時間周波数 (25 Hz) で振幅させて呈示し、frequency doubling illusion²¹⁾²²⁾ という錯覚 (干渉縞が倍にみえる現象) を応用してコントラスト感度を計測した。

測定結果を基に、HFA と FDT との間における MD および PSD の相関関係を調べ、MD、PSD の平均を POAG 群と NTG 群の 2 群間で比較した。MD は被験者の視野全体で年齢別正常値からの感度低下の平均を求めたものであり、HFA と FDT とともに MD の値が正常母集団からどれくらい偏位しているかを示す有意水準レベ

表 1 対象の背景

	POAG 群 29 例 29 眼	NTG 群 27 例 27 眼	t-test
平均年齢	62.3 ± 10.2 歳	60.8 ± 13.5 歳	$p = 0.64$
屈折異常 (等価球面值)	-0.2 ± 2.0 diopter	-0.7 ± 2.1 diopter	$p = 0.40$
眼圧	18.2 ± 4.2 mmHg	14.8 ± 2.8 mmHg	$p = 0.001$
MD (HFA)	-6.8 ± 6.3 dB	-6.6 ± 4.9 dB	$p = 0.91$
PSD (HFA)	7.1 ± 4.8 dB	7.9 ± 4.1 dB	$p = 0.53$

POAG: 原発開放隅角緑内障, NTG: 正常眼圧緑内障
MD: mean deviation, PSD: pattern standard deviation
HFA: Humphrey field analyzer 平均値 $\pm$ 標準偏差

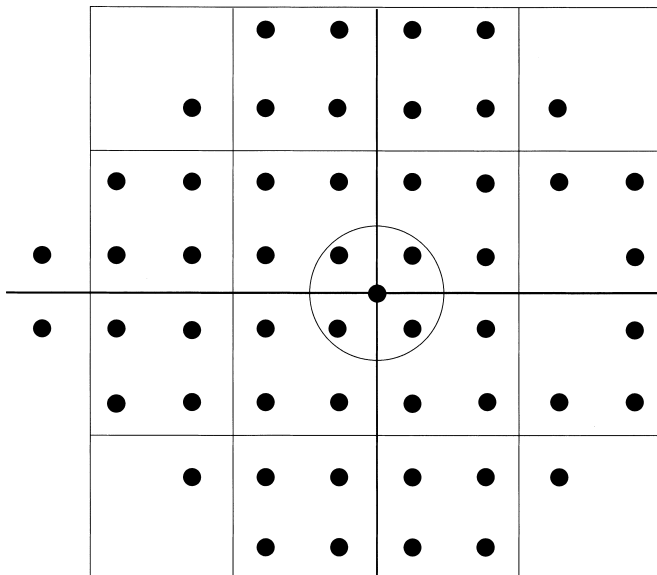


図1 Frequency doubling technology (FDT) と Humphrey 視野計 (HFA) の測定点とその配列。

FDT の C-20 プログラムでは、水平および垂直 20° までの範囲 ($-20^\circ \sim +20^\circ$) を、中心半径 5° の円、他は固視点から 20° までを 1 辺 10° とした正方形から成る視標を呈示する。測定点は中心 1 個、各象限 4 個ずつの合計 17 個から成る。●は HFA の 24-2 プログラムにおける視標呈示部位である (視標サイズ: size III)。図は右眼の視野を示す。

ル (5, 2, 1, 0.5%) が表示される。症例毎に HFA と FDT の MD の有意水準 (p 値) を比べ、どちらの視野計の結果がより正常母集団から離れているかを調べた。

図1は C-20 プログラムの視標に対する 24-2 プログラムの測定点の対応を示すが、HFA と FDT の網膜感度を比較するために C-20 プログラムの各視標内に含まれる HFA の測定点から平均網膜感度を算出した。さらに、C-20 プログラムの視標パターンを基にして各測定点毎に HFA と FDT の平均網膜感度を求め、POAG 群と NTG 群の結果を比較した。左眼の視野はすべて右眼に変換して分析した。

III 結 果

FDT と HFA における MD の相関関係は、POAG 群が $y = 0.60x - 2.7$ ($r = 0.78$, $p < 0.01$)、NTG 群が $y = 0.59x + 0.6$ ($r = 0.81$, $p < 0.001$) となった (図2)。POAG 群と NTG 群の相関関係はほぼ平行となり、FDT の結果では POAG 群の MD が NTG 群より低くなる傾向がみられた。FDT の MD の平均値は、POAG 群で -6.8 ± 4.9 dB、NTG 群で -4.5 ± 3.5 dB となり、NTG 群に比べ POAG 群の MD は有意に低下していた (t-test, $p < 0.05$)。

PSD の相関関係は、POAG 群が $y = 0.31x + 6.0$ ($r = 0.53$, $p < 0.001$)、NTG 群が $y = 0.66x + 2.2$ ($r = 0.86$,

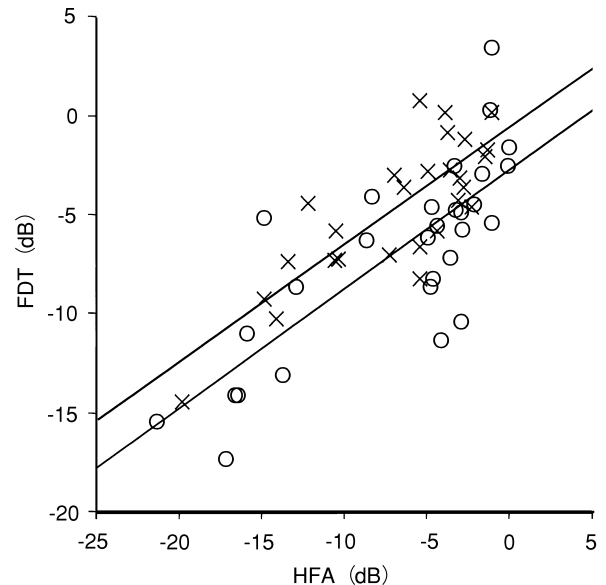


図2 FDT と HFA における mean deviation (MD) の相関関係。

FDT と HFA における MD の相関関係は、原発開放隅角緑内障 (POAG) 群が $y = 0.60x - 2.7$ ($r = 0.78$, $p < 0.01$)、正常眼圧緑内障 (NTG) 群が $y = 0.59x + 0.6$ ($r = 0.81$, $p < 0.001$) となった。HFA の MD を基準とすると、FDT では POAG の MD が NTG より低くなる傾向がみられた。○: POAG, ×: NTG を示す。

$p < 0.001$) となった (図3)。これらの相関関係から HFA の PSD が小さい部位では、FDT の PSD が NTG 群に比べ POAG 群で大きくなる傾向を示した。FDT の PSD の平均値は、POAG 群で 8.2 ± 2.8 dB、NTG 群で 7.4 ± 3.2 dB となり、両群間に有意差はなかった (t-test, $p = 0.36$)。

症例毎に FDT と HFA における MD の有意水準レベルを比較した場合、FDT の有意水準レベルが HFA より低くなった症例は、POAG 群で 10/29 眼 (34.5%)、NTG 群で 5/27 眼 (18.5%)、HFA の有意水準レベルが FDT より低くなった症例は、POAG 群で 4/29 眼 (13.8%)、NTG 群で 8/27 眼 (29.6%)、FDT と HFA の有意水準が同等であった症例は、POAG 群で 15/29 眼 (51.7%)、NTG 群で 14/27 眼 (51.9%) となった (表2)。MD の有意水準を比較した場合の POAG 群と NTG 群における発現率に差がなかった (χ^2 検定, $p = 0.23$)。

各測定点における平均網膜感度を POAG 群と NTG 群で比較すると、HFA ではすべての測定点で 2 群間に有意差がなかったが (図4)、FDT では耳側の周辺部で POAG 群の平均網膜感度が NTG 群に比べ有意に低くなる測定点が多くみられた (図5)。

HFA の MD が -5 dB 以上の早期緑内障例 (POAG 19 眼、NTG 11 眼) での FDT の視野指標の比較を行うと、MD の平均は POAG 群で -4.7 ± 3.6 dB、NTG 群で

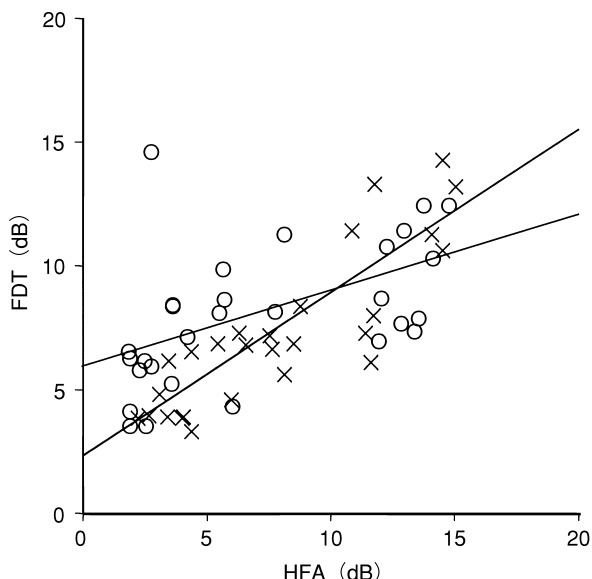


図 3 FDT と HFA における pattern standard deviation (PSD) の相関関係。

FDT と HFA における PSD の相関関係は、POAG が $y = 0.31x + 6.0$ ($r = 0.53$, $p < 0.001$), NTG が $y = 0.66x + 2.2$ ($r = 0.86$, $p < 0.001$) となった。HFA の PSD が小さい部位では、FDT の PSD が NTG に比べ POAG で大きくなる傾向を示した。○：POAG, ×：NTG を示す

表 2 MD の有意水準の比較

有意水準	NTG	POAG
HFA=FDT	14 (51.9%)	15 (51.7%)
HFA<FDT	8 (29.6%)	4 (13.8%)
HFA>FDT	5 (18.5%)	10 (34.5%)
合計	27 (100%)	29 (100%)

2.3 ± 1.8 dB となり、NTG 群に比べ POAG 群の MD は有意に低下していた (t -test, $p < 0.05$)。PSD の平均は、POAG 群で 7.8 ± 2.8 dB, NTG 群で 5.7 ± 1.7 dB となり、両群間に有意差はなかった (t -test, $p = 0.07$)。なお、早期緑内障例における HFA の MD の平均は、POAG 群

で -2.7 ± 1.6 dB, NTG 群で -2.9 ± 1.2 dB, PSD の平均は、POAG 群で 3.9 ± 2.0 dB, NTG 群で 5.5 ± 2.8 dB で、MD, PSD ともに有意差はなかった。

早期緑内障例で MD の有意水準を比較した場合、FDT の有意水準レベルが HFA より低くなった症例は、POAG 群で 10/19 眼 (52.6%), NTG 群で 1/11 眼 (9.1%), HFA の有意水準レベルが FDT より低くなった症例は、POAG 群で 3/19 眼 (15.8%), NTG 群で 7/11 眼 (63.6%), FDT と HFA の有意水準が同等であった症例は、POAG 群で 6/19 眼 (31.6%), NTG 群で 3/11 眼 (27.3%) となった (表 3)。MD の有意水準を比較した場合の POAG 群と NTG 群における発現率に有意差があった (χ^2 検定, $p < 0.02$)。

IV 考 按

霊長類の網膜神経節細胞は投影される外側膝状体の層により主に 2 種類に分類され、大細胞から成る腹側 2 層 (magnocellular layer) の M 細胞系と小細胞から成る背側 4 層 (parvocellular layer) の parvocellular system (P 細胞系) から構成されている²³⁾。さらに、精神物理学的には、M 細胞系は低空間周波数、高時間周波数の視標に対して、P 細胞系は高空間周波数、低時間周波数の視標に対して良く反応するとされている²⁴⁾。FDT による計測では神経節細胞が持つこのような精神物理学の特性が応用されている。

Frequency doubling illusion という錯覚は、低空間周波数 (< 1 cycle/degree) の正弦格子縞を高時間周波数 (≥ 15 Hz) で振れさせることによって起こる現象であり、Kelly²¹⁾²²⁾によって初めて報告された。この現象には M 細胞系の中でも nonlinear な反応を示す My 細胞がその知覚に関与するとされているが、My 細胞は M 細胞系の中でも大きな神経節細胞であり、その受容野も大きいことがわかっている³⁾²³⁾。My 細胞の割合は全神経節細胞の 5% 以下と少ないため受容野の重なり (overlap) も少なく、神経節細胞の脱落が進行すると受容野の欠落が生じ、機能障害 (視野欠損) が生じやすい (Reduced Re-

NTG				POAG			
17.2 (11.0)	19.3 (10.2)	18.3 (10.0)	18.8 (9.9)	16.6 (11.4)	17.4 (9.7)	18.5 (9.2)	20.6 (8.2)
19.4 (10.6)	21.1 (10.9)	19.7 (10.1)	18.6 (9.1)	17.5 (12.1)	20.0 (10.6)	20.0 (9.2)	18.5 (9.0)
	27.8 (5.0)				28.2 (3.7)		
22.3 (7.5)	25.1 (6.3)	27.5 (3.1)	13.1 (2.8)	22.1 (9.6)	24.9 (8.7)	27.0 (4.1)	13.8 (4.2)
22.9 (5.3)	25.1 (4.2)	26.5 (4.4)	25.8 (5.9)	22.1 (8.8)	23.7 (8.1)	25.4 (6.0)	24.5 (7.5)

図 4 各測定点におけるの平均網膜感度の比較 (HFA)。

各測定点における HFA の平均網膜感度を POAG 群と NTG 群で比較したが、すべての測定点で両群間には有意差がなかった。括弧内は標準偏差

NTG				POAG			
14.9 (9.5)	19.1* (9.8)	19.8** (8.6)	20.8** (7.6)	10.4 (11.2)	13.9* (11.0)	13.8** (9.0)	14.9** (8.9)
17.9 (10.5)	19.5 (10.6)	24.3 (8.2)	21.9 (5.6)	17.0 (10.3)	20.0 (9.9)	23.7 (9.3)	18.9 (8.5)
		27.2 (4.9)				26.8 (5.6)	
20.2 (8.4)	24.1 (7.2)	27.9* (4.0)	26.1** (4.3)	19.7 (9.6)	23.3 (9.0)	24.6* (5.4)	21.8** (6.6)
23.4 (4.9)	25.0* (3.7)	25.8* (3.4)	25.0** (5.9)	19.3 (11.3)	20.4* (8.7)	21.4* (8.1)	19.9** (7.5)

図 5 各測定点における平均網膜感度の比較 (frequency doubling technology).

各測定点における FDT の平均網膜感度の比較では、耳側の周辺部で POAG 群が NTG 群に比べ有意に低下している測定点が多くみられた (* : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$). 括弧内は標準偏差

表 3 早期緑内障例 (MD ≥ -5 dB) における MD の有意水準の比較

有意水準	NTG	POAG
HFA=FDT	3(27.3%)	6(31.6%)
HFA<FDT	7(63.6%)	3(15.8%)
HFA>FDT	1(9.1%)	10(52.6%)
合計	11(100%)	19(100%)

dundancy 説)²³⁾²⁵⁾²⁶⁾.

FDT は臨床に应用されてから間もないため、視野の再現性に関して調べた報告が少ない。Chauhan ら²⁷⁾は HFA の 30-2 プログラムと FDT (プロトタイプ) の C-20 プログラムを同一被験者に 1 週間おきに 5 回計測を繰り返し、視野の再現性について検討した結果、網膜感度が低下した視野欠損部位の閾値変動幅が HFA に比べ FDT では小さく、偏心度別に調べた閾値の変動幅に関しても HFA に比べ FDT では偏心度による影響が少なかったことを報告している。

田村ら²⁸⁾は今回と同様の方法で、同一被験者に FDT の計測を 2 回行い、視野の再現性について検討した結果、2 回の計測による MD および PSD の比較では強い正の相関性 ($r=0.90, 0.96$) が得られ、MD および PSD の平均にも差がなかったことを報告している。また、各測定点における網膜感度の相関性も良好で ($r=0.91$), FDT による視野測定では良好な再現性が得られている。これらの報告は FDT が信頼度の高い検査法であることを示している。

緑内障患者を対象とした HFA と FDT の視野指標における相関性については、MD の相関係数が 0.73~0.86, PSD が 0.60~0.79 となり、どちらも有意な相関性が得られることが報告⁵⁾²⁹⁾³⁰⁾されている。自験例のように NTG 群と POAG 群に分けて、MD や PSD の相関関係を調べた場合も有意な相関性が得られ、両群ともに HFA に表れる視野障害レベルに対応した変化が FDT でもみられることがわかる。しかし、両群で HFA と FDT における MD の相関関係を比べると、FDT の MD

は全般的に NTG 群より POAG 群で低くなっていた (図 2)。また、HFA による光覚閾値検査では、NTG 群と POAG 群の視野指標 (MD, PSD) の平均に差がなかったが、FDT では POAG 群の MD が NTG 群に比べ有意に低下していた ($p < 0.05$)。早期緑内障例における FDT の MD の比較でも POAG 群が NTG 群に比べ有意に低下していた ($p < 0.05$)。PSD の比較では両群間に差がなく、早期緑内障例においても同様の結果が得られた。しかし、HFA と FDT における PSD の相関関係から、HFA の PSD が小さい段階から FDT の PSD が大きくなり、特に POAG 群では FDT の PSD が HFA に先行して大きくなる傾向があった。

HFA と FDT では、光覚閾値とコントラスト感度を計測しているため網膜感度を直接比較できないが、有意水準を比較することによって測定結果の値が正常母集団からどれくらい離れているか比較することができる。各々の症例で HFA と FDT における MD の有意水準を比較した場合、POAG 群では HFA よりも FDT で有意水準が低くなった症例の割合が大きく、NTG 群では逆に FDT に比べ HFA で有意水準が低くなった症例の割合が大きかった。これらの結果は、POAG では HFA より FDT で計測した方が異常の検出感度が高く、NTG では逆に FDT より HFA で計測した方が異常の検出感度が高いことを意味している。また、早期緑内障例のみで MD の有意水準を比較した場合、これらの傾向はさらに強くなり、統計学的にも有意差があったことから ($p < 0.02$)、早期の POAG の検出には HFA より FDT の方が優れていると考えられた。

緑内障の病理所見を調べた Quigley ら¹⁾³¹⁾の報告の対象は、いずれも高眼圧が原因となって起こった緑内障患者や実験的に発症させた霊長類の動物モデルであり、NTG と POAG における病理所見の比較はなされていない。

Caprioli ら⁷⁾は POAG の視神経障害では主に眼圧による機械的因子が関与しているが、NTG では機械的因子と虚血性因子が関与していると報告している。また、

NTG では片頭痛や末梢血管攣縮反応が起こりやすいことも知られている⁸⁾⁹⁾。臨床所見では、POAG と比べた NTG の乳頭では乳頭陥凹が浅くて大きく、乳頭出血の頻度が高いこと^{10)~12)}、初期の視野変化を比べても NTG の暗点は POAG より固視点に近く急峻で、上方の傍中心部に暗点が出現しやすいことなどが報告^{13)~18)}されており、POAG と NTG では病態が異なることが推定される。

各測定点の平均網膜感度を POAG 群と NTG 群で比較した場合、HFA では全測定点で有意差がなかったが、FDT では耳側周辺部の測定点で POAG 群の平均網膜感度が NTG 群に比べ有意に低下している測定点が多くみられた(図 4, 5)。高眼圧によって視神経乳頭上方および下方のセクターで大きな神経節細胞が障害されやすいことは以前から報告¹⁾されており、この原因として神経線維の支持組織が乳頭上極と下極で脆弱であることが指摘されている³²⁾³³⁾。POAG 群と NTG 群の平均網膜感度に差が生じた測定点は、神経線維の走行と視野の関係から視神経乳頭の上方および下方のセクターにおける神経線維の分布によく対応しており³⁴⁾、高眼圧による機械的障害が主体となる POAG と眼圧以外の因子が関与する NTG における病態の違いがこれらの結果に反映されたものと思われる。

以上から、FDT による視野計測では NTG に比べ POAG の異常検出感度が高いことがわかった。また、早期の POAG の検出には HFA より FDT の方が優っていたが、逆に NTG では HFA より FDT の検出感度が劣っていた。FDT は大きな神経節細胞である My 細胞の機能障害を特異的に検出する視野計であるが、NTG と POAG における結果の相違から My 細胞の障害程度が両者で異なるものと思われた。さらに、耳側周辺部の測定点で網膜感度差が大きくなったことは視野の障害様式が両者で異なることを示している。

本文の要旨は第 53 回臨床眼科学会、ARVO(2000 年)で発表した。

文 献

- 1) **Quigley HA, Sanchetez RM, Dunkelberger GR, L'Hernault NL, Baginski TA** : Chronic glaucoma selectively damages large optic nerve fibers. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28 : 913—920, 1987.
- 2) **Johnson CA** : The Glenn Fry Lecture : Early losses of visual function in glaucoma. *Optomet Vis Sci* 72 : 359—370, 1995.
- 3) **Maddess T, Henry GH** : Performance of non-linear visual units in ocular hypertension and glaucoma. *Clin Vision Sci* 7 : 371—383, 1992.
- 4) **Johnson CA, Cello KE, Nelson-Quigg JM, et al** : Performance of frequency doubling perimetry for detecting various levels of glaucomatous field

- loss. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 38 : 200(ARVO Abstract), 1997.
- 5) **尾谷雅博, 堀越紀子, 後藤比奈子, 田村陽子, 岡野正** : 緑内障における frequency doubling technology の特性. *臨眼* 54 : 891—895, 2000.
- 6) **Drance SM, Sweeney VP, Morgan RW, Feldman F** : Factors involved in the production of low tension glaucoma. *Canad J Ophthalmol* 9 : 399—403, 1974.
- 7) **Caprioli J, Spaeth G** : Comparison of visual field defects in the low-tension glaucomas with those in the high-tension glaucomas. *Am J Ophthalmol* 97 : 730—737, 1984.
- 8) **Drance SM, Douglas GR, Wijsman K, Schulzer M, Britton RJ** : Response of blood flow to warm and cold in normal and low tension glaucoma patients. *Am J Ophthalmol* 105 : 35—39, 1988.
- 9) **Cater CJ, Brooks DE, Doyle DL, Doyle DL** : Investigations into a vascular etiology for low-tension glaucoma. *Ophthalmology* 97 : 49—55, 1990.
- 10) **Gloster J** : Incidence of optic disc hemorrhage in chronic simple glaucoma and ocular hypertension. *Br J Ophthalmol* 65 : 452—456, 1981.
- 11) **Caprioli J, Spaeth GL** : Comparison of the optic nerve head in high- and low-tension glaucoma. *Arch Ophthalmol* 103 : 1145—1149, 1985.
- 12) **Gramer E, Bassler M, Leydecker W** : Cup/disk ratio, excavation volume, neuroretinal rim area of the optic disc in correlation to computer-perimetric quantification of visual field defects in glaucoma with and without pressure. *Doc Ophthalmol Proc Ser* 49 : 329—348, 1986.
- 13) **Levene RZ** : Low tension glaucoma : A critical review and new material. *Surv Ophthalmol* 24 : 621—664, 1980.
- 14) **Greve EL, Geijssen C** : Comparison of glaucomatous visual field defects in patients with high and with low intraocular pressures. In : Greve EL, et al(Eds) : Fifth International visual field Symposium, Dr W Junk Publ, Hague/Boston/Lancaster, 101—105, 1983.
- 15) **Hitchings RA, Anderson SA** : A comparative study of visual field defects seen in patients with low-tension glaucoma and chronic simple glaucoma. *Br J Ophthalmol* 67 : 818—821, 1983.
- 16) **Iwase A, Matsubara K, Kitazawa Y** : Are early visual field changes topographically different between primary open-angle(high tension) and normal tension glaucoma? In : Mill RP, et al(Eds) : Perimetry Update 1990/1991, Kulger Publ, Amsterdam/New York, 491—494, 1991.
- 17) **Suzumura H, Ohkoshi H, Nonaka T, Ogawa T** : Comparison of early visual field disturbance and their progression in POAG and NTG. In : Mill RP, et al(Eds) : Perimetry Update 1994/1995, Kulger Publ, Amsterdam/New York, 37—41, 1995.

- 18) 山上順吉, 新家 真, 鈴木康之, 白土城照, 小関伸之: 低眼圧緑内障の視野障害様式—原発開放隅角緑内障との比較—. 日眼会誌 97: 383—389, 1993.
- 19) Tyrrell RA, Owens DA: A rapid technique to assess the resting states of the eyes and other threshold phenomena: The modified binary search (MOBS). Behav Res Meth Instr Comp 20: 137—141, 1988.
- 20) Johnson CA, Shapiro LR: A comparison of MOBS(modified binary search) and staircase test procedures in automated perimetry. Noninvasive Assessment of the Visual System, 1989 Technical Digest Series 7: 84—87, 1989.
- 21) Kelly DH: Frequency doubling in visual responses. J Opt Soc Am 56: 1628—1633, 1966.
- 22) Kelly DH: Nonlinear visual response to flickering sinusoidal grating. J Opt Soc Am 71: 1051—1055, 1981.
- 23) 三好智光, 福田 淳: 網膜神経節細胞の機能分化と並列情報処理. 若倉雅登(編): 視覚情報処理, メジカルビュー社, 東京, 35—47, 1994.
- 24) Lenie P: Parallel visual pathways: A review. Vision Res 20: 561—594, 1980.
- 25) Kaplan E, Shapley RM: X and Y cells in the lateral geniculate nucleus of macaque monkeys. J Physiol 330: 125—143, 1982.
- 26) Marrocco RT, McClurkin JW, Young RA: Spatial summation and conduction latency classification of cells in the lateral geniculate nucleus of macaques. J Neurosci 2: 1275—1291, 1982.
- 27) Chauhan BC, Johnson CA: Test-retest variability of frequency-doubling perimetry and conventional perimetry in glaucoma patients and normal subjects. Invest Ophthalmol Vis Sci 40: 648—656, 1999.
- 28) 田村陽子, 堀越紀子, 尾谷雅博, 後藤比奈子, 木村玲子, 岡野 正: Frequency doubling technology による視野計測の再現性の検討. 日本視能訓練士協会誌 28: 233—238, 2000.
- 29) Cello KE, Johnson CA, Nelson-Quigg JM, et al: Visual field indices for frequency doubling perimetry. Invest Ophthalmol Vis Sci 38: 571 (ARVO Abstract), 1997.
- 30) Sponsel WE, Arango S, Trigo Y, et al: Clinical classification of glaucomatous visual field loss by frequency doubling perimetry. Am J Ophthalmol 125: 830—836, 1998.
- 31) Quigley HA, Dunkelberger GR, Green WR: Chronic human glaucoma causing selectively greater loss of large optic nerve fibers. Ophthalmology 95: 357—363, 1988.
- 32) Quigley HA, Addicks EM: Regional differences in the structure of the lamina cribrosa and their relation to glaucomatous optic nerve damage. Arch Ophthalmol 99: 137—143, 1981.
- 33) Radius RL, Gonzales M: Anatomy at the lamina cribrosa in human eyes. Arch Ophthalmol 99: 2159—2162, 1981.
- 34) Wirtshafter JD, Becker WL, Howe JB, Young BR: Glaucoma visual field analysis by computed profile of nerve fiber function in optic disc sectors. Ophthalmology 89: 255—267, 1982.