

正常人多焦视网膜电图的特征

谭浅 刘双珍 许雪亮 夏朝华

[摘要] **目的** 探讨正常人多焦视网膜电图 (multifocal electroretinogram mERG) 在视网膜的分布特征, 以获得正常参考值。**方法** 应用法国 Metrovision 公司生产的 Vision Monitor 视觉诱发系统检测 15 例 (24 眼) 正常人 mERG, 检测视野的水平视角 $\pm 30^\circ$, 垂直视角 $\pm 23^\circ$, 采用 ERG-jet 接触镜电极, 于 5min 记录 61 个视网膜部位的反应。**结果** 黄斑中心凹 N_1 波、 P_1 波、 N_2 波的振幅密度最大, 分别为 $(47.26 \pm 19.51) \text{ nV/deg}^2$, $(118.22 \pm 45.08) \text{ nV/deg}^2$, $(127.55 \pm 38.83) \text{ nV/deg}^2$, 向周边振幅密度逐渐降低; N_1 波、 P_1 波的颞侧振幅密度较鼻侧大; P_1 波、 N_2 波的颞上区振幅密度较鼻下区大。黄斑中心凹 P_1 波、 N_2 波的潜伏期均较其他各区缩短;**结论** mERG 的各波振幅密度的与视网膜感光细胞的分布基本一致, 能准确、客观的反映视网膜各部位的功能。

[关键词] 正常人 多焦视网膜电图

Spatial characteristics of multifocal electroretinogram in normal subjects Tan Qian, Liu Shuangzhen, Xu Xueliang, Xia Chaohua. Ophthalmic Department of Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410008, China

[Abstract] **Objective** To test distributive character of multifocal electroretinogram (mERG) in normal subjects and to obtain reference values. **Methods** The mERG by using Vision Monitor visual evoked response imaging system were tested for 15 subjects (24 eyes). The stimulative visual angles subtended $\pm 30^\circ$ horizontally and $\pm 23^\circ$ vertically. ERG-jet contact lens electrode was used to record the response from 61 retinal locations in 5 min. **Results** The amplitude densities of N_1 wave, P_1 wave and N_2 wave were greatest at the central fovea, they were $(47.26 \pm 19.51) \text{ nV/deg}^2$, $(118.22 \pm 45.08) \text{ nV/deg}^2$ and $(127.55 \pm 38.83) \text{ nV/deg}^2$ respectively, the densities reducing towards more peripheral location. The amplitude densities of N_1 wave and P_1 wave at the temporal retina were greater than that at the nasal retina. The amplitude densities of P_1 wave and N_2 wave at superior-temporal quarter were greater than that at inferior-nasal quarter. The latencies of P_1 wave and N_2 wave were shortest at the central fovea in all fields. **Conclusion** The distribution of the amplitudes densities of the retinal response components of the mERGs elicited from normal subjects correlated with the distribution of human photoreceptor. This suggests that the mERG be able to reflect the visual function at different retinal location correctly and objectively and provide normal reference limits.

自从上个世纪 90 年代初, Sutter 等^[1] 提出应用多焦视网膜电图 (Multifocal electroretinogram, mERG) 来定量和直观评价视网膜的功能, 已逐渐在临床及科研上得到了推广。mERG 是应用 m 系列控制伪随机刺激方法, 达到同时分别刺激视网膜多个不同部位, 用计算机提取波形, 并使视网膜各部位的反应振幅及潜伏期构成立体地形图。本研究旨在探讨正常人多焦 ERG 特征, 为临床提供参考数据。

对象与方法

一、对象

作者单位：中南大学湘雅医院眼科 邮编 410008

对 15 例（24 眼）正常人进行多焦 ERG 的检查，其中男 9 例，女 6 例；年龄 16~54 岁，平均 31.67 岁；右眼 11，左眼 13。裸眼或矫正视力均 ≥ 1.0 ，屈光度在 +1.0~-2.0D 之间，经裂隙灯和检眼镜检查，无屈光间质和眼底病变，无全身性疾病。

二、仪器及检查方法

1. 仪器

应用法国 Metrovision 公司生产的 Vision Monitor 视觉诱发系统，该仪器包括 4 个主要的组成部分：刺激器、放大器、计算机和打印机。

2. 方法

(1) 刺激条件：选用了高亮度、高分辨率、高刷新率的 50cm 彩色光电刺激器，帧频为 120Hz，m 系列的长度为 $2^{15}-1$ 。屏幕最大亮度为 $200\text{cd}/\text{m}^2$ ，最小亮度为

$<0.001\text{cd}/\text{m}^2$ ，平均 $30\text{cd}/\text{m}^2$ ，对比度为 96%。刺激图形为随离心度增加而增大的六边形阵列。该阵列共有 61 个六边形组成（见图一），刺激屏对应的视角为水平 $\pm 30^\circ$ ，垂直 $\pm 23^\circ$ 。以中央红点为固视点，同时配有红外摄像系统，以监视眼球的固视情况。

(2) 记录参数：放大器的放大倍数为 100K，低频截止为 3Hz，高频截止为 100Hz，反应采样频率 1200Hz，即两次反应的间隔时间 0.833ms。反应阶数选用仪器的默认值一阶反应（first-order kernel）

(3) 记录方法：受检者用复方托品酰胺散瞳，瞳孔直径 $\geq 7\text{mm}$ 。1% 的卡因角膜表面麻醉后植入 ERG-jet 接触镜电极，负电极及地电极为 Ag-AgCl 贴片皮肤电极。从计算机显示屏中观察眼球部位，调节固视点和屈光聚焦位。待准备工作完成后，给予黑白交替的闪光刺激，蓝色的背景，刺激共 5 分钟。

3. 图形及数值基本表示方法

用 Vision Monitor 系统的测试典型的波形是一个反应开始后的第 1 个负向紧接着第二个正向的双极波，在其后面出现第三个负向的波，分别为 N_1 、 P_1 和 N_2 波（见图二）。有 6 种基本表现形式：(1) 显示各局部反应的波形；(2) 显示不同区域的反应密度曲线图及条形图；(3) 显示振幅密度的二维彩图；(4) 显示潜伏期的二维彩图；(5) 显示振幅密度的三维彩图；(6) 显示潜伏期的三维彩图。在数值方面有 2 种显示形式：(1) 以各波的振幅密度值（即单位面积的振幅值 nV/deg^2 ）表示；(2) 以潜伏期的测量值 (ms) 表示。

4. 视网膜的分区方法：

(1) 从水平中线将视网膜分成上半区和下半区，从垂直中线将视网膜分成颞侧区和鼻侧区，得到该 4 个区的 N_1 波、 P_1 波、 N_2 波的振幅密度及潜伏期值。

(2) 从水平中线和垂直中线将视网膜分成颞上、颞下、鼻上和鼻下 4 个区域，获得每个区的 N_1 波、 P_1 波、 N_2 波的振幅密度及潜伏期值。

(3) 从中心 0° 起按不同离心度做 5 个环形区，第 1 区代表离中心 2° 以内的环，第 2、3、4、5 区代表离中心 $2\sim 5^\circ$ 、 $5\sim 10^\circ$ 、 $10\sim 15^\circ$ 、 $>15^\circ$ 的一个环。每个环的 N_1 波、 P_1 波、 N_2 波的振幅密度和潜伏期。

5. 注意事项:

(1) 要有良好的固视效果，因为此方法必须在视网膜上做精确的定位，任何偏离中心凹的固视，将产生局部视网膜功能的变异。

(2) 接触镜要与角膜很好的接触，防止进入气泡而影响检查效果。

(3) 尽量减少眨眼和眼球转动，可通过受检者观察目标和检查者通过红外线摄像系统观察眼的位置二者结合的方法，达到良好的固视效果。如果受检者眨眼影响到记录波形，机器可以自动清除不合格的波形。一旦受检者感到疲劳，可以暂停检查，让患者休息片刻再继续。但是操作中一定要注意，检查时间不宜过长，否则会影响到记录结果。

三、数据处理

将原始数据输入 SPSS10.0 软件，应用统计学进行配对 t 检验。

结 果

一、正常人 mERG 的图形特征:

正常人的 mERG 的各波的图形表现为：一维图显示黄斑中心凹的波幅最大，向周边逐渐减弱（见图三）；二维图显示暖色调为波幅最大的黄斑中心凹，向周边色调逐渐变冷（见图四）；三维图显示有一陡峭的山峰，峰尖表示黄斑中心凹的反应区，峰底表示周边视网膜的反应区（见图五）。

二、视网膜各部位的振幅密度值及潜伏期值的对比观察

对各项反应数值我们均进行性别和眼别比较，性别和眼别在各项反应数值中差异均无显著性。

1. 上半和下半、颞侧和鼻侧视网膜振幅密度值及潜伏期值的对比观察：（见表 1）。上半区与下半区相比较， N_1 波、 P_1 波及 N_2 波振幅密度差别无显著意义（ p 值均 >0.05 ），而颞侧与鼻侧相比较， N_1 波、 P_1 波振幅密度差异有显著意义（ p 值均 <0.01 ）， N_2 波振幅密度差别无显著意义（ p 值 >0.05 ）。上半区与下半区相比较， N_1 波、 P_1 波及 N_2 波潜伏期差异有显著意义（ p 值均 <0.05 ），颞侧与鼻侧相比较 N_1 波、 P_1 波及 N_2 波潜伏期差异无显著意义（ p 值均 >0.05 ）。

表 1 上下及颞鼻侧视网膜区各波的振幅密度值及潜伏期值的比较 ($\bar{x} \pm s$)

视网膜分区	振幅密度值 (nV/deg^2)	t 值	潜伏期 (ms)	t' 值
上半区				
N_1 波	14.97 ± 5.05		25.59 ± 1.67	
P_1 波	33.30 ± 8.66			

N ₂ 波	27.33±8.04		43.04±2.63	
下半区				
N ₁ 波	15.32±3.69*	-0.488	60.75±8.06	5.234
P ₁ 波		1.199		4.759
N ₂ 波	32.26±7.47*	1.590		3.389
颞侧			24.91±1.34*	
N ₁ 波	26.18±6.56*			
P ₁ 波			41.62±1.74*	
N ₂ 波				
鼻侧	16.51±4.23		57.39±7.19*	
N ₁ 波	34.39±8.26	3.89		-1.814
P ₁ 波	27.70±7.69	3.397		-0.474
N ₂ 波		0.205	24.15±1.43	-0.469
	14.47±3.51**			
			42.32±1.81	
	30.98±7.79**			
			58.23±9.80	
	27.36±10.44***			
			25.43±1.66**	
			42.52±2.70**	
			58.97±7.44**	

*示上半区振幅密度与下半区振幅密度比较差异无显著意义 (p 值均>0.05)。

示颞侧振幅与鼻侧振幅密度比较差异有显著意义 (p 值均<0.01)。 *示 N₂波颞侧与鼻侧

振幅密度比较差异无显著意义 (p 值>0.05)。 *示上半区潜伏期与下半区潜伏期比较差异有

显著意义 (p 值均<0.05)。 **示颞侧潜伏期与鼻侧潜伏期比较差异无显著意义 (p 值均>0.05)。

2. 颞上、颞下、鼻上和鼻下视网膜振幅密度值及潜伏期值的对比观察: (见表 2)。颞上区各波的振幅密度值与颞下区相比差异无显著意义, 与鼻上和鼻下区相比 N₁波差异无显著意义, P₁波差异有显著意义, N₂波的振幅密度与鼻上区相比差异无显著意义, 与鼻下区相比差异有显著意义。颞上区各波潜伏期与其他区相比, 除鼻下区各波差异无显著意义外, 均有差异。

表 2 颞上、颞下和鼻上、鼻下各波各波的振幅密度值及潜伏期值的比较 ($\bar{x} \pm s$)

象限	振幅密度值 (nV/deg ²)	t 值	潜伏期值 (ms)	t' 值
颞上				
N ₁ 波				

P ₁ 波	16.37±5.60		25.33±1.45	
N ₂ 波				
颞下	35.54±9.16		42.77±2.02	
N ₁ 波				
P ₁ 波	28.10±7.77		60.79±7.77	
N ₂ 波				
鼻上				
N ₁ 波	16.05±4.09*	0.442	24.55±2.11*	2.373
P ₁ 波		1.926		7.750
N ₂ 波	33.73±8.44*	1.090	41.61±1.62*	3.434
鼻下				
N ₁ 波	27.18±7.91*	1.973	57.89±7.64*	-1.516
P ₁ 波		3.551		0.185
N ₂ 波		1.698	23.60±2.69**	0.095
	14.24±3.82*	1.921	42.61±4.88**	2.985
		3.155		3.737
	30.92±8.99**	3.332	60.69±8.80**	3.850
	26.40±8.87*			
			24.02±2.84*	
	14.66±3.56*		41.71±1.84*	
	31.43±7.19**		56.83±6.91*	
	25.05±5.90**			

*示颞上区振幅密度与颞下区、鼻上区及鼻下区比较差异无显著意义 (p 值均>0.05)

示颞上区振幅密度与鼻上区及鼻下区比较差异有显著意义 (p 值均<0.05)。*示颞上区各波潜伏期与颞下区、鼻下区比较差异有显著意义 (p 值均<0.05)。示颞上区各波潜伏期与鼻上区比较差异无显著意义 (p 值均>0.05)。

3. 5 个环形视网膜振幅密度值及潜伏期值的对比观察: (见表 3)。从表 3 中可见随着离心度的增大, N₁波、P₁波, N₂波的振幅密度值均逐渐减小, 第 1 环与其他各环相比, N₁波、P₁波、N₂波的振幅密度值差异均有显著意义。第 1 环与其他各环相比, N₁波潜伏期差异无显著意义, 而 P₁波、N₂波的潜伏期差异有显著意义。

表 3 5 个环的各波振幅密度值及潜伏期值的比较 ($\bar{x} \pm s$)

环	振幅密度 (nV/deg ²)	t 值	潜伏期 (ms)	t' 值
第 1 环				
N ₁ 波			25.13±3.04	
P ₁ 波	47.26±19.51			
N ₂ 波			45.42±1.88	
第 2 环				
N ₁ 波		4.680		-1.411
P ₁ 波	127.55±38.83	6.121	63.39±4.41	7.493
N ₂ 波		9.440		5.131
第 3 环				
N ₁ 波	32.98±8.47*	6.690	25.85±1.57*	-0.267
P ₁ 波		7.767		11.268
N ₂ 波	74.25±17.44*	10.527	43.10±2.13 #	4.589
第 4 环				
N ₁ 波	66.47±16.06*	7.942	59.82±1.95 *	0.090
P ₁ 波		8.991		9.580
N ₂ 波	21.96±7.09*#	11.890	25.29±1.24*	2.804
第 5 环				
N ₁ 波		8.510		-0.256
P ₁ 波	49.69±10.60*#	9.562	42.28±1.80 #	2.425
N ₂ 波	41.68±9.87*#	12.409	60.51±4.23 *	1.775
	15.98±3.91*#§		25.06±1.63*	
	33.69±8.14*#§		42.04±1.61#	
	26.89±7.31*#§		60.10±3.49 *	
			25.30±1.72*	
	12.33±3.32*#§		40.54±9.09 #	
	25.62±7.31*#§		61.34±5.53 *	
	20.37±6.88*#§			

*示第一环振幅密度与其他各环比较差异有显著意义 (p 值均<0.05)。#示第二环振幅密度与第三,四,五环比较差异有显著意义(振幅密度 t 值自上而下分别为 8.390 , 10.757 , 8.845 , 12.868 , 14.733 , 14.042 , 13.795 , 15.527 , 15.283。 p 值均<0.01)。§示第三环振幅密度

与第四,五环比较差异有显著意义(振幅密度 t 值自上而下分别为 5.303, 16.911, 15.391, 8.107, 18.679, 20.226。p 值均 <0.01)。[△]示第四环振幅密度与第五环比较差异有显著意义(振幅密度 t 值自上而下分别为 10.771, 12.868, 11.985。p 值均 <0.01)。*示第一环 N₁ 波潜伏期与其他各环比较差异无显著意义(p 值均 >0.05)。#第一环 P₁ 波潜伏期与其他各环比较差异有显著意义(p 值均 <0.05)。*示第一环 N₂ 波潜伏期与其他各环比较差异有显著意义(p 值均 <0.05)。

讨 论

一、 mERG 的检查特征

我们使用的是法国 Metrovision 公司生产的 Vision Monitor 视觉诱发系统,其特点是:产生局部刺激,而同时使光对周边视网膜的散射作用减少到最小,ERG-jet 角膜电极的贴附性好,记录准确。图像监视系统能观察到患者的眼球位置,保证检查的顺利进行。提取的图形规范,二维、三维立体图像清晰。

有关多焦 ERG 的各成分的来源,较为明确的是在第一阶核反应中 N₁ 波与全视野的 ERG 视锥细胞 a 波成分一致,而 P₁ 波则包括视锥细胞的 b 波及振荡电位的成分^[2]。但是,这种学说仍然有不完善之处,因为不能将 mERG 的波形与视网膜细胞的某一类型简单联系起来,还有待于我们大量的研究去证实。

二、 视网膜各部位的振幅密度值及潜伏期值的比较

1. 上半和下半、颞侧和鼻侧视网膜振幅密度值及潜伏期值的比较

吴德正等^[3]观察到上半视网膜区与下半视网膜区相比较仅 N₁ 波的振幅总和值差异有显著意义。Kondo^[4]等和 Verdon^[5]等报道上、下半视网膜区的反应密度值差异无显著意义。我们的研究结果显示:上半视网膜区与下半视网膜区相比较, N₁ 波、P₁ 波及 N₂ 波振幅密度差异无显著意义,颞侧视网膜区与鼻侧比较,颞侧的 N₁ 波、P₁ 波的振幅密度分别为 16.51 ± 4.23 (nV/deg²), 34.39 ± 8.26 (nV/deg²) 高于鼻侧,差异有显著意义,而 N₂ 波振幅密度差异无显著意义,这与鼻侧视网膜上有视乳头生理结构有关。上半视网膜区比下半视网膜区各波的潜伏期延长,差异有显著意义。颞侧视网膜区与鼻侧视网膜区各波潜伏期相比较差异无显著意义。

2. 4 个象限视网膜振幅密度值及潜伏期值的比较

我们的研究显示:颞上区 N₁ 波、P₁ 波, N₂ 波的振幅密度值分别为 16.37 ± 5.60 (nV/deg²), 35.54 ± 9.16 (nV/deg²), 28.10 ± 7.77 (nV/deg²), 与颞下区相比差异

无显著意义,与鼻上和鼻下区相比 N_1 波差异无显著意义, P_1 波差异有显著意义, N_2 波的振幅密度与鼻上区相比差异无显著意义,与鼻下区相比差异有显著意义。颞上区各波潜伏期与其他区相比,除鼻下区各波差异无显著意义外,均有差异。吴德正等^[3]也报道颞上区 N_1 波和 P_1 波的振幅密度值均较鼻下的高。但 Verdon^[5]等对 4 个象限的比较显示差异无显著意义。

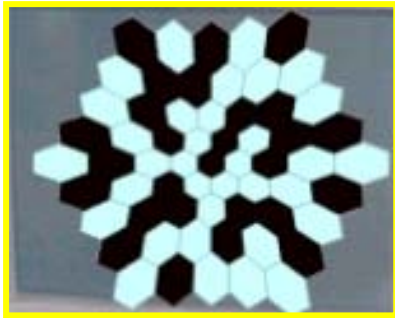
3. 5 个环视网膜振幅密度值及潜伏期值的比较

我们观察到黄斑中心凹 N_1 波、 P_1 波、 N_2 波的振幅密度最大,分别为 $(47.26 \pm 19.51) \text{ nV/deg}^2$, $(118.22 \pm 45.08) \text{ nV/deg}^2$, $(127.55 \pm 38.83) \text{ nV/deg}^2$,随着离心度的增大, N_1 波、 P_1 波、 N_2 波的振幅密度值均逐渐减小,第 1 环与其他各环相比, N_1 波、 P_1 波、 N_2 波的振幅密度值差异均有显著意义。第 1 环与其他各环相比, N_1 波潜伏期差异无显著意义,而 P_1 波、 N_2 波的潜伏期差异有显著意义。与吴德正^[3]、Verdon^[5]及 Segawa^[6]等报道结果一致。Sutter^[7]等认为这种视功能随离心度变化的特征与视网膜后极部光感受器细胞密度的分布特性相关。

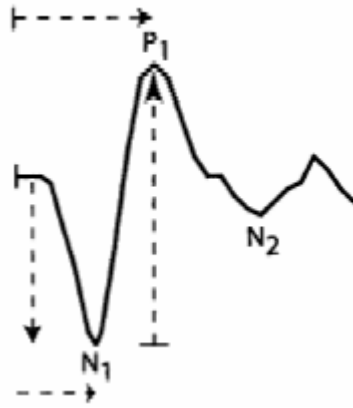
mERG 是一种新型的检查技术,需要大量的临床工作来完成其数据的收集,我们的研究基本上准确、客观的反映了视网膜的功能,为临床提供了较为可靠的正常值,为进一步的研究提供了基础。

参考文献

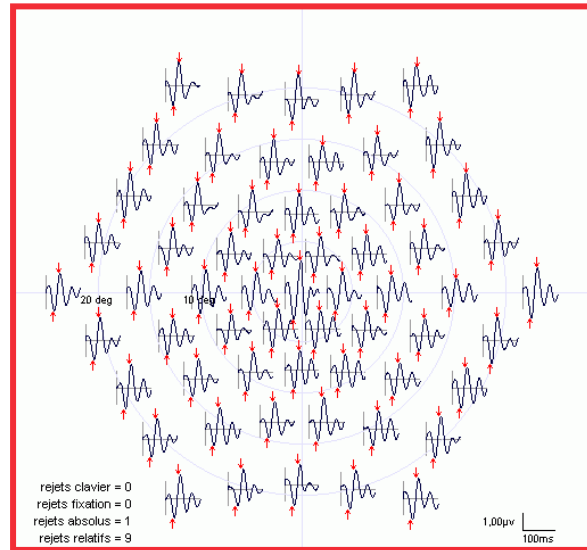
1. Sutter EE. Lateral interaction component and local luminance nonlinearities in the human pattern reversal ERG. *Vision Res*,1990,30:659-671.
2. Michael FM, Donald CH, David K, et al(for the International Society for Clinical Electrophysiology of Vision). Guidelines for basic multifocal electroretinography (mERG). *Doc ophthalmol*.2003.106: 105-115.
3. 吴德正,梁炯基,马娟妹等.我国正常人多焦视网膜电图的特征.中华眼科杂志.2001.37(2): 98-103
4. Kondo M, Miyake Y, Horiguchi M, et al. Normal values of retinal response densities in multifocal electroretinogram. *J Jpn Ophthalmol Soc*,1996,100:810-834.
5. Verdon WA, Haegerstrom-Portnoy G. Topography of the multifocal electroretinogram. *Doc Ophthalmol*,1998,95:73-90.
6. Segawa Y. Spatial characteristics of the first-order kernels of multifocal electroretinogram waveforms with high-rate sampling and long-duration recording. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*. 2002 106(6):343-51.
7. Sutter EE, Tran D. The field topography of ERG components in man: I. the photopic luminance response. *Vision Res*, 1992,32: 433-446.
8. Jackson GR, Ortega J, Girkin C et al. Aging-related changes in the multifocal electroretinogram. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 2002 19(1):185-9.



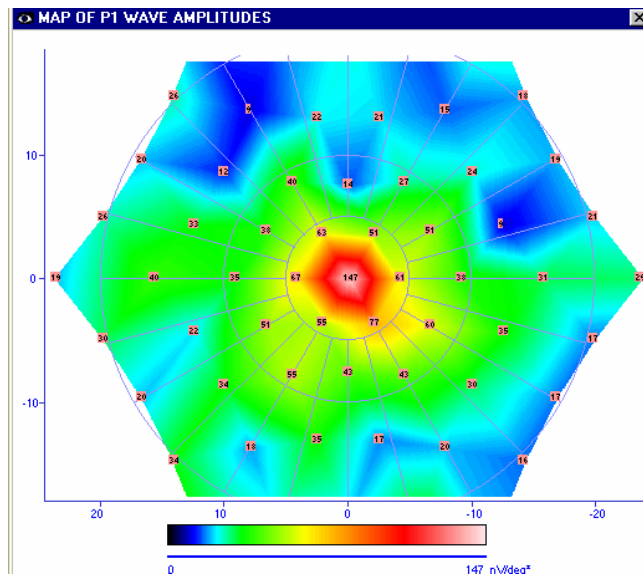
图一 mERG 的刺激图形，由 61 个六边形组成



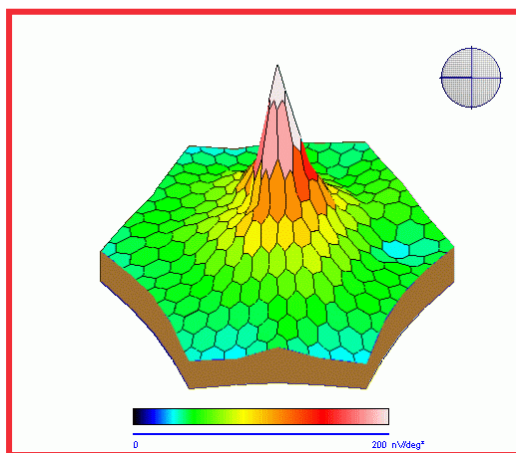
图二 示 mERG 反应主要波形



图三 示各波幅的一维图显示黄斑中心凹的波幅最大，向周边逐渐减弱



图四 示 P_1 波幅的二维图显示暖色调为波幅最大的黄斑中心凹，向周边色调逐渐变冷



图五 示 P_1 波幅的三维图显示有一陡峭的山峰，峰尖表示黄斑中心凹的反应区，峰底表示周边视网膜的反应区