

緑内障視野測定におけるゲイズトラックの有用性の評価

国松 志保¹⁾, 鈴木 康之¹⁾, 白土 城照²⁾, 新家 眞¹⁾¹⁾東京大学医学部眼科学教室, ²⁾東京医科大学八王子医療センター眼科

要 約

目 的: 新しい固視監視法であるゲイズトラック (GT) の有用性を検討した。

対象および方法: 開放隅角緑内障 74 例, 高眼圧症 32 例の計 106 例 106 眼を対象とした。全例に対して GT を用いた Humphrey 自動視野計中心 30-2 プログラムで視野を測定し, 6°, 3° 以上の固視ずれのあった時間の割合 (G 6, G 3) を算出した。視野異常のない群 (N 群), 視野異常のあったものでマリ奥特盲点 (マ盲点) に連続する絶対暗点を持つ群 (M 1 群) と持たない群 (M 0 群) とに分け, G 6, G 3 と fixation loss (FL), false positive error (FP), false negative error (FN), mean deviation (MD), short-term fluctuation (SF), corrected pattern standard deviation (CPSD) の各値との相関を調べた。

結 果: N 群, M 0 群では G 6, G 3 と FL との間に有意な正の相関 ($p < 0.01$) があった。M 1 群では, G 3, G 6 のいずれとも有意な相関はなかった。FL < 20% の症例では, G 3, G 6 は M 1 群では M 0 群, N 群に比べて大きかった。

結 論: マ盲点に連続する絶対暗点を持つ症例では Heil-Krakau 法による固視監視法では固視ずれ (FL) が少なく評価されている可能性が推定され, GT が固視監視法としてより有用であると考えた。(日眼会誌 103: 748—753, 1999)

キーワード: ゲイズトラック, マリ奥特盲点, 固視不良

Usefulness of Gaze Tracking during Perimetry in Glaucomatous Eyes

Shiho Kunitatsu¹⁾, Yasuyuki Suzuki¹⁾, Shiroaki Shirato²⁾ and Makoto Araie¹⁾¹⁾Department of Ophthalmology, The University of Tokyo School of Medicine²⁾Department of Ophthalmology, Hachioji Medical Center, Tokyo Medical College

Abstract

Purpose: To evaluate the usefulness of a new fixation monitoring system called gaze tracking in the perimetry of glaucomatous eyes.

Subjects and Method: We studied the visual field of 106 eyes in 106 persons, comprising 74 eyes with open-angle glaucoma and 32 eyes with ocular hypertension. Perimetry was performed using a Humphrey Visual Field Analyzer 740/750 with a 30-2 full threshold program. We used two parameters for gaze tracking: the percentage of the time when the subject's eye deviated from the fixation target more than 3 degrees (G 3) and 6 degrees (G 6). These parameters were assessed in three groups: those with no visual field defect (group N), those with absolute visual field defect including the blind spot

(group M 1), and others (group M 0).

Result: The values of G 3 and G 6 were significantly correlated with the fixation loss in groups N and M 0 ($p < 0.01$). These values were not significantly correlated with the fixation loss in group M 1 ($p > 0.1$). When the fixation loss was less than 20%, G 3 and G 6 values were significantly higher in group M 1 than in groups N or M 0.

Conclusion: Gaze tracking is a useful fixation-monitoring system particularly in the presence of absolute visual field defect including the blind spot. (J Jpn Ophthalmol Soc 103: 748—753, 1999)

Key words: Gaze tracking, Blind spot, Fixation loss

I 緒 言

視野測定は、緑内障の診断・経過観察の手段として重

要であるが、その結果は被検者の応答に依存するため、測定の信頼性の検定が不可欠である。これまでも Heil-Krakau 法による固視監視アルゴリズム (固視不良 fixation

別刷請求先: 113-8655 東京都文京区本郷 7-3-1 東京大学医学部眼科学教室 国松 志保

(平成 10 年 11 月 10 日受付, 平成 11 年 6 月 2 日改訂受理)

Reprint requests to: Shiho Kunitatsu, M.D. Department of Ophthalmology, The University of Tokyo School of Medicine, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8655, Japan

(Received November 10, 1998 and accepted in revised form June 2, 1999)

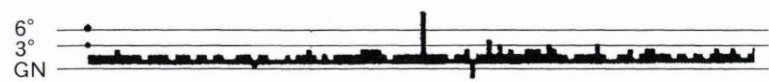


図1 ゲイズトラックのプリントアウトの1例。
中央の基線の上方向のシグナルは固視ずれの度合いを1°単位で示し、下方向のシグナルは判断不能であったことを示している。上方向に3°,6°に相当するラインを引き、下方向2°に相当するラインを引き(GN),全測定時間からGNを除いて固視ずれの割合を算出した。

表1 N群・M0群・M1群の結果

	N群(n = 32)	M0群(n = 40)	M1群(n = 34)
年齢(歳)	54.78±14.30	55.88±12.85 *	59.44±10.54 *
FL(%)	17.21±22.92	19.40±25.1	6.20±7.32
FP(%)	6.34±8.72	4.22±6.42	4.49±5.80
FN(%)	1.99±5.83	6.09±8.27	10.41±14.06
MD(dB)	-0.25±2.34	-3.73±2.78 **	-12.11±4.90 **
SF(dB)	1.62±0.96	2.11±1.03	2.51±1.31
CPSD(dB)	1.34±1.33	5.77±3.76 **	13.21±2.30 **
G6(%)	5.84±8.65	4.23±5.16	5.52±7.24
G3(%)	16.89±21.45	14.10±16.11	15.31±16.12

平均値±標準偏差 * : p < 0.01 ** : p < 0.0001
N群 : 高眼圧症, M0群 : マリオット盲点に連続する絶対暗点をもたない, M1群 : 持つ,
FL : fixation loss, FP : false positive error, FN : false negative error, MD : mean deviation,
SF : short-term fluctuation, CPSD : corrected pattern standard deviation

loss)¹⁾が自動視野計に取り入れられており、偽陽性テスト、偽陰性テストとともに視野検査の信頼性を測る手段として用いられてきた。この方法は、定期的にマリオット盲点に視標を呈示し、応答すると固視不良としてカウントするという簡便な方法であるが、①固視監視アルゴリズムを入れるために測定時間がかかること、②視野障害が進行し、マリオット盲点付近に絶対暗点が生じた場合、測定精度が低くなる可能性があること、③盲点監視が非継続的であることなどの欠点がある。最近、Humphrey社の自動視野計に取り入れられたゲイズトラック(gaze tracking : 以下,GT)²⁾は、視野検査開始から終了まで継続的に患者の固視状態を評価する方法で、①測定時間がかからない、②絶対暗点の存在に影響されないという利点を持ち、従来のHeil-Krakau法に代わり得る可能性を持った測定法である。しかし、このGTの結果は視野検査の結果にプリントアウトされるものの、その結果の解釈に対する定量的な試みは未だなされておらず、固視監視法としての評価も行われていない。今回、我々はGTを定量的に評価し、従来の固視監視法であるfixation lossとの関係について解析することにより、GTの有用性および特徴について検討したので報告する。

II 対象および方法

開放隅角緑内障 74 例 74 眼(原発開放隅角緑内障 16 例 16 眼, 正常眼圧緑内障 58 例 58 眼), 高眼圧症 32 例 32 眼の計 106 例 106 眼を対象に、Humphrey 自動視野計 740/750 シリーズ中心 30-2 プログラムを、GT 測定状態とし

て視野を測定した。全例矯正視力は 0.7 以上、2 度目以降の測定であった。年齢は 33~73 歳(平均 56.7 歳), mean deviation (MD) 2.21~−26.05 dB (平均 −5.37 dB) であった。解析に当たっては、片眼のみ GT を測定している場合はその結果を、また、両眼の GT を測定している場合は、1 眼の結果を無作為に選択した。

GT は検査開始時に以下の 2 段階の方法で認識される²⁾。第 1 段階として、reflex gaze 赤外線 LED が中心固視灯左側から発光され、赤外光は角膜に反射し、角膜反射光として中心固視灯内にある赤外線感知カメラに反射光の位置が記録される。次に、第 2 段階として、2 つの赤外線 LED がドームまたはレンズホルダー下部両側から眼球全体を照明することにより、瞳孔中心の位置が中心固視灯内の赤外線感知カメラにより画像データとして決定され、記録される。第 1 段階で記録された角膜反射光と、第 2 段階で記録された瞳孔中心との位置関係から固視が判断される。もしも患者の固視状態が良好であれば、角膜反射光と瞳孔中心との位置関係は、当初記憶されたものと同一であるはずである。また、患者の固視状態が不良であれば、両者の位置関係は当初記憶されたものと異なるはずである。GT の結果は視野検査結果と同時にプリントアウトに出力される。固視ずれの度合いは、GT の結果が示される中央の基線から上方向に、1°単位で最大 10°まで表示され、シグナルが高いほど固視ずれが大きいことを示す。中央の基線から下向きのシグナルは、GT が患者の注視を判断不能であったことを示すが、これは、患者の瞬きや上眼瞼が下がることなどによる。したがって、グ

表2 N群における各パラメーター間の相関係数(上段)とp値(下段)

	FL	FP	FN	MD	SF	CPSD
G6	0.824	0.687	-0.039	0.354	0.353	-0.105
	<0.0001	<0.0001	0.831	0.047	0.047	0.568
G3	0.943	0.603	-0.099	0.300	0.283	0.027
	<0.0001	0.0003	0.589	0.095	0.117	0.883

表3 M0群における各パラメータ間の相関係数(上段)とp値(下段)

	FL	FP	FN	MD	SF	CPSD
G6	0.446	0.238	0.442	-0.092	0.388	-0.143
	0.0039	0.138	0.004	0.573	0.013	0.376
G3	0.514	0.213	0.324	0.039	0.291	-0.183
	0.0007	0.186	0.041	0.810	0.068	0.257

表4 M1群における各パラメーター間の相関係数(上段)とp値(下段)

	FL	FP	FN	MD	SF	CPSD
G6	-0.078	-0.084	0.023	-0.004	-0.075	-0.072
	0.663	0.635	0.894	0.982	0.673	0.683
G3	-0.095	0.047	0.054	-0.025	-0.094	0.101
	0.592	0.792	0.763	0.888	0.596	0.568

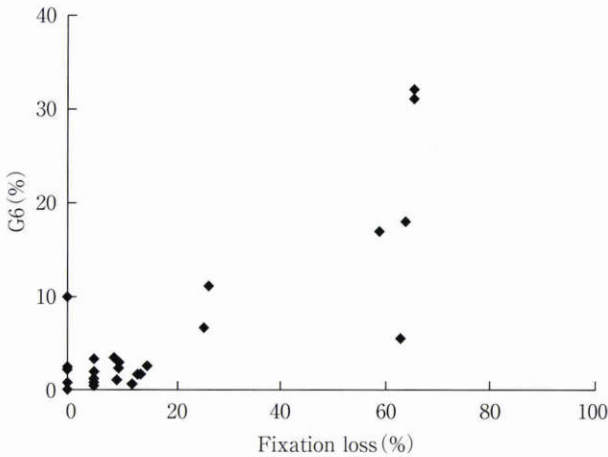


図2 高眼圧症(N)群におけるG6とfixation lossとの相関関係(r=0.824, p<0.0001, n=32).

ラフ上にシグナルがないことが患者の固視が良好であったことを示す(図1).

GTの結果の定量化は,以下の方法で行った.視野結果とともにプリントアウトされたGTの結果をスキャナー(Epson Scan II, 256 grayscale, 300dpi)で読み取り,上方の3°と6°,および下方2°にラインを引き,全測定時間から下方2°にシグナルの出ている時間(=GTが患者の注視を判断不能であった時間)を除いた部分における,6°以上,3°以上の固視ずれのあった時間の割合(%)をそれぞれG6,G3として算出(Sigmascan 3.0)した(図1).

はじめに,視野が正常であった群,すなわち高眼圧症

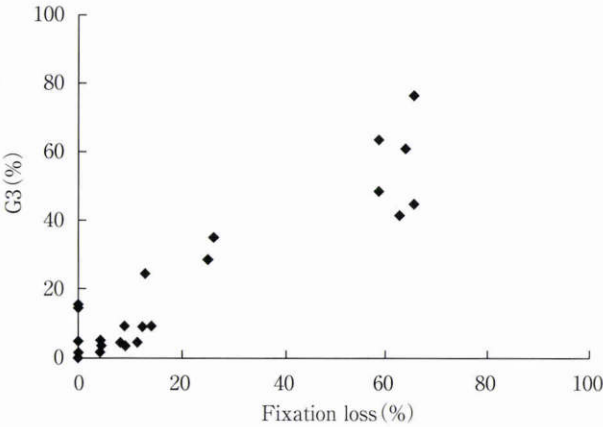


図3 N群におけるG3とfixation lossとの相関関係(r=0.943, p<0.0001, n=32).

(N群 n=32)において,G6とG3の値と,fixation loss (FL), false positive error (FP), false negative error (FN), mean deviation (MD), short-term fluctuation (SF), corrected pattern standard deviation (CPSD)の各値との相関係数を調べた.さらに,視野異常のあったもののうち,マリ奥特盲点に連続する絶対暗点を持たない群(M0群 n=40)と持つ群(M1群 n=34)に分けた(表1).M0群,M1群の各群内でのG6とG3の値と,FL,FP,FN,MD,SF,CPSDの各値との相関係数を調べた.また,N群,M0群とM1群間で,一般的に固視が良好とされている³⁾FL<20%の症例(n=76)について各群間の比較を,t検定を用いて行った.

III 結 果

G6は,N群では5.84±8.65(平均値±標準偏差)%,M0群では4.23±5.16%,M1群では5.52±7.24%であった.G3は,N群では16.89±21.45%,M0群では14.10±16.11%,M0群では15.31±16.12%であった.

N群においては,G6とFL,G3とFL,G6とFP,G3とFPとの間に有意な正の相関(p<0.001)があった(表2).M0群においては,G6とFL,G3とFL,G6とFNとの間に有意な正の相関(p<0.01)があった(表3)が,M1群においてはG3,G6ともFL,FP,FN,SF,MD,CPSD間にいずれも有意な相関はなかった(表4).

図2にN群における,G6とFLの分布を示す.FLは0~65.4%に分布しており,G6との間に有意な正の相関を示した(r=0.824, p<0.0001).同様に,G3とFLの分

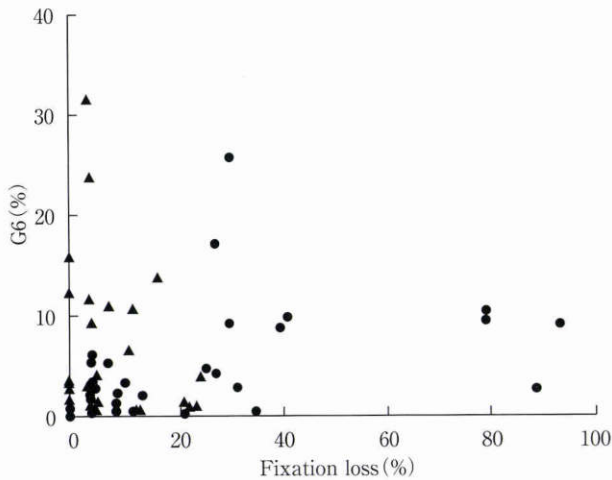


図4 マリオット盲点に連続する絶対暗点を持たない(M0)群・持つ(M1)群におけるG6とfixation lossとの相関関係。

●: M0群, $r=0.446$, $p=0.0039$, $n=40$, ▲: M1群, $r=-0.078$, $p=0.663$, $n=34$.

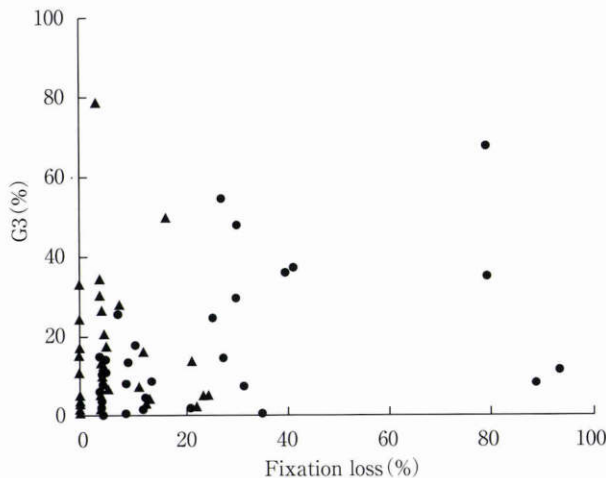


図5 M0群・M1群におけるG3とfixation lossとの相関関係。

●: M0群, $r=0.514$, $p=0.0007$, $n=40$, ▲: M1群, $r=-0.095$, $p=0.592$, $n=34$.

布を図3に示したが、有意な正の相関を示した($r=0.943$, $p<0.0001$)。N群でFL<20%の症例はすべてG3<25%, G6<10%であった。

図4にM0, M1の各群におけるG6とFLの分布を示す。M0群では、FLは0~93.1%に分布しており、G6との間に有意な正の相関を示した($r=0.446$, $p=0.0039$)。M1群では、FLは0~23.1%に分布しており、G6とは相関していなかった($r=-0.078$, $p=0.663$)。同様に、M0, M1の各群におけるG3とFLの分布を図5に示す。M0群では、G3との間に有意な正の相関を示した($r=0.514$, $p=0.0007$)が、M1群では、G3とは相関していなかった($r=-0.095$, $p=0.592$)。

次に、FL<20%の症例の中で、N群($n=24$)、M0群(n

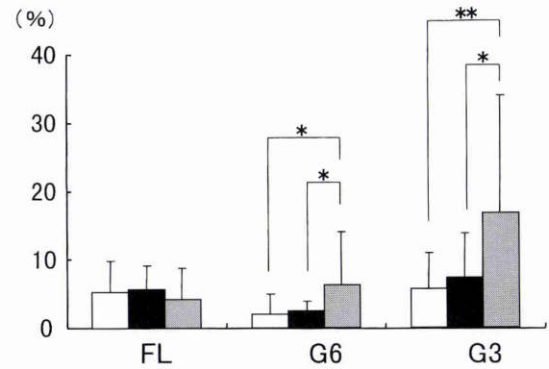


図6 Fixation loss (FL)<20%の症例($n=76$)におけるFL, G6, G3の比較。

N群, M0群とM1群ではFLの値に関しては差がないが、G6, G3はM1群がN, M0群に比し有意に大きくなる。*: $p<0.05$, **: $p<0.01$, □: N($n=24$), ■: M0($n=24$), ▒: M1($n=28$)

=24), M1群($n=28$)の各群間の比較を行った結果、FLはN群では $5.3\pm4.6\%$, M0群 $5.5\pm3.6\%$, M1群 $4.2\pm4.5\%$ と各群間で差がないものの、G6は、N群 $2.0\pm3.0\%$, M0群 $2.1\pm1.9\%$, M1群 $6.3\pm7.8\%$, G3はN群 $5.8\pm5.2\%$, M0群 $7.3\pm6.6\%$, M1群 $16.9\pm17.3\%$ と、G6, G3はM1群で有意に大きかった($p<0.05$) (図6)。

IV 考 按

GTは、最近開発された新しい固視監視アルゴリズムである²⁾。GT測定に当たっては、検査開始直後に固視点が呈示され、患者がそれを固視することにより、患者の角膜反射光と瞳孔中心との位置関係がGT測定における基準の位置として記録され、その設定を基に全検査中の患者の固視状態が評価され、プリントアウトされる。現在のところ、GTの結果は視野の結果と同時に印刷されるだけであり、固視が良好であったかどうかをグラフ上に出ているシグナルの量で視覚的に判定するのみで、定量的な解釈はされていない。そこで、我々はGTの定量的な評価を試み、FLと比較することにより、その有用性について検討した。その結果、視野異常のない症例(N群)では、G6とFL, G3とFLとの間に強い正の相関($r=0.824$, 0.944 , $p<0.0001$)があり、GTは固視監視法としてFLと同程度に有用であると考えられた。また、N群ではG6とFP, G3とFPの間にも正の相関($r=0.687$, 0.603 , $p<0.0001$, 0.0003)があった。FPは視標の投影されないプロジェクターの回転音に患者が反応したことを示し、検査に対する患者の理解不足などが原因とされているが、G6, G3と相関があったことは、固視ずれが患者の理解不足を反映している可能性を示していると思われる。

FLは従来の固視監視アルゴリズムであり¹⁾、視野測定信頼性を検定するために用いられてきた^{3)~5)}が、FLはマリオット盲点に相当する部分に視標を定期的に呈示し、被検者の応答の有無を記録するものであるため、マリ

表5 G3<25%を基準とした時のFL(%)

	G3<25%	G3≥25%
M0	14.8±22.6 (n=31)	41.5±25.4* (n=9)
M1	6.7±7.7 (n=26)	5.7±8.0* (n=8)

*: p < 0.01

オート盲点近傍に絶対暗点をもつ症例では、マリオット盲点のため応答しないのか、絶対暗点のため応答しないのかの区別ができない。このため、マリオット盲点に連続する絶対暗点の有無が、FLの信頼性に影響を及ぼしていることが考えられる。そこで今回、我々は視野異常のあった症例を、マリオット盲点に連続する絶対暗点を持たない群(M0群)と持つ群(M1群)とに分けてGTとFLとを比較検討した。その結果、M0群においてはG6とFL、G3とFL、G6とFNとの間に有意な正の相関があったが、M1群においてはG3、G6ともFL、FN、SF、MD、CPSD間のいずれも有意な相関はなかった。このことは、マリオット盲点に連続する絶対暗点を持たない群では、従来のFLとGTの結果は一致することを示していると考えられる。ところが、マリオット盲点に連続する絶対暗点を持つ群では、FLとGTの結果が解離しており、FLは必ずしも全症例の固視状態を正しく評価し得ない可能性が示された。ここでM0、M1群を比較するのに際し、M1群はマリオット盲点に連続する絶対暗点を持つ群であるため、視野の進行した症例が多く含まれることになり、当然M0群とはMDが異なっていた(表1)。しかし、いずれの群においてもG3、G6とSF、MD、CPSDとは有意な相関を示さず、G3、G6が視野の程度やパターンに影響された可能性は少ないと考える。

一般的に固視良好とされている⁴⁾FL<20%の症例について、N群、M0群とM1群とを比較したところ、FLは各群で差がないものの、G6、G3はM1群でN群、M0群に比べて割合が大きい(p<0.05)ことがわかった。このことは、M1群では実際にはかなり眼球が動いている可能性を示しており、FLだけを固視状態の信頼性の基準にすることには問題があることを示している。

今回の結果から、N群でFL<20%の症例はすべてG3が25%以下であったことから、G3<25%を「固視ずれが少ない」基準としたところ、M0群においてこの基準を満たすのは40例中31例(77.5%)であり、FLは14.8±22.6%、M1群においてこの基準を満たすのは34例中26例(76.5%)であり、FLは6.7±7.7%(表5)と、M1群でFLが少ない傾向があった(p=0.09)。このことは、M1群ではマリオット盲点に連続する暗点に影響され、Heil-Krakau法による固視監視法では固視ずれ(FL)が少なく評価されていることが考えられた。また、この基準からは

ずれていた(G3≥25%)症例のFLは、M0群では41.5±25.4%、M1群では5.7±8.0%(表5)と、M1群でFLが有意に少なかった(p<0.01)。このことは、FLによる固視監視システムではその結果がマリオット盲点に連続する絶対暗点の有無に左右される可能性があり、マリオット盲点に連続する暗点のある症例の固視状態の検定に当たっては、FLだけではなく、GTの結果を考慮することが必要であると考えられた。

GTの利点としては、この他に、マリオット盲点に視標を呈示しないため、測定時間が短縮されることがあげられる。Katzら³⁾は正常人と緑内障患者とのFL、偽陽性テスト、偽陰性テストの比較を行った報告の中で、FLの測定に当たり、平均41回マリオット盲点に視標を呈示したことになり、全視標呈示回数の約10%に当たると述べている。現在、より信頼できる視野測定結果を得るためには、被検者の疲れを最低限にすることが望まれ、Swedish interactive thresholding algorithm(SITA)プログラムの開発⁶⁾⁷⁾など、測定時間の短縮がさまざまな方法で試みられているが、GTを取り入れることにより、さらなる測定時間の短縮が期待できる。

一方、GTの欠点としては、その測定結果の定量がされていないということであろう。今回、我々はプリントアウトの結果をスキャナーで結果を読み取り、6°以上、3°以上固視ずれのあった時間の割合を測定することにより解析した。固視ずれの度数をどのように測定するかによって当然結果が異なる可能性があるが、Humphrey自動視野計中心30-2プログラムの場合測定点が6°間隔であり、6°以上の固視ずれは1測定点分のずれに相当し、3°以上の固視ずれはその中間値であることから、今回の検討では固視ずれを定量化するに当たって3°と6°を基準値として選択した。また、スキャナーで読み取る今回の方法の場合、インクの種類、プリンターの種類により結果が異なる可能性もある。同一のインク、プリンターで行った今回の結果に関しては問題はないと思われるが、本来はプリントアウトを介さずに自動視野計内部に組み込まれた共通の解析システムが望ましい。

また、GTのもう一つの欠点として、測定結果の信頼性の指標がないことがあげられる。患者の瞬きや上眼瞼が下がりGTの判断不能であった場合は、プリントアウトの結果の下向きのシグナルとして表示される。今回の研究ではG6、G3の測定に当たっては、GTの判断不能であった時間は除いて検討した。今後は、上眼瞼などのアーチファクトを少なくし、GTの判断不能のシグナルを減少させる手段の開発が望まれる。

今回の結果から、GTは新しい固視監視法として、特にマリオット盲点に連続した絶対暗点のある症例でより有用であることが示された。その結果の定量化、評価基準の設定など、今後のさらなる改良が望まれる。

文 献

- 1) **Heil A, Krakau CET** : An automatic static perimeter. Design and pilot study. *Acta Ophthalmol* 53: 293—310, 1975.
 - 2) Humphrey Field Analyser series 700 service guide section 1, p 1(7)—p 1(9), 1994.
 - 3) **Katz J, Sommer A** : Reliability indexes of automated perimetric tests. *Arch Ophthalmol* 106: 1252—1254, 1988
 - 4) STATPAC User's Guide. Allergan Humphrey, San Leandro, 1986.
 - 5) **Heil A, Lindgren G, Olsson J** : Reliability parameters in computerized perimetry. *Doc Ophthalmol Proc Ser* 49: 593—600, 1987.
 - 6) **Bengtsson B, Heil A, Olsson J** : Evaluation of a new threshold visual field strategy, SITA, in normal subjects. *Acta Ophthalmol* 76: 165—169, 1998.
 - 7) **Bengtsson B, Heil A** : Evaluation of a new perimetric threshold strategy, SITA, in patients with manifest and suspect glaucoma. *Acta Ophthalmol* 76: 268—272, 1998.
-