

正常眼圧緑内障における多局所視覚誘発電位

浅野英二郎^{*1} 望月清文^{*1} 澤田 明^{*1} 長坂英一郎^{*2} 近藤雄司^{*1} 山本哲也^{*1}

^{*1} 岐阜大学大学院医学系研究科眼科学分野 ^{*2} 有限会社メイヨー

Multifocal Visual Evoked Potential Responses in Eyes with Normal-Tension Glaucoma

Eijiro Asano¹⁾, Kiyofumi Mochizuki¹⁾, Akira Sawada¹⁾, Ei-ichiro Nagasaka²⁾, Yuji Kondo¹⁾ and Tetsuya Yamamoto¹⁾

¹⁾ Department of Ophthalmology, Gifu University Graduate School of Medicine, ²⁾ MAYO Corporation

目的：多局所視覚誘発電位 (mfVEP) が正常眼圧緑内障 (NTG) 患者に対する他覚的検査法として有用であるか否かを検討した。**対象および方法：**対象は Humphrey 自動視野計プログラム中心 30-2 にて上半優位あるいは下半優位の視野障害を有する NTG 患者 13 例 15 眼および正常者 20 例 20 眼であった。mfVEP 測定にはメイヨー社製 VERIS Science 4 を用い刺激エレメント数 60 個、記録時間 16 分とした。記録には単極および双極の 2 誘導を同時に行った。得られた応答を上半および下半視野に分けて平均波形を求め、振幅、振幅比および頂点潜時について正常者と NTG 患者群間および NTG 患者における Humphrey 視野との相関を解析した。**結果：**正常者における単極誘導と双極誘導の比較では、下半視野の振幅で有意差がみられた ($p < 0.001$)。双極誘導による正常者と NTG 患者における比較では、上半視野および下半視野の障害側振幅で有意差を認めた (上半および下半： $p < 0.005$)。頂点潜時では下半視野において上半視野障害眼の頂点潜時に有意差を認めた ($p < 0.01$)。下半視野障害眼では有意差はなかった。NTG 患者における total deviation の閾値の平均値と上半あるいは下半視野の振幅 (上半： $r = 0.838$, 下半： $r = 0.589$) および振幅比 (上半： $r = 0.764$, 下半： $r = 0.782$) との間でそれぞれ有意な相関を認めた。Total deviation の閾値の平均値と頂点潜時との相関関係はみられなかった。単極誘導でもほぼ同様な結果であった。**結論：**mfVEP の振幅および振幅比は NTG 患者の他覚的検査法として有用と思われた。

Purpose : This article compares the results of multifocal visual evoked potential (mfVEP) recordings with static automated perimetry results obtained from patients with normal-tension glaucoma (NTG). **Methods :** We recorded mfVEPs in normal volunteers and NTG patients with unilateral hemi-field defects. Monopolar and bipolar electrode positions were used. **Results :** In the normal volunteers, the bipolar electrode placements yielded greater amplitude in the inferior hemi-sphere than did the monopolar placements. The amplitude of the affected hemi-field in the NTG patients was significantly smaller than that of the corresponding hemi-field in the normal volunteers. Inferior hemi-field latency in the NTG subjects with superior dominant visual field defects was significantly greater than that of the corresponding hemi-field in the normal subjects. There was a statistically significant correlation between amplitude in the affected hemisphere or amplitude ratio in the affected to unaffected hemisphere, and the averaged value of total deviation obtained from the Humphrey program central 30-2. The monopolar and bipolar VEP showed similar trends. **Conclusions :** The mfVEP demonstrated good correspondence with the topography of the visual field defects in NTG.

(Atarashii Ganka (Journal of the Eye) 24(12) : 1653~1659, 2007)

Key words : 半視野欠損, 多局所視覚誘発電位, 正常眼圧緑内障, hemi-field visual field defects, multifocal visual evoked potential, normal-tension glaucoma.

はじめに

今日、緑内障の日常診療において自動視野計による視野検査は重要な地位を占めている。しかしながら、現在用いられ

ている視野計は、呈示された視標に対して被検者が反応する自覚的視野検査であり、病期の経過や薬剤の効果判定などにおいて、被検者の反応に起因する因子を考慮する必要があ

〔別刷請求先〕 浅野英二郎：〒501-1194 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学大学院医学系研究科眼科学分野

Reprint requests : Eijiro Asano, M.D., Department of Ophthalmology, Gifu University Graduate School of Medicine, 1-1 Yanagido, Gifu-shi 501-1194, JAPAN

る。そのため他覚的な判定が可能な視野検査が望まれる。その一つとして電気生理学的な手法が考えられる。なかでも多局所網膜電図 (multifocal electroretinogram : mfERG) の一次核あるいは二次核成分を指標として緑内障患者に用いた報告が散見されるが、いまだ統一された見解は得られていない¹⁻³⁾。一方、近年擬似ランダムパターン刺激を用いた多局所視覚誘発電位 (multifocal visual evoked potential : mfVEP) の二次核成分の記録が Baseler ら⁴⁾ によって開発された。Hood ら⁵⁾ は開放隅角緑内障患者において Humphrey 自動視野計 (Humphrey Field Analyzer : HFA) と mfVEP との関連を検討し mfVEP の有用性を報告した。また Graham ら⁶⁾ は HFA による平均偏差および陥凹乳頭径比により病期分類した緑内障患者を対象に mfVEP を用いて検討し、他覚的視野検査として有効性を報告している。

今回筆者らは、mfVEP の緑内障診断への応用を目的として上半視野あるいは下半視野に障害を有する正常眼圧緑内障 (normal tension glaucoma : NTG) 患者において mfVEP を測定し、他覚的視野検査としての有用性を検討した。

I 対象および方法

半視野障害の対象選択基準は、矯正視力が 0.7 以上で、上半あるいは下半視野において HFA プログラム中心 30-2 の total deviation で p 値 0.5% 未満の欠損点が 8 カ所以上あり、その反対側視野では p 値 2% 未満の欠損点がまったく認められず、かつ、p 値 2% 以上 5% 未満の欠損点が 2 カ所以下である NTG 患者とした。また、内眼手術の既往がなく、緑内障以外の眼底異常疾患を有しない者とした。

上半視野障害眼は、7 例 (男性 5 例、女性 2 例) 7 眼 (右眼 2 例、左眼 5 例) で、平均年齢は 62.9 ± 8.0 歳であった。屈折異常は等価球面值で -0.72 ± 2.62 D であった。HFA プログラム中心 30-2 において視野の各パラメータの平均値は、mean deviation (MD) -6.99 ± 2.91 dB および corrected pattern standard deviation (CPSD) 12.82 ± 2.27 dB であった (表 1)。下半視野障害眼は、6 例 (男性 4 例、女性 2 例) 8 眼 (右眼 6 例、左眼 2 例) で、平均年齢は 55.3 ± 12.5 歳であった。屈折異常は等価球面值で -3.88 ± 1.95 D であった。

表 1 正常眼圧緑内障患者の背景

	上半側視野障害	下半側視野障害
男性/女性	5/2	4/2
右眼/左眼	2/5	6/2
年齢 (歳)	62.9 ± 8.0	55.3 ± 12.5
屈折異常 (D)	-0.72 ± 2.62	-3.88 ± 1.95
MD (dB)	-6.99 ± 2.91	-7.55 ± 5.17
PSD (dB)	13.02 ± 2.25	12.65 ± 4.54
CPSD (dB)	12.82 ± 2.27	12.30 ± 4.47

平均 ± 標準偏差。

HFA プログラム中心 30-2 において視野の各パラメータの平均値は、MD -7.55 ± 5.17 dB および CPSD 12.30 ± 4.47 dB であった (表 1)。正常対照者は、屈折異常以外に眼科的異常疾患を有しない正常者 20 例 (男性 11 例、女性 9 例) 20 眼 (右眼 11 例、左眼 9 例) で、平均年齢は 44.7 ± 6.7 歳であった。屈折異常は等価球面值で -1.60 ± 2.26 D であった (表 2)。

全対象者には十分な説明を行い、同意を得たうえで記録した。

mfVEP の測定にはメイヨー社製 Visual Evoked Response Imaging System (VERIS) Science 4 を用いた。記録には、2 誘導を同時に行い、具体的には、一つは Klistorner ら⁷⁾ の報告に準じ後頭結節の上下 2 cm に電極を各々設置し (双極誘導)、他方は従来からの後頭結節上 2 cm に置いた電極を共通の関電極とし右側耳朶に不関電極を設置した単極誘導で、左耳朶を共通の接地電極とした。刺激視標は刺激野の大きさ $40^\circ \times 40^\circ$ で、CRT テレビモニター (中央無線製、QB1781) 上に刺激エレメント数 60 個のダーツボード図形を用いた (図 1)。これを 75 Hz の頻度でバイナリ M 系列に従って白・黒反転 (コントラスト比は 95.1%) した。画面輝度は白 : 200 cd/m^2 または黒 : 5 cd/m^2 であった。バンドパスフィルターを 1 から 100 Hz とし増幅した。瞳孔径は 3 mm 以上、記録時間は 16 分であった。被検眼は刺激モニターから 30 cm 離れた位置におかれ、屈折矯正をした。他眼は遮閉した。

表 2 正常者の背景

	正常者
男性/女性	11/9
右眼/左眼	12/8
平均年齢 (歳)	44.7 ± 6.7
屈折異常 (D)	-1.60 ± 2.26

平均 ± 標準偏差。

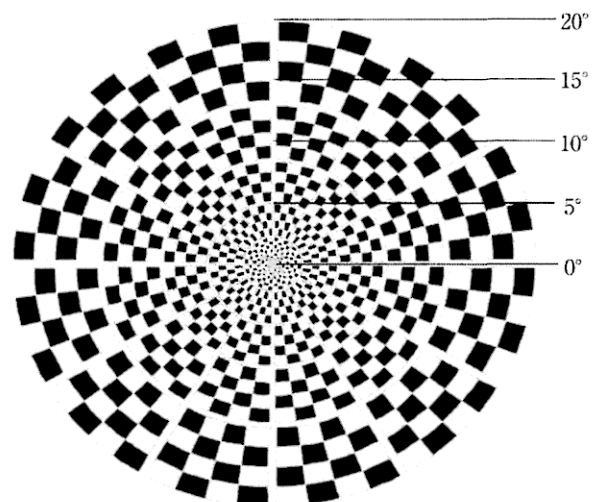


図 1 多局所視覚誘発電位の刺激エレメント

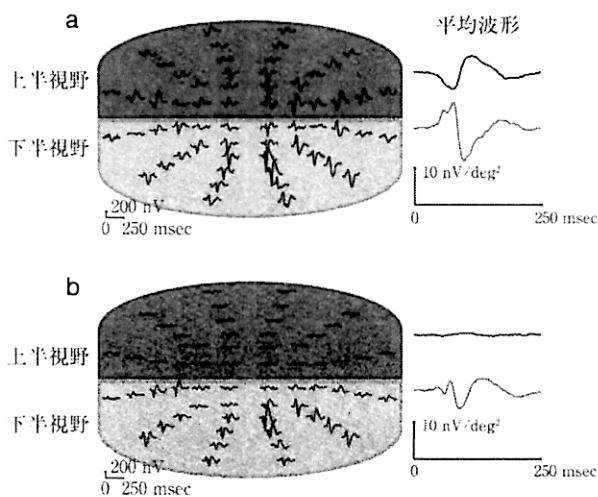


図2 双極誘導による多局所視覚誘発電位の波形(左眼)
a: 正常者, b: 上半視野障害 NTG 患者.

固視状態はコンピュータのモニターに呈示された波形を観察し、大きく波形がぶれたものは固視不良とみなし、測定から除外しそのつど再度計測を行った。

60カ所からの刺激応答の二次核成分を上半および下半視野の2象限に分けて、それぞれの平均波形を求めた(図2)。その平均波形において100msec付近にみられる主要波について頂点潜時、振幅ならびに上半・下半振幅比を求めた(図3)。得られた振幅、振幅比および頂点潜時について正常者とNTG患者群間で有意差を検討した。さらにNTG患者ではHFAとの相関を解析した。

正常者と疾患群での比較は、Mann-Whitney U testで行い、 $p < 0.05$ を有意な変化とした。また、total deviationと頂点潜時、振幅あるいは振幅比との相関を解析した。

II 結 果

1. 正常者における双極誘導と単極誘導の比較

a. 振 幅(表3)

上半視野では、双極誘導の振幅は $5.40 \pm 2.53 \text{ nV/deg}^2$ 、単極誘導では $6.28 \pm 3.32 \text{ nV/deg}^2$ で統計学的に有意差はなかった。下半視野では、双極誘導の振幅は $8.24 \pm 3.32 \text{ nV/deg}^2$ 、単極誘導では $11.45 \pm 5.50 \text{ nV/deg}^2$ で統計学的に有意差がみられた($p < 0.001$)。

b. 頂 点 潜 時(表3)

上半視野では、双極誘導の頂点潜時は $106.46 \pm 5.88 \text{ msec}$ 、単極誘導では $109.11 \pm 10.79 \text{ msec}$ で統計学的に有意差はなかった。下半視野では、双極誘導の頂点潜時は $99.22 \pm 4.53 \text{ msec}$ 、単極誘導では $98.55 \pm 4.97 \text{ msec}$ で統計学的に有意差はなかった。

c. 振 幅 比(表3)

上半振幅比(上半/上半+下半)では、双極誘導 0.39 ± 0.08 、

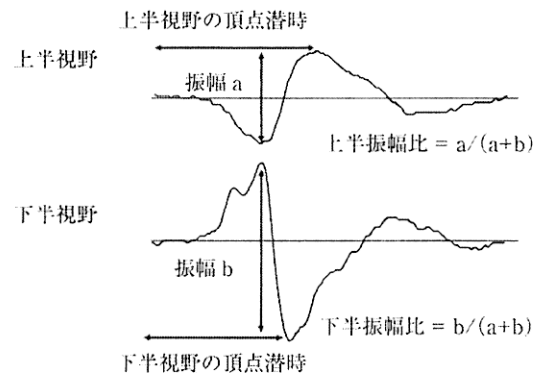


図3 多局所視覚誘発電位のP100 msec 付近の振幅、振幅比および頂点潜時の計測方法

表3 正常者における多局所 VEP の双極誘導と単極誘導の比較

	双極誘導 (Mean±SD)	単極誘導 (Mean±SD)	相関係数 [‡]
振幅 (nV/deg ²)			
上半視野	5.40 ± 2.53	$6.28 \pm 3.32^*$	0.896****
下半視野	8.24 ± 3.32	$11.45 \pm 5.50^{****}$	0.948****
頂点潜時 (msec)			
上半視野	106.46 ± 5.88	109.11 ± 10.8	0.800****
下半視野	99.22 ± 4.53	98.55 ± 4.97	0.932****
振幅比			
上半視野	0.39 ± 0.080	$0.36 \pm 0.118^*$	0.833****
下半視野	0.61 ± 0.080	$0.64 \pm 0.118^*$	0.833****

[†] Mann-Whitney's U test.

[‡] Spearman's correlation coefficient by rank test

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$.

単極誘導 0.36 ± 0.18 で統計学的に有意差を認めた($p < 0.05$)。下半振幅比(下半/上半+下半)では、双極誘導 0.61 ± 0.08 、単極誘導 0.64 ± 0.12 で統計学的に有意差を認めた($p < 0.05$)。

2. 正常者と NTG 患者との比較(双極誘導)

a. 振 幅(表4)

上半視野では、上半視野障害眼では $2.06 \pm 1.03 \text{ nV/deg}^2$ で正常者の振幅と有意差を認めた($p < 0.005$)。下半視野障害眼の振幅は $5.36 \pm 1.34 \text{ nV/deg}^2$ で正常者の振幅と有意差を認めなかった。下半視野では、上半視野障害眼の振幅は $7.44 \pm 3.31 \text{ nV/deg}^2$ で正常者の振幅と有意差を認めなかった。下半視野障害眼の振幅は $4.60 \pm 1.23 \text{ nV/deg}^2$ で正常者の振幅と有意差を認めた($p < 0.005$)。

b. 頂 点 潜 時(表4)

上半視野では、上半視野障害眼の頂点潜時は $112.10 \pm 17.65 \text{ msec}$ で正常者の頂点潜時と有意差を認めなかった。下半視野障害眼の頂点潜時は $111.61 \pm 6.94 \text{ msec}$ で正常者の頂点潜時と有意差を認めなかった。下半視野では、上半視野

障害眼の頂点潜時は 107.81 ± 7.84 msec で正常者の頂点潜時と有意差を認めた ($p < 0.01$)。下半視野障害眼の頂点潜時は 99.76 ± 5.09 msec で正常者の頂点潜時と統計学的に有意差はなかった。

表 4 双極誘導における多局所 VEP の振幅、頂点潜時および振幅比

	正常者	上半視野障害	下半視野障害
振幅 (nV/deg ²)			
上半視野	5.40 ± 2.53	$2.06 \pm 1.03^{***}$	5.36 ± 1.34
下半視野	8.24 ± 3.32	7.44 ± 3.31	$4.60 \pm 1.29^{***}$
頂点潜時 (msec)			
上半視野	106.46 ± 5.88	112.10 ± 17.65	111.61 ± 6.94
下半視野	99.22 ± 4.53	$107.81 \pm 7.84^{**}$	99.76 ± 5.09
振幅比			
上半視野	0.39 ± 0.08	$0.23 \pm 0.09^{****}$	$0.54 \pm 0.10^{***}$
下半視野	0.61 ± 0.08	$0.77 \pm 0.09^{****}$	$0.46 \pm 0.10^{***}$

Mann-Whitney's U test

平均 \pm 標準偏差

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$.

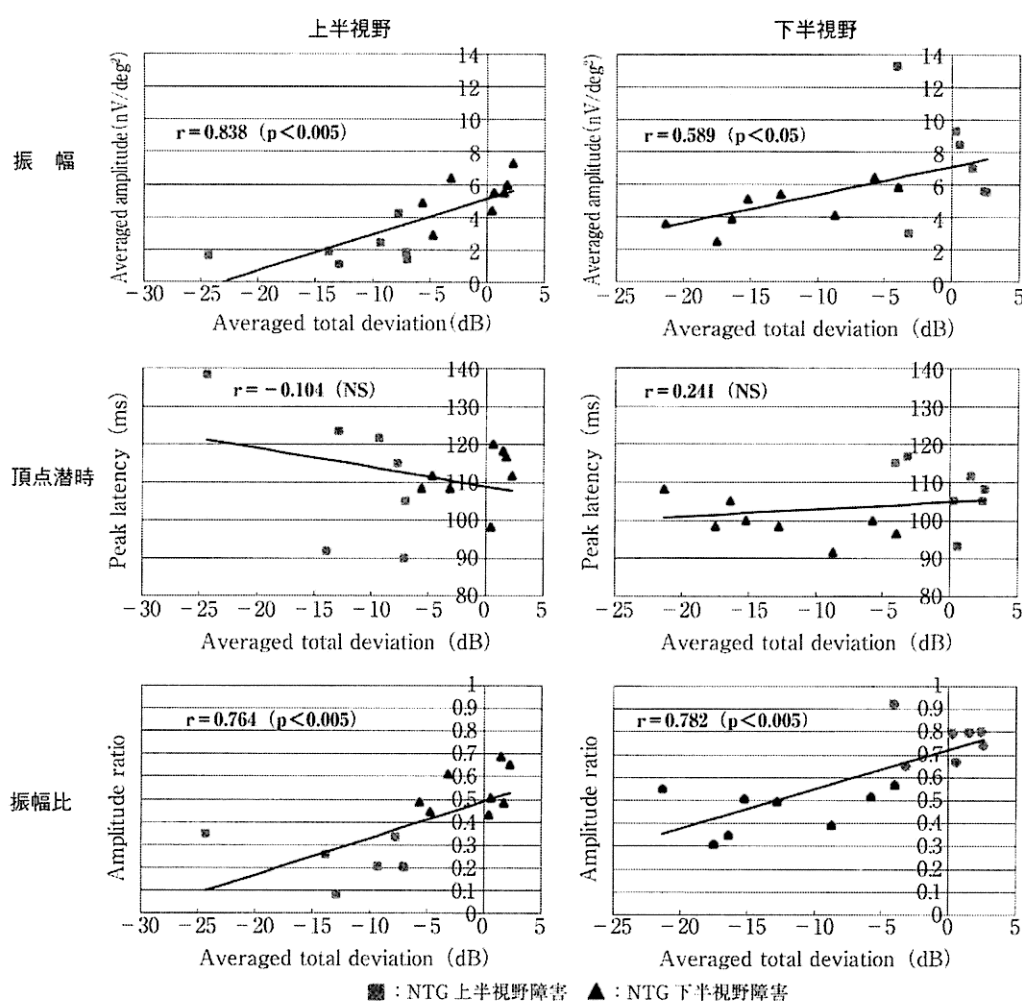


図 4 Total deviation と振幅、頂点潜時および振幅比の相関関係 (双極誘導)

c. 振 幅 比 (表 4)

上半振幅比 (上半/上半+下半) は、上半視野障害眼 0.23 および下半視野障害眼 0.54 で、正常者と上半視野障害 ($p < 0.001$) および下半視野障害 ($p < 0.005$) との間でそれぞれ有意差を認めた。下半振幅比 (下半/上半+下半) は、上半視野障害眼 0.77 および下半視野障害眼 0.46 で、正常者と上半視野障害 ($p < 0.001$) および下半視野障害 ($p < 0.005$) との間でそれぞれ有意差を認めた。

d. 振幅と total deviation の閾値の平均値との相関 (図 4)

Total deviation の閾値の平均値と上半視野の振幅 ($r = 0.838$) および下半視野の振幅 ($r = 0.589$) との間でそれぞれ有意な相関を認めた。

e. 頂点潜時と total deviation の閾値の平均値との相関 (図 4)

頂点潜時と total deviation の閾値の平均値では、上半視野および下半視野において有意な相関を認めなかった ($r = -0.104$, $r = 0.241$)。

f. 振幅比と total deviation の閾値の平均値との相関 (図 4)

上半視野および下半視野においてそれぞれの振幅比と

total deviation の閾値の平均値とは有意な相関を認めた (上半視野: $r=0.764$, 下半視野: $r=0.782$).

3. 正常者と NTG 患者との比較 (単極誘導)

a. 振 幅 (表 5)

上半視野では, 上半視野障害眼では $3.03 \pm 1.63 \text{ nV/deg}^2$ で正常者の振幅と有意差を示した ($p < 0.05$). 下半視野障害眼の振幅は $7.54 \pm 1.28 \text{ nV/deg}^2$ で正常者の振幅と有意差を示さなかった. 下半視野では, 上半視野障害眼の振幅は $11.31 \pm 4.78 \text{ nV/deg}^2$ で正常者の振幅と有意差を示さなかった. 下半視野障害眼の振幅は $6.61 \pm 2.98 \text{ nV/deg}^2$ で正常者の振幅と有意差を示した ($p < 0.05$).

b. 頂 点 潜 時 (表 5)

上半視野では, 上半視野障害眼の頂点潜時は $115.44 \pm$

表 5 単極誘導における多局所 VEP の振幅, 頂点潜時および振幅比

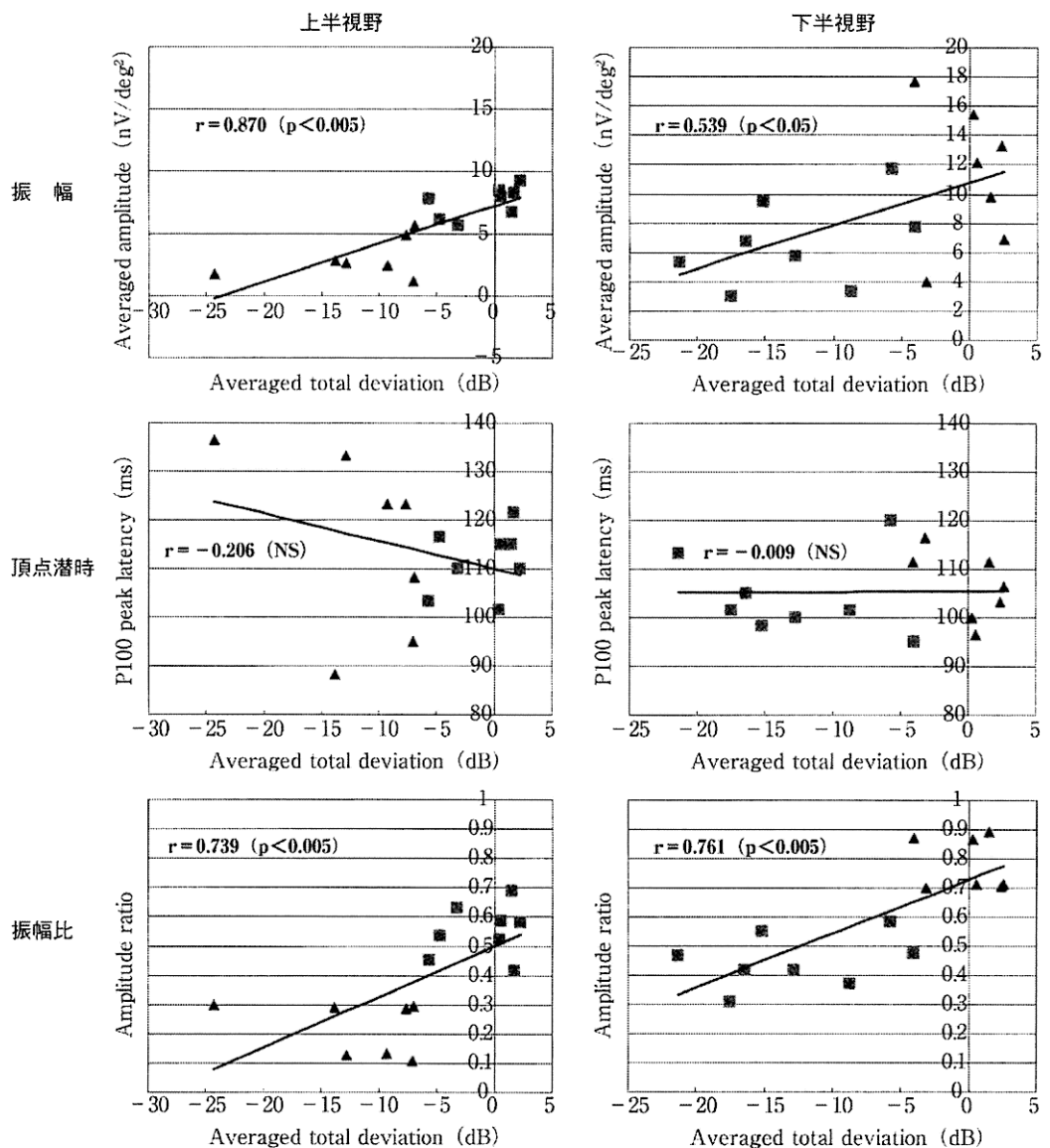
	正常者	上半視野障害	下半視野障害
振幅 (nV/deg^2)			
上半視野	6.28 ± 3.32	$3.03 \pm 1.63^*$	7.54 ± 1.28
下半視野	11.45 ± 5.50	11.31 ± 4.78	$6.61 \pm 2.98^*$
頂点潜時 (msec)			
上半視野	109.11 ± 10.79	115.44 ± 18.68	111.61 ± 6.78
下半視野	98.55 ± 4.97	$106.61 \pm 7.12^{**}$	$104.35 \pm 8.31^*$
振幅比			
上半視野	0.36 ± 0.12	$0.22 \pm 0.09^{**}$	$0.55 \pm 0.09^{***}$
下半視野	0.64 ± 0.12	$0.78 \pm 0.09^{**}$	$0.45 \pm 0.09^{***}$

Mann-Whitney's U test

平均 \pm 標準偏差.

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.005$, **** $p < 0.001$.

図 5 Total deviation と振幅, 頂点潜時および振幅比の相関関係 (単極誘導)



■: NTG 上半視野障害 ▲: NTG 下半視野障害

18.68 msec で正常者の頂点潜時と有意差を示さなかった。下半視野障害眼の頂点潜時は 111.61 ± 6.78 msec で正常者の頂点潜時と有意差を示さなかった。下半視野では、上半視野障害眼の頂点潜時は 106.61 ± 7.12 msec で正常者の頂点潜時と有意差を示した ($p < 0.01$)。下半視野障害眼の頂点潜時は 104.35 ± 8.31 msec で正常者の頂点潜時と有意差を示した ($p < 0.05$)。

c. 振幅比 (表 5)

上半振幅比 (上半/上半+下半) は、上半視野障害眼 0.22 および下半視野障害眼 0.55 で、正常者と上半視野障害 ($p < 0.01$) および下半視野障害 ($p < 0.005$) との間でそれぞれ有意差を示した。下半振幅比 (下半/上半+下半) は、上半視野障害眼 0.78 および下半視野障害眼 0.45 で、正常者と上半視野障害 ($p < 0.01$) および下半視野障害 ($p < 0.005$) との間でそれぞれ有意差を示した。

d. 振幅と total deviation の閾値の平均値との相関 (図 5)

Total deviation の閾値の平均値と上半視野の振幅 ($r = 0.870$) および下半視野の振幅 ($r = 0.539$) との間で有意な相関を認めた ($r = 0.870$)。

e. 頂点潜時と total deviation の閾値の平均値との相関 (図 5)

頂点潜時と total deviation の閾値の平均値では、上半視野および下半視野において有意な相関を認めなかった ($r = -0.206$, $r = -0.009$)。

f. 振幅比と total deviation の閾値の平均値との相関 (図 5)

上半視野および下半視野においてそれぞれの振幅比と total deviation の閾値の平均値とは有意な相関を認めた (上半視野: $r = 0.739$, 下半視野: $r = 0.760$)。

III 考 察

本報での結果の特徴を列記すると、まず正常者では、(1) 既報^{8,9)}と同じく 2 誘導とも上下半視野において波形の極性が反対で、また上半視野に比し下半視野の振幅が大きかった。(2) 上半視野および下半視野振幅は双極誘導に比し単極誘導で有意に大きかった (上半: 0.05, 下半: $p < 0.001$)。(3) 振幅比では 2 誘導間で上半および下半視野において有意差がみられた (両視野とも $p < 0.05$)。(4) 頂点潜時には双極誘導と単極誘導で有意差はみられなかった。しかしながら両誘導とも上半視野に比し下半視野で頂点潜時が短かった。

今回、正常者において上半視野と下半視野の振幅あるいは頂点潜時が異なり、下半視野の機能的優位性が示唆された。同様な報告⁸⁾は種々の指標、たとえばパターン視覚誘発電位 (PVECP)¹⁰⁾や黄斑局所 ERG¹¹⁾などで指摘されている。下半視野の優位性に関連する因子として、上方網膜と下方網膜における錐体視細胞密度¹²⁾や網膜神経線維層の厚さ¹³⁾など形態学的相違、ならびに Lehmann ら¹⁴⁾が指摘した上半網膜と下半網膜のシステムにおける機能的差異などが考えられてい

る。上半視野および下半視野振幅は双極誘導に比し単極誘導で有意に大きかったが、この傾向は NTG 患者でも同様な傾向を示した。これは上半視野刺激と下半視野刺激では双極子ベクトルに起因した頭皮上の応答が異なる¹⁵⁾ことによると思われる。また、本論文にはデータを明示していないが、単極誘導と双極誘導によって得られた個々の応答を比較すると、双極誘導のほうが中心部と周辺部の応答振幅の差が小さく、ノイズも低減する傾向がみられた。

今回検討した NTG 群は HFA において“正常半視野”を有するものであった。NTG 患者では障害視野において有意な振幅の低下がみられた。しかし“正常半視野”において有意差はなかったが振幅の低下がみられ、また下半視野の頂点潜時においても障害視野および“正常半視野”で頂点潜時の延長がみられた。加藤ら¹⁶⁾は NTG において共焦点レーザー走査型顕微鏡を用いて検討したところ、自動視野計にて“正常半視野”でもびまん性の視神経障害が生じていると報告した。Kondo ら¹⁷⁾は同様に上半あるいは下半視野異常を有する NTG において frequency-doubling perimetry を用い検討したところ“intact” hemifield に異常が検出されたという。金森ら¹⁸⁾は光干渉断層計を用い緑内障における上下半視野の網膜神経線維層厚を検討し、自動視野計にて正常な視野領域においても網膜神経線維層は障害されていたという。Thienprasiddhi ら¹⁹⁾は半視野障害を有する POAG において mfVEP を指標として検討し、unaffected hemifields においても異常は検出されたという。よって、本報の結果からも推して、比較的早期から“正常半視野”に機能障害が生じている可能性が示唆された。

今回、HFA (total deviation の閾値の平均値) と mfVEP の振幅、頂点潜時および振幅比との相関を検討したが、振幅ならびに振幅比に相関がみられた。Klistorner ら⁷⁾も、双極誘導で得られた mfVEP 応答と HFA における視野欠損との相関を報告した。本報では、振幅に関しては、正常者でもばらつきが多く経過を追うことが困難と考え、振幅比についても検討したが、HFA とよく相関し新たな指標の一つとなりうると思われた。一方、頂点潜時に関しては、相関を認めなかった。Grippio ら²⁰⁾は頂点潜時の延長がみられたのは緑内障患者の少数であり MD との明らかな相関はみられなかったという。よって、緑内障の早期検出やその進行程度などを検討する際には頂点潜時は指標として不適であるかもしれない。しかしながら、自動視野計にて“正常半視野”であっても mfVEP に異常がみられたことを鑑み、mfVEP は自動視野計に比しより高感度の視神経障害を検出する検査となりうると思われた。

最後に、本報では検査時間が片目で 16 分要し、特に高齢者では集中力を持続させることが困難な場合も考えられ、より短時間で同様な結果を得る工夫が必要と思われた。また今

回は上下視野の2象限をグループ化し検討したが、さらに象限を細分化し局所としての変化を捉えることが今後の課題であると思われた。

文 献

- 1) 岡野真弓, 直井信久, 新井三樹ほか: 緑内障における多入力局所網膜電図. 眼紀 **50**: 443-448, 1999
- 2) Fortune B, Bearse Jr MA, Cioffi GA et al: Selective loss of an oscillatory component from temporal retinal multifocal ERG responses in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* **43**: 2638-2647, 2002
- 3) Sakemi F, Yoshii M, Okisaka S: Multifocal electroretinograms in early primary open-angle glaucoma. *Jpn J Ophthalmol* **46**: 443-450, 2002
- 4) Baseler HA, Sutter EE, Klein SA et al: The topography of visual evoked response properties across the visual field. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* **90**: 65-81, 1994
- 5) Hood DC, Thienprasiddhi P, Greenstein VC et al: Detecting early to mild glaucomatous damage: a comparison of the multifocal VEP and automated perimetry. *Invest Ophthalmol Vis Sci* **45**: 492-498, 2004
- 6) Graham SL, Klistorner A, Goldberg I: Clinical application of objective perimetry using multifocal visual evoked potentials in glaucoma practice. *Arch Ophthalmol* **123**: 729-739, 2005
- 7) Klistorner AI, Graham SL, Grigg JR et al: Multifocal topographic visual evoked potential: Improving objective detection of local visual field defects. *Invest Ophthalmol Vis Sci* **39**: 937-950, 1998
- 8) 繪野亜矢子, 中村 誠, 山本 節: Bipolar occipital straddle電極を用いた multifocal VEP の検討. 眼紀 **50**: 431-436, 1999
- 9) Graham SL, Klistorner A: The diagnostic significance of the multifocal pattern visual evoked potential in glaucoma. *Curr Opin Ophthalmol* **10**: 140-146, 1999
- 10) 佐野信昭, 安達恵美子: 上半・下半網膜の空間周波数特性. 日眼会誌 **94**: 679-682, 1990
- 11) Miyake Y, Shiroyama N, Horiguchi M et al: Asymmetry of focal ERG in human macular region. *Invest Ophthalmol Vis Sci* **30**: 1743-1749, 1989
- 12) Østerberg GA: Topography of the layer of rods and cones in the human retina. *Acta Ophthalmol (Suppl)* **6**: 1-102, 1935
- 13) Harris A, Ishii Y, Chung HS et al: Blood flow per unit retinal nerve fibre tissue volume is lower in the human inferior retina. *Br J Ophthalmol* **87**: 184-188, 2003
- 14) Lehmann D, Skrandies W: Multichannel evoked potential fields show different properties of human upper and lower hemiretina systems. *Exp Brain Res* **35**: 151-159, 1979
- 15) 大出尚郎: VERIS と神経眼科. 眼科 **39**: 1051-1056, 1997
- 16) 加藤明子, 富田剛司, 河野吉喜ほか: 正常半視野を有する緑内障の視野と乳頭障害との関連. あたらしい眼科 **14**: 921-923, 1997
- 17) Kondo Y, Yamamoto T, Sato Y et al: A frequency-doubling perimetric study in normal-tension glaucoma with hemifield defect. *J Glaucoma* **7**: 261-265, 1998
- 18) 金森章泰, 瀬谷 隆, 山田裕子ほか: 緑内障における上下半視野の網膜神経線維層厚の光干渉断層計による解析. 日眼会誌 **108**: 213-218, 2004
- 19) Thienprasiddhi P, Greenstein VC, Chen CS et al: Multifocal visual evoked potential responses in glaucoma patients with unilateral hemifield defects. *Am J Ophthalmol* **136**: 34-40, 2003
- 20) Grippio TM, Hood DC, Kanadani FN et al: A comparison between multifocal and conventional VEP latency changes secondary to glaucomatous damage. *Invest Ophthalmol Vis Sci* **47**: 5331-5336, 2006

* * *