

多局所網膜電図正常眼一次核成分波形における局所波形の特徴

瀬川 要司

国立金沢病院眼科

要 約

目 的：正常眼の多局所網膜電図一次核成分波形を解析した。

対象と方法：正常被検者右眼で、サンプリング間隔 0.208 msec, 1 回の記録時間を 14 分 34 秒とし、多局所網膜電図を 9 回記録した。

結 果：再現性は応答密度に比して頂点潜時でより良好であった。N1, P1, N2 応答密度は中心部で最も大きく、周辺になるほど小さく、視神経乳頭付近で最も小さかった。N1, P1 頂点潜時は視神経乳頭付近で、N2 頂点潜時は中心部で最も長かった。分割加算波形の応答密度は、耳下側網膜と鼻下側網膜との間では有意には相

違せず、耳上側網膜では鼻下側網膜に比し有意に大きく、鼻上側網膜では耳上側網膜に比してさらに有意に大きかった。

結 論：正常眼多局所網膜電図一次核成分波形において、中心部では応答密度の増大、頂点潜時の延長が、視神経乳頭付近では応答密度の減弱、頂点潜時の延長があった。(日眼会誌 106 : 343—351, 2002)

キーワード：多局所網膜電図、一次核成分、正常値、応答密度、頂点潜時

Spatial Characteristics of the First-order Kernels of Multifocal Electretinogram Waveforms with High-rate Sampling and Long-duration Recording

Yoji Segawa

Department of Ophthalmology, Kanazawa National Hospital

Abstract

Purpose : Detailed analysis of normal multifocal electroretinogram (mERG) first-order kernels in man.

Methods : mERGs recorded repeatedly from a well-trained examinee were analyzed with a visual evoked response imaging system (VERIS). Sampling interval and recording duration were set to yield better resolution and lower S/N ratio. Reproducibility was tested in the “all trace” waveform. Focal variation of each of the 103 waveforms and regional variation of grouped waveforms were analyzed.

Results : The variation coefficient of the “all traces” waveform was lower for peak latencies than for response densities. Among the 103 focal waveforms, the response density was highest at the macular area and lowest around the optic nerve head. The central ring had the highest response

density and the longest peak latency among concentric annular areas. Response density was higher in the upper or nasal retina than in the lower or temporal retina. The area with higher response density demonstrated a tendency to show longer peak latency.

Conclusions : mERG response density was highest at the macular area and lowest around the optic nerve head. The N1 and P1 peak latencies were longest at the macular area and the N2 peak latency was longest around the optic nerve head. (J Jpn Ophthalmol Soc 106 : 343—351, 2002)

Key words : Multifocal electroretinogram, First-order kernels, Normal value, Response density, Peak latency

I 緒 言

Visual evoked response imaging system (VERIS,

メイヨー)を用いた多局所網膜電図 (multifocal electroretinogram, mERG) では複数部位の網膜局所の応答を同時に記録することができる。これまでの報告では、正

別刷請求先：920-8650 金沢市下石引 1-1 国立金沢病院眼科
(平成 13 年 5 月 10 日受付, 平成 14 年 1 月 10 日改訂受理)

Reprint requests to: Yoji Segawa, M.D. Department of Ophthalmology, Kanazawa National Hospital. 1-1 Shimoishibiki, Kanazawa 920-8650, Japan

(Received May 10, 2001 and accepted in revised form January 10, 2002)

常眼における一次核成分波形の特徴として、頂点潜時の再現性は振幅よりもよい¹⁾などの報告がある。しかし、VERIS の標準設定ではサンプリング間隔は 0.833 msec であり、頂点潜時の再現性を論じるには長すぎる。また、VERIS の標準設定では個々の振幅はきわめて小さく雑音の影響を強く受けやすい。そこでより精密な分析を行うために、1 回の記録時間を VERIS の標準設定の 4 倍である 14 分 34 秒に、サンプリング間隔を標準設定の 4 分の 1 の 0.208 msec に設定し、同一眼で多数回記録して一次核成分波形における局所波形の再現性や特徴について検討した。

II 実験方法

対象は、眼疾患および眼科的に問題となる全身的疾患を有さず、色覚、静的視野、眼底のいずれの検査においても異常なく、+0.5 D の遠視を有する固視の極めて良好な 35 歳男性(著者)の右眼である。

ミドリン P[®] (参天製薬)で瞳孔径約 9 mm に散瞳し、0.4% 塩酸オキシプロカイン(ペノキシール[®], 参天製薬)による点眼麻酔後、双極型コンタクトレンズ電極(京都コンタクトレンズ)を装着し、オートレフラクトメータで明視距離が約 33 cm であることを確認した。mERG 解析装置として VERIS Science Ver. 3.1.1(Electro Diagnostic Imaging 社)を用いた。75 Hz で黒または白となる 103 個の六角形の刺激エレメント(Hexagon 103)を用い、サンプリング間隔を 0.208 msec 毎(75 Hz の 1 フレーム当たり 64 データ点)、1 回の記録時間を 14 分 34 秒、バンドパスフィルタは 10~3 kHz に設定し、同一の条件で日を変えて 9 回 mERG を記録し、一次核成分波形について以下に述べる項目別に解析した。すべての解析において、計測対象は、あるエレメントに対応する波形をそのエレメントが網膜面に投影される角度面積に反比例するように相似的に拡大縮小した波形、すなわち、視角 1 平方角度当りに換算した波形(応答密度波形)とした。図 1 のように光刺激を与えた時点から波形の各頂点までの時間を頂点潜時(msec)、基線から波形の各頂点までの振幅を応答密度(nV/deg²)と定義した。得られた波形における陰・陽性波をそれぞれ頂点潜時の短いものから N1, P1, N2, P2, N3, P3, N4 および P4 とし(図 1)、そのうち N1, P1, N2 の頂点潜時、その応答密度を計測し、9 回の平均値を算出した。また、波形の指標として N1 振幅に対する N1・P1 頂点間振幅の比 $\{(N1-P1)/N1\}$ を算出した。有意差の検定には Student の t 検定を用い、1% 未満を有意差ありとした。すべての解析において spatial averaging や artifact removal などの処理は行わなかった。また、応答密度を算出するのにテンプレート法(scalar product method)を用いなかった。

また、時間領域 0~80 msec(0.208 msec 毎で 384 デ

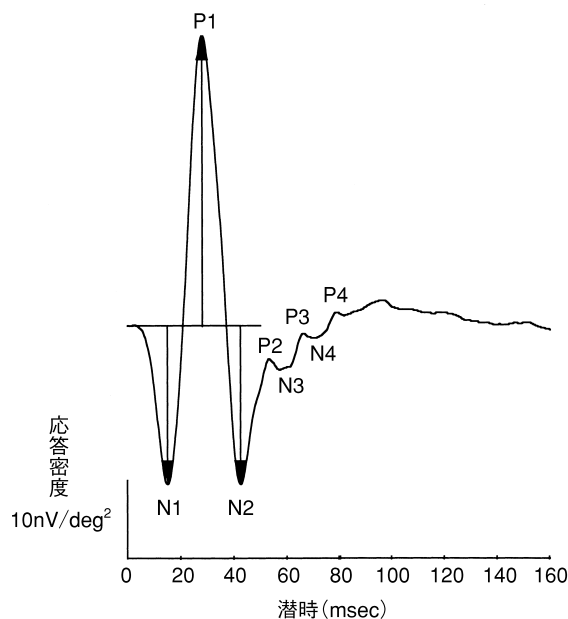


図 1 波形分析のための各頂点の定義。

全 103 エレメント領域の平均波形を示す(All traces 波形)。

$$\text{RMS 応答密度 (nV/deg}^2\text{)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \{ \text{応答密度}(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \text{応答密度}(n) \}^2}$$

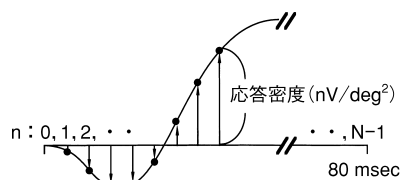


図 2 Root mean square (RMS) 応答密度の定義。

N: データ点 (384 個)

ータ点)の間で算出した root mean square(RMS, 図 2)を算出して得られる RMS 応答密度(nV/deg²)についても検討した。

網膜局所の波形の特徴を知るために、① 全 103 エレメント領域の平均波形である All traces 波形、② 中心領域から同心円状に Ring 1~6 に分割された領域の平均波形である Rings 波形、③ 全 103 エレメントの個々の波形、④ 中心を含む水平子午線上(No. 47~57)および垂直子午線上(No. 3+4, 11, 20+21, 31, 41+42, 52, 62+63, 73, 83+84, 93, 100+101)の個々の波形、⑤ 4 分割(耳下側、鼻下側、耳上側、鼻上側網膜)した領域の平均波形の比較、⑥ 鼻側および耳側網膜領域の平均波形、⑦ 上方および下方網膜領域の平均波形、の 7 種類で各々の領域(図 3)における波形を比較した。ただし、⑤~⑦では視神経乳頭に対応すると思われるエレメント(No. 56, 66, 67)とその水平および垂直対称部位を除外してある。

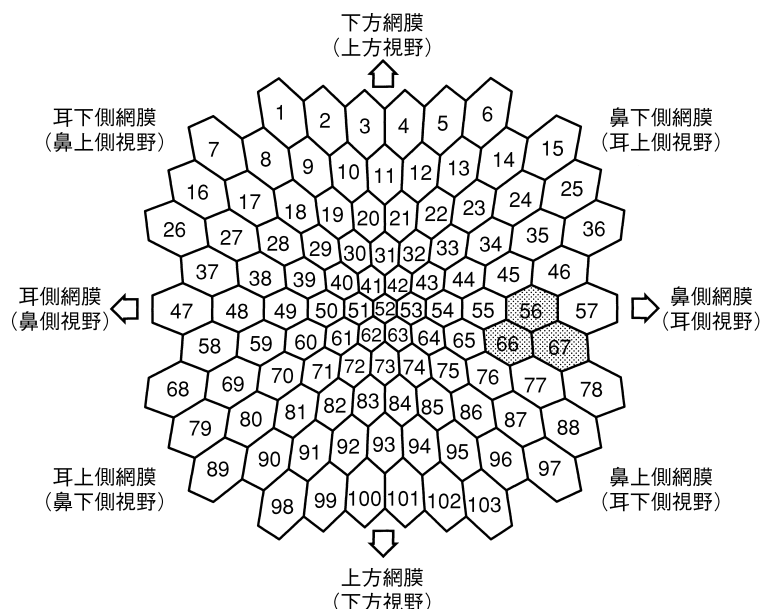


図 3 エレメント No. と領域の分け.

Ring 1 (No. 52)

Ring 2 (No. 53, 42, 41, 51, 62, 63)

Ring 3 (No. 54, 43, 32, 31, 30, 40, 50, 61, 72, 73, 74, 64)

Ring 4 (No. 55, 44, 33, 22, 21, 20, 19, 29, 39, 49, 60, 71, 82, 83, 84, 85, 75, 65)

Ring 5 (No. 56, 45, 34, 23, 13, 12, 11, 10, 9, 18, 28, 38, 48, 59, 70, 81, 91, 92, 93, 94, 95, 86, 76, 66)

Ring 6 (No. 57, 46, 35, 36, 24, 25, 14, 15, 6, 5, 4, 3, 2, 1, 8, 7, 17, 16, 27, 26, 37, 47, 58, 69, 68, 80, 79, 90, 89, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 96, 97, 87, 88, 77, 78, 67)

中心を含む水平方向 (No. 47~57)

中心を含む垂直方向 (No. 3+4, 11, 20+21, 31, 41+42, 52, 62+63, 73, 83+84, 93, 100+101; ただし+は2つのエレメントにおける波形の平均を意味する)

耳下側網膜領域 (No. 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 26, 27, 28, 29, 30, 39, 40, 41)

鼻下側網膜領域 (No. 4, 5, 6, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23, 24, 25, 32, 33, 34, 35, 36, 42, 43, 44)

耳上側網膜領域 (No. 60, 61, 62, 68, 69, 70, 71, 72, 79, 80, 81, 82, 83, 89, 90, 91, 92, 98, 99, 100)

鼻上側網膜領域 (No. 63, 64, 65, 74, 75, 76, 77, 78, 84, 85, 86, 87, 88, 94, 95, 96, 97, 101, 102, 103)

鼻側網膜領域 (No. 4, 5, 6, 12, 13, 14, 15, 21, 22, 23, 24, 25, 32, 33, 34, 35, 36, 42, 43, 44, 53, 54, 55, 57, 63, 64, 65, 74, 75, 76, 77, 78, 84, 85, 86, 87, 88, 94, 95, 96, 97, 101, 102, 103)

耳側網膜領域 (No. 1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 16, 17, 18, 19, 20, 26, 27, 28, 29, 30, 39, 40, 41, 47, 49, 50, 51, 60, 61, 62, 68, 69, 70, 71, 72, 79, 80, 81, 82, 83, 89, 90, 91, 92, 98, 99, 100)

上方網膜領域 (No. 60~65, 68~103)

下方網膜領域 (No. 1~36, 39~44)

III 結 果

1. All traces 波形

All traces 波形における N1, P1 および N2 の頂点潜時はそれぞれ 14.73 ± 0.30 (平均値 $\pm$ 標準偏差), 27.92 ± 0.25 , 42.28 ± 0.34 msec, 応答密度はそれぞれ 23.06 ± 2.41 , 44.67 ± 4.26 , 23.11 ± 1.39 (平均値 $\pm$ 標準偏差) nV/deg² であった (表 1, 2). また, N1, P1, N2 頂点潜時の変動係数はそれぞれ 2.0, 0.9, 0.8% であったのに対し, N1, P1, N2 応答密度の変動係数はそれぞれ 10.5, 9.5, 6.0% であった. 応答密度比 (N1-P1)/N1

は 2.94, (N1-P1)/(N2-P1) は 1.00 であった.

2. Rings 波形

Ring 1~6 領域の各波形を図 4 に, 各頂点潜時および応答密度を表 1, 2 および図 5 に示す. N1, P1, N2 頂点潜時はいずれも Ring 1 でそれぞれ 15.90 ± 0.80 , 28.28 ± 0.45 , 48.09 ± 0.62 msec と最も長く, All traces 波形の頂点潜時に比してそれぞれ 7.9, 1.3, 13.7% 長かった. また, N1 および N2 頂点潜時は Ring 4 で最も短く, それぞれ 14.40 ± 0.20 msec および 27.70 ± 0.24 msec であり, P1 頂点潜時は Ring 5 で最も短く 41.83 ± 0.32 msec であり, それぞれ All traces

表 1 各領域における N1, P1, N2 頂点潜時の平均値±標準偏差 (msec)

領域	N1	P1	N2
All traces	14.73±0.30	27.92±0.25	42.28±0.34
Ring 1	15.90±0.80	28.28±0.45	48.09±0.62
Ring 2	15.38±0.38	28.09±0.56	44.36±0.22
Ring 3	14.58±0.35	28.08±0.23	42.66±0.24
Ring 4	14.40±0.20	27.74±0.24	41.81±0.32
Ring 5	14.67±0.40	27.70±0.24	41.86±0.41
Ring 6	15.11±0.39	28.20±0.35	42.39±0.44
上方網膜	14.76±0.26	28.33±0.27	42.39±0.32
下方網膜	14.69±0.25	27.68±0.31	42.06±0.30
鼻側網膜	14.71±0.25	28.20±0.27	42.41±0.28
耳側網膜	14.76±0.41	27.77±0.33	41.99±0.47
鼻上側網膜	14.73±0.20	28.42±0.24	42.41±0.27
鼻下側網膜	14.60±0.26	27.86±0.36	42.17±0.33
耳上側網膜	14.78±0.46	28.16±0.46	42.28±0.50
耳下側網膜	14.71±0.25	27.43±0.24	41.76±0.46

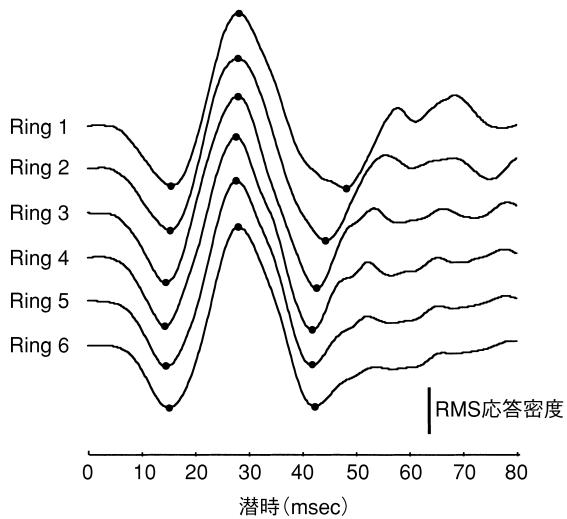


図 4 Ring 1～6 領域の各波形。
波形の形状を比較するために正規化 (normalized averages) しており，縦軸のスケールは各波形の RMS 応答密度の大きさに相当する。

波形の頂点潜時に比し 2.2, 0.8, 1.1% 短かった (図 5)。

N1, P1, N2 応答密度は，いずれも周辺(Ring 6)から中心(Ring 1)にいくほど有意に大きくなった (図 5)。波形の形状に関しては，周辺(Ring 6)から中心(Ring 1)にいくほど P2, P3 はより明瞭になり，その頂点潜時は長い傾向にあった (図 4)。Ring 6 における応答密度に対する Ring 1 における応答密度の比，すなわち，Ring 1/ Ring 6 比は N1, P1, N2 に関してそれぞれ 5.0, 4.3, 5.4 であった。

N1 頂点潜時の比較では Ring 1 と Ring 2 との間，Ring 1 と Ring 6 との間，Ring 2 と Ring 6 との間，

表 2 各領域における N1, P1, N2 応答密度の平均値±標準偏差 (nV/deg²)

領域	N1	P1	N2
All traces	23.06±2.41	44.67±4.26	23.11±1.39
Ring 1	95.03±11.70	167.59±11.51	98.93±12.94
Ring 2	53.06±5.67	95.03±9.20	62.13±5.54
Ring 3	36.52±4.62	62.02±6.60	39.32±3.48
Ring 4	27.94±2.89	50.13±5.13	29.29±2.68
Ring 5	21.74±2.23	42.48±4.25	21.41±1.24
Ring 6	18.53±1.94	38.28±3.52	18.06±1.17
上方網膜	23.30±2.17	245.29±4.04	24.13±1.46
下方網膜	22.73±2.67	43.89±4.66	22.33±1.54
鼻側網膜	23.06±2.28	44.54±3.82	23.94±1.38
耳側網膜	22.94±2.63	44.90±4.75	22.69±1.57
鼻上側網膜	23.70±2.22	45.58±3.72	25.06±1.56
鼻下側網膜	22.20±2.36	43.14±4.00	22.39±1.44
耳上側網膜	22.49±2.18	44.41±4.35	22.66±1.29
耳下側網膜	22.82±3.04	44.36±5.35	21.97±1.76

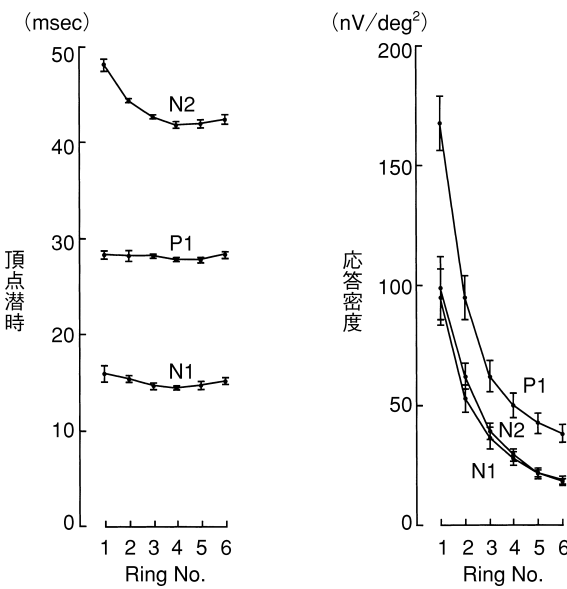


図 5 Ring 1～6 領域各波形の頂点潜時と応答密度。

Ring 3, Ring 4 および Ring 5 の任意の 2 つの Ring の間，Ring 5 と Ring 6 との間で，N2 頂点潜時では Ring 3 と Ring 6 との間，Ring 4 と Ring 5 との間でいずれも有意差がなかったが，それ以外の組み合わせの間ではすべて有意差があった。一方，P1 頂点潜時では Ring 1 と Ring 4 との間，Ring 1 と Ring 5 との間，Ring 3 と Ring 4 との間，Ring 3 と Ring 5 との間，Ring 4 と Ring 6 との間，Ring 5 と Ring 6 との間で有意差があったが，それ以外の組み合わせの間では有意差がなかった。また，P1 応答密度の比較では Ring 5 と Ring 6 との間で有意差はなかったが，それ以外のすべての応答密度で有意差があった。

(N1-P1)/N1 比は Ring 1 で 2.77 ± 0.11 , Ring 2 で 2.79 ± 0.05 , Ring 3 で 2.70 ± 0.05 , Ring 4 で 2.80 ± 0.07 , Ring 5 で 2.95 ± 0.05 , Ring 6 で 3.07 ± 0.04 であり, Ring 3 では Ring 1 を除く他のすべての領域に比較して有意に小さく, Ring 5 では Ring 1~4 に比較して, また, Ring 6 では他のすべての領域に比較して有意に大きかった。

3. 個々の波形

図 6 に 103 個の全波形を, 図 7 に N1, P1, N2 頂点潜時および N1, P1, N2 応答密度のグレイスケール表示

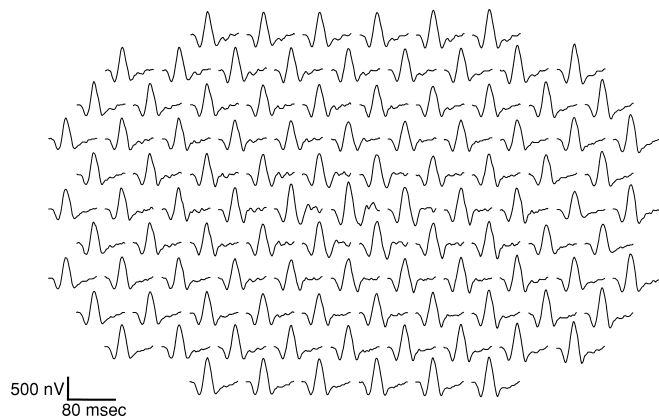


図 6 103 個の全波形.

加算プログラムで 9 回分を加算平均した全 103 個の波形. これらの波形は加算結果を刺激面積で割っていないので, 縦軸のスケールの単位は nV である.

を示す. N1 頂点潜時は視神経乳頭付近に対応するエレメント (No. 67) で最も長く, P1 頂点潜時も視神経乳頭付近に対応するエレメント (No. 66 および 67) で最も長く, N2 頂点潜時は中心のエレメント (No. 52) で最も長かった. N1, P1, N2 頂点潜時は中心を通る垂直子午線を挟んで視神経乳頭と対称に位置するエレメント (No. 48) で最も短かった. また, N1, P1, N2 応答密度はすべて中心のエレメント (No. 52) で最も大きく, 視神経乳頭付近に対応するエレメント (No. 56, 66, 67) で最も小さかった.

図 8 に RMS 応答密度のグレイスケール表示を示す. RMS 応答密度も N1, P1, N2 応答密度と同様に中心のエレメント (No. 52) で最も大きく (68.00 nV/deg^2), 視神経乳頭付近に対応するエレメント (No. 67) で最も小さかった (12.22 nV/deg^2).

4. 中心を含む水平子午線上および垂直子午線上の波形

図 9 に中心を含む水平子午線上の波形を, 図 10 にその頂点潜時および応答密度を示す. 視神経乳頭に対応する部位 (No. 56) ではその対称部位 (No. 48) に比して有意な N1, P1, N2 頂点潜時の延長および N1, P1, N2 応答密度の低下が, No. 53 ではその対称部位 (No. 51) に比して有意な N2 頂点潜時の延長および P1 応答密度の低下が, No. 54 ではその対称部位 (No. 50) に比して有意な N2 頂点潜時の延長があったが, それ以外は鼻側網膜と耳側網膜との間でほぼ対称であった.

図 11 に中心を含む垂直子午線上の波形を, 図 12 にそ

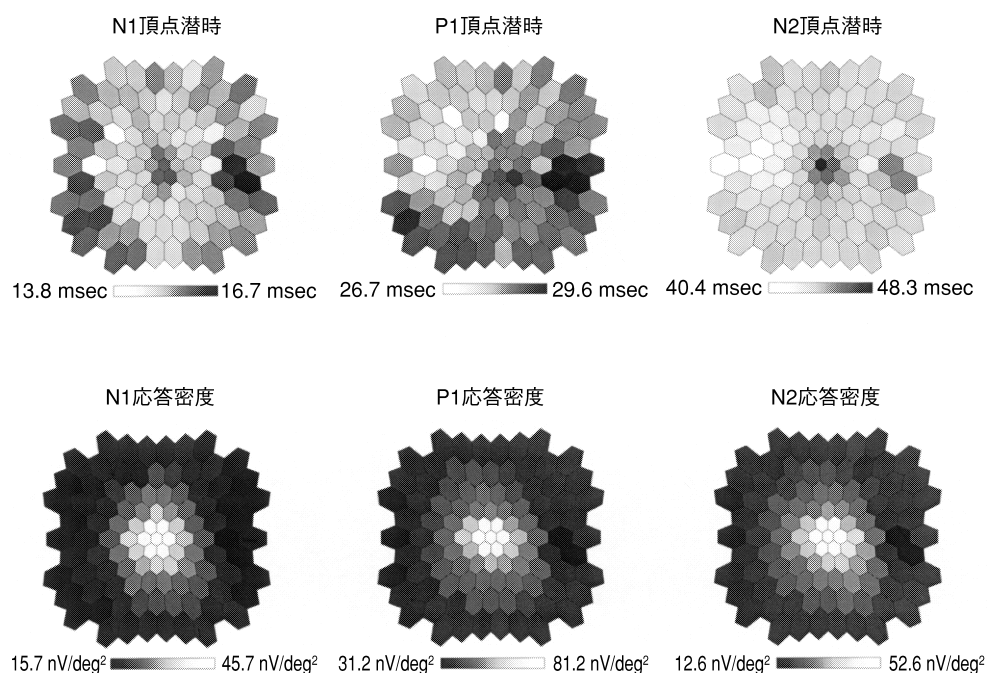


図 7 N1, P1, N2 頂点潜時および応答密度のグレイスケール表示.

頂点潜時では最短潜時を白色で, 最長潜時を黒色で表示した. 応答密度では最小応答密度を黒色で, 最大応答密度の 37.0~47.2% を白色で表示した (これらは VERIS では作成できない).

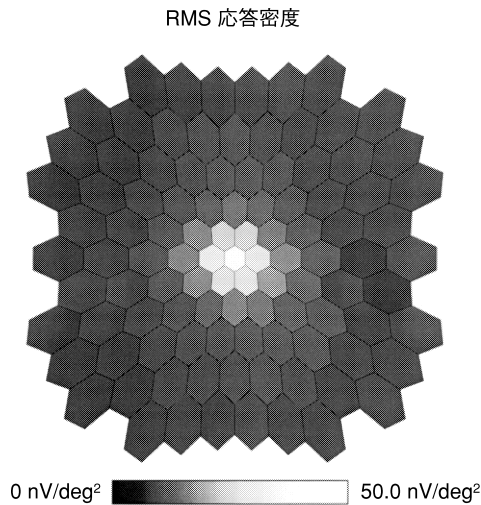


図 8 RMS 応答密度のグレースケール表示。
RMS 応答密度では 0 nV/deg²を黒色で、最大応答密度の 44.1%を白色で表示した。

の頂点潜時および応答密度を示す。頂点潜時および応答密度ともに上方網膜と下方網膜との間でほぼ対称であった。

5. 水平 2 分割波形

各領域の頂点潜時および応答密度を表 1, 2 に示す。上方網膜では下方網膜に比し P1, N2 潜時は有意に長く、N2 応答密度は有意に大きかった。RMS 応答密度の平均値は上方網膜 (18.32 ± 1.81 nV/deg²) では下方網膜 (17.53 ± 1.98 nV/deg²) に比して有意に大きかった。

6. 垂直 2 分割波形

各領域の頂点潜時および応答密度を表 1, 2 に示す。鼻側網膜では耳側網膜に比し P1, N2 潜時は有意に長く、N2 応答密度は有意に大きかった。RMS 応答密度の平均値には鼻側網膜 (17.93 ± 1.72 nV/deg²) と耳側網膜 (17.64 ± 2.03 nV/deg²) との間で有意差はなかった。

7. 4 分割波形

各領域における頂点潜時および応答密度を表 1, 2 に示す。耳下側網膜において P1 潜時は他の 3 か所に比し有意に短く、N2 潜時は鼻上側網膜に比し有意に短かった。鼻下側網膜の P1 潜時は鼻上側網膜に比し有意に短く、鼻上側網膜において N2 応答密度は他の 3 つの領域に比し有意に増大していた。

耳下側、鼻下側、耳上側および鼻上側網膜における RMS 応答密度の平均値は、それぞれ 17.42 ± 2.16 , 17.39 ± 1.78 , 17.86 ± 1.93 および 18.47 ± 1.69 nV/deg²であった。RMS 応答密度は耳下側網膜と鼻下側網膜の間では有意差を示さず、耳上側網膜では鼻下側網膜に比し有意に大きく、鼻上側網膜では耳上側網膜に比してさらに有意に大きかった。

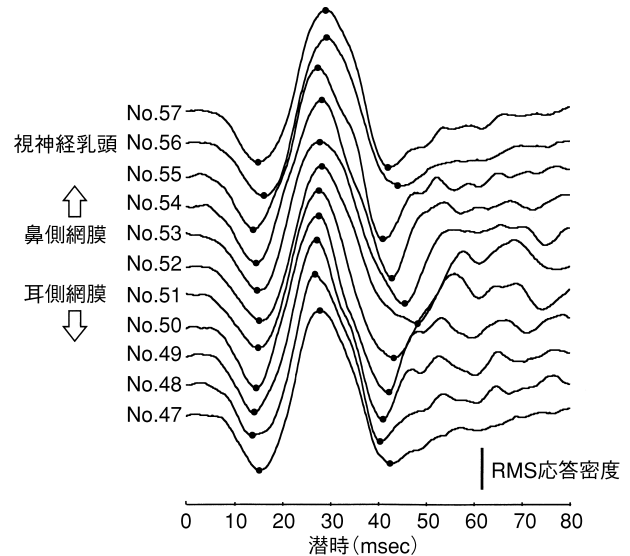


図 9 中心を含む水平方向の個々の波形。

波形の形状を比較するために正規化(normalized averages)してあり、縦軸のスケールは各波形の RMS 応答密度の大きさに相当する。No. 56 は視神経乳頭に相当する。

IV 考 按

All traces 波形 9 回測定における頂点潜時は N1 で 14.73 ± 0.30 , P1 で 27.92 ± 0.25 , N2 で 42.28 ± 0.34 msec であったが、9 回のうちの最短および最長頂点潜時は、それぞれ N1 で 14.2, 15.0, P1 で 27.7, 28.3, N2 で 41.9, 42.9 msec であり、非常にその分布範囲は狭かった。もしも同じデータを標準設定のサンプリング間隔である 0.83 msec 毎で記録したならば、頂点潜時は N1 では 14.2 または 15.0 msec のいずれかに、P1 では 27.5 または 28.3 msec のいずれかに、N2 では 41.7, 42.5 または 43.3 msec のいずれかに計測されてしまうことになり、その結果を基にした比較や検討は信頼性が低くなると考えられる。また、今回の検討では、4 分割、鼻側耳側、上方下方の比較において頂点潜時および応答密度に有意差があったが、例えば上方網膜と下方網膜で P1 頂点潜時の比較解析をサンプリング間隔 0.83 msec 毎で行うと有意差は消失する。よって、頂点潜時に関して詳細な検討を行う場合には、できるだけサンプリング間隔を短くして記録を行うべきである。波形の s/n 比からすると、よりサンプリング間隔を短くすることによってより詳細な解析も可能と思われるが、VERIS science 3.1.1 では 0.208 msec より短く設定することはできない。

本報の同一被検者における All traces 波形の 9 回計測において、N1, P1, N2 頂点潜時の変動係数はそれぞれ 2.0, 0.9, 0.8% であり、応答密度の変動係数(それぞれ 10.5, 9.5, 6.0%)よりも小さい。複数の被検者

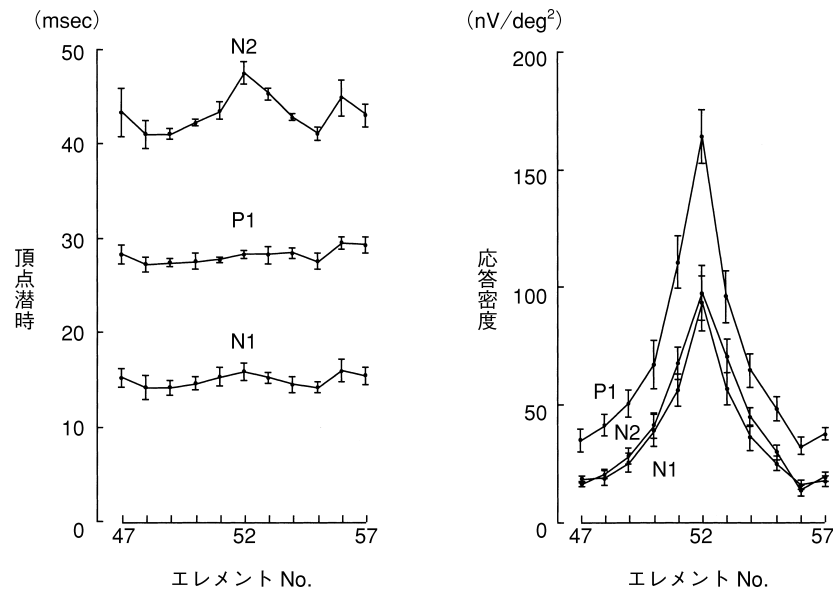


図 10 中心を含む水平方向の個々の各波形における応答密度と頂点潜時。

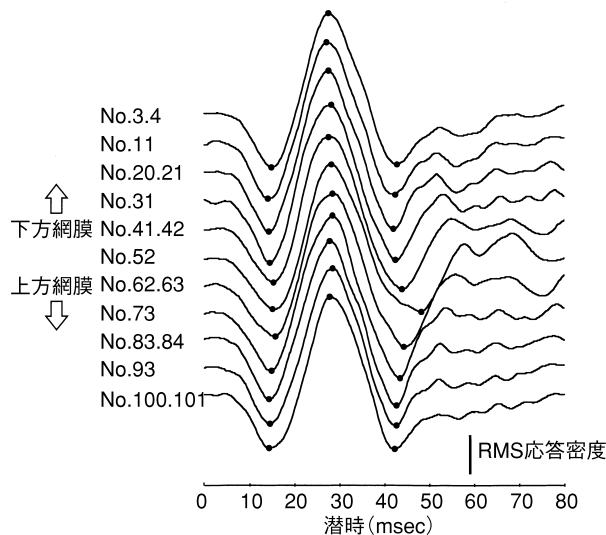


図 11 中心を含む垂直方向の個々の各波形。

波形の形状を比較するために正規化(normalized averages)しており、縦軸のスケールは各波形の RMS 応答密度の大きさに相当する。

を対象とした他の報告¹⁾においても、頂点潜時の再現性は応答密度の再現性よりも良好であるから、mERG の異常を論ずるには応答密度よりも頂点潜時を検討の方が説得力をもつ。しかし、その差が 0.833 msec に満たないような場合、サンプリング間隔が 0.833 msec では看過されてしまう可能性がある。一方、応答密度の読み取りステップは各頂点において 0.1 nV/deg²であるから、サンプリング間隔がサンプリングドロップアウトが出ないほどに十分短ければ 20~50 nV/deg²程度の値の比較検討には十分であろう。

視野検査におけるマリ奥特盲点は、エレメント No. 56, 66 および 67 付近に相当すると考えられる。No. 66

および 67 では P1 頂点潜時が最も延長しており、No. 67 では N1 頂点潜時が最も延長し、N1, P1 応答密度が最も小さかったことから、これらの応答密度の低下や頂点潜時の延長はマリ奥特盲点の影響と考え、今回の検討では領域を分割して分析する場合には No. 56 だけでなく No. 66, 67 も、そして、その水平および垂直対称部位も除外した。

Rings 波形の分析において N1, P1, N2 頂点潜時はいずれも中心の Ring 1 で最も長く、All traces 波形の頂点潜時より 1.3~13.7% 延長していた。機能的には最も優位にある中心部 Ring 1 の波形が、他の Ring に比べて応答密度増大、頂点潜時短縮ではなく、有意に応答密度増大(N1, P1, N2 で $p=10^{-6}\sim 10^{-15}$)、頂点潜時延長(N2 で $p=10^{-11}\sim 10^{-14}$)を呈したことは極めて興味深い。また、中心部の影響と考えられるが、Rings 波形、4 分割、2 分割加算波形いずれの分析においても同様に応答密度増大領域では潜時延長を伴う傾向にあった。応答密度の減弱に伴って頂点潜時が延長していた部位は、視神経乳頭に対応する部分と Ring 5, 6 などの周辺部のみであった。これらの結果から考えると、潜時延長と振幅低下が、すなわち機能低下を意味するという従来の全視野刺激 ERG の解釈が少なくとも中心部の mERG には該当しないことを推定する。

長友ら²⁾によると実測した VERIS の刺激モニター画面の輝度は周辺部より中心部で 3 割程度大きいといい、Yoshii ら³⁾によると ND フィルタによって網膜照度を暗くすると P1 頂点潜時は延長したというから、これらの結果から推察すると中心部の頂点潜時は短縮しそうであるが、実際には明らかに他の部位に比較して延長していた。もしモニター画面の周辺部輝度を中心部並みにしたとすると、中心部の頂点潜時の延長はより顕著になる可

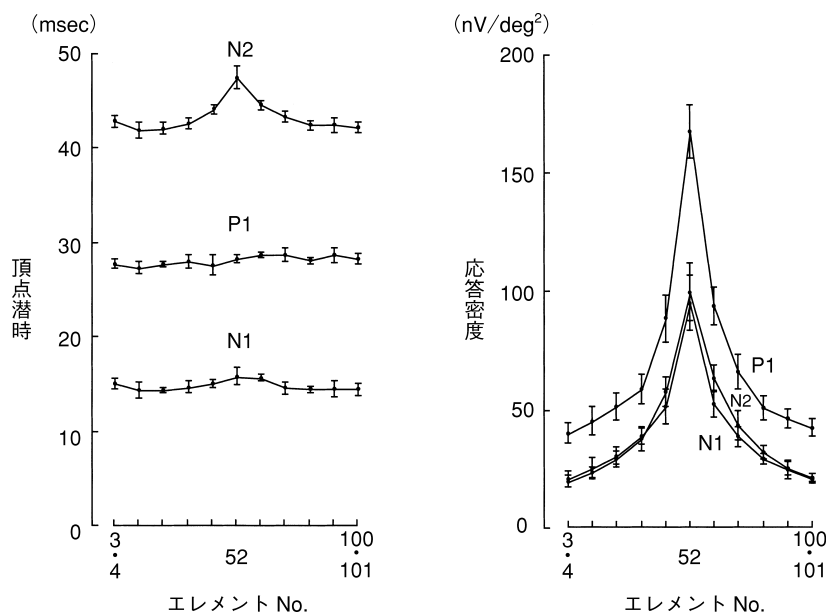


図 12 中心を含む垂直方向の個々の各波形における応答密度と頂点潜時。

能性が高い。また、林ら⁴⁾は黄斑局所 ERG において、中心 5°, 10°, 15° のいずれの間においても潜時および b/a ratio [応答密度比 (N1-P1)/N1 に相当] に有意差はないとしているが、mERG では中心部で頂点潜時は延長し、応答密度比 (N1-P1)/N1 は Ring 3 で最も小さく、Ring 6 で最も大きかった。刺激方法は異なるが、このことも過去の報告との相違点である。

N1, P1, N2 の応答密度の Ring 1/Ring 6 比はそれぞれ 5.0, 4.3, 5.4 であり、中心ほど応答密度は大きい。しかし、この所見は非常に固視良好な被検者の場合であり、固視不良になれば Ring 1/Ring 6 比は低下するので、固視不良を来しやすい黄斑部疾患の評価には注意を要する。

水平子午線上の波形において、近藤ら⁵⁾は正常者 21 眼での検討で、中心付近で耳側網膜の応答密度は鼻側網膜に比し有意に大きかったとしている。彼らはテンプレート法で応答密度を算出しているので単純には比較できないが、本検討においては P1 応答密度で有意に同様の傾向があった。

Verdon ら⁶⁾は正常者 50 眼で 4 分割加算波形の応答密度には場所による有意差はなかったとしているが、本検討における上方網膜と下方網膜の比較では上方網膜の P1, N2 応答密度および RMS 応答密度は下方に比し有意に大きく、鼻側網膜と耳側網膜の比較では鼻側網膜の N2 応答密度は耳側に比し有意に大きかった。また、4 分割加算波形を比較すると、鼻上側網膜の N2 応答密度は他の 3 か所に比し有意に増大し、耳下側網膜と鼻下側網膜に対し耳上側網膜の RMS 応答密度は有意に大きく、またそれ以上に鼻上側網膜の RMS 応答密度は有意に大きかった。これらの結果からすると、応答密度は水

平 2 分割では下方に対して上方網膜が優位、垂直 2 分割では耳側網膜に対して鼻側網膜が優位、水平垂直 4 分割では鼻上側網膜が最も優位で耳上側網膜がこれに続くという分布を示し、この分布は視野の感度分布⁷⁾に酷似するから、応答密度が視野の感度分布を反映している可能性がある。しかし、今回の結果では各領域間の応答密度の差が 3.1~14.2% 程度なのに対して応答密度の変動係数が 6.0~10.5% もあるので、応答密度と視野の感度分布を一義的に論じることは困難であり、多数の被検者での検討が待たれる。

今回、サンプリング間隔を細かくし記録時間を長くすることによって、またコンタクトレンズ電極の良好な装着状態を自ら確認しながら計測することによって、以上のように正確な一次核成分波形における局所波形の特徴を知ることができた。これらの結果は mERG を解釈する際に有用な資料となろう。

稿を終えるに臨み、ご校閲を賜りました金沢大学大学院医学系研究科光情報伝達学、河崎一夫教授、白尾 裕助教授に深謝いたします。

文 献

- 1) 青柳康二, 木村保考, 磯野博明, 秋山英雄, 菅原隆博: 多局所網膜電図の再現性および波形分析. 日眼会誌 102: 340-347, 1998.
- 2) 長友顕子, 丸岩 太, 直井信久, 澤田 惇: 多局所網膜電図による正常眼の解析. 日眼会誌 100: 363-368, 1996.
- 3) Yoshii M, Yanashima K, Wakaguri T, Sakemi F, Kikuchi Y, Suzuki S, et al: A basic investigation of multifocal electroretinogram: Reproducibility and effect of luminance. Jpn J Ophthalmol 44:

122—127, 2000.

4) 林 博文, 三宅養三, 堀口正之, 谷川篤宏, 近藤峰生, 鈴木 聡: 黄斑部局所網膜電図の加齢変化. 日眼会誌 101: 417—422, 1998.

5) 近藤峰生, 三宅養三, 堀口正之, 鈴木 聡, 伊藤逸毅, 谷川篤宏: 正常者における多局所網膜電図の応答密度の検討. 日眼会誌 101: 417—422, 1998.

6) Verdon WA, Haegerstrom-Portnoy G: Topography of the multifocal electroretinogram. Doc Ophthalmol 95: 73—90, 1998.

7) 松尾治亘: 視野. 日眼会誌 68: 1815—1854, 1964.
