

DOI: 10.3969/j.issn.1005-8982.2017.28.019
文章编号: 1005-8982 (2017) 28-0096-06

屈光参差性弱视与斜视性弱视的电生理研究

吴晓璇, 周珺, 王肖, 高敬, 刘瑞芬, 赵琪

(大连医科大学附属第二医院 眼科, 辽宁 大连 116023)

摘要: **目的** 分析屈光参差性弱视和斜视性弱视的视觉诱发电位 (VEP) 与对比敏感度 (CS) 的特征性变化, 并探讨 2 种弱视不同的致病机制。**方法** 采用德国罗兰公司 RETI scan 3.15 系统对 20 例屈光参差性弱视、9 例斜视性弱视和 18 例非弱视性儿童的双眼 VEP 和 CS 检查, 进行弱视眼、对侧眼及非弱视眼之间的对比研究。**结果** 与对侧眼或非弱视眼相比, 屈光参差性弱视眼在高空间频率条件下潜时延长, 而斜视性弱视眼在全空间频率条件下潜时延长。2 种弱视眼的振幅在低频时均下降。屈光参差性弱视对侧眼与非弱视眼比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 而斜视性弱视对侧眼的潜时在低频下较非弱视眼延长, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。屈光参差性弱视眼和对侧眼的 CS 与非弱视眼比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$)。斜视性弱视眼表现为全空间频率上的 CS 下降, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$), 其对侧眼的 CS 则优于非弱视眼。**结论** 本研究结果支持斜视性弱视与屈光参差性弱视拥有不同神经机制的观点。斜视性弱视的对侧眼并非“健眼”。VEP 与 CS 检查对弱视诊断具有临床意义。

关键词: 屈光参差性弱视; 斜视性弱视; 视觉诱发电位; 对比敏感度
中图分类号: R778.1 **文献标识码:** A

Electrophysiological analysis of strabismic amblyopia and anisometric amblyopia

Xiao-xuan Wu, Jun Zhou, Xiao Wang, Jing Gao, Rui-fen Liu, Qi Zhao
(Department of Ophthalmology, the Second Hospital of Dalian Medical University,
Dalian, Liaoning 116023, China)

Abstract: Objective To analyse the characteristic electrophysiological changes of anisometric and strabismic amblyopia, and explore the pathogenic mechanisms of the two kinds of amblyopia. **Methods** The visual evoked potential (VEP) and contrast sensitivity (CS) examinations were performed on 20 anisometric amblyopic, 9 strabismic amblyopic and 18 non-amblyopic children by RETI scan 3.15 system of Roland. The latencies, amplitudes and CS were analysed and compared among amblyopic eyes, fellow eyes and non-amblyopic eyes. **Results** The latency of anisometric amblyopia was prolonged in high spatial frequency and the latency of strabismic amblyopia was prolonged in whole spatial frequency. The amplitudes of the two kinds of amblyopia decreased in low spatial frequency. There was no difference between the fellow eyes of anisometric amblyopia and non-amblyopic eyes. The latency of the strabismic amblyopic fellow eyes was significantly longer than that of the non-amblyopic eyes in low spatial frequency ($P < 0.05$). The CS of both amblyopic and fellow eyes of anisometric amblyopia was not different from that of the non-amblyopic eyes. The CS of the strabismic amblyopic eyes was lower than that of the non-amblyopic eyes in whole spatial frequency ($P < 0.05$), but their fellow eyes were better ($P < 0.05$). **Conclusions** The study results support that anisometric amblyopia and strabismic amblyopia have different neural mechanisms, and the fellow eyes of strabismic amblyopia could not be looked as 'healthy eyes'. The VEP and CS examinations have significant clinical value in the diagnosis of amblyopia.

Keywords: anisometric amblyopia; strabismic amblyopia; VEP; CS

收稿日期: 2016-10-23

[通信作者] 赵琪, E-mail: zhaoqi0219@126.com; Tel: 13304112073

弱视是导致青少年儿童视力损害,尤其是单眼视力严重受损的最常见的原因之一。常见的弱视原因包括斜视、屈光不正以及形觉剥夺因素等,其中斜视性弱视和屈光参差性弱视约占弱视患儿总数的 90%。斜视性弱视由于两眼融合缺失,两眼黄斑被迫接受不一样且不平衡的物象刺激而出现混淆,视觉皮层中枢抑制来自斜视眼的视觉冲动,斜视眼黄斑功能长期被抑制造成视神经发育不良而形成弱视。屈光参差性弱视则由于两眼不同步的屈光不正使其中一眼接受较另一眼相对模糊的视觉刺激,视觉中枢抑制该眼低质量的视觉刺激引发该眼黄斑抑制而造成弱视。非弱视眼因信息优势而使视觉中枢压抑弱视眼,但视皮质为了确保视觉效果,会尽量维持弱视眼和非弱视眼的输入信息平衡,故而降低了非弱视眼的敏感度。此不仅可以解释斜视性弱视和屈光参差性弱视的双眼交互作用。还提出了另一个问题:单眼弱视患者的非弱视眼,在弱视眼的影响下是否是毫无问题的健康眼?

在弱视研究中,除了弱视的致病机制,其检查及评估方法也广受关注。国内外均有研究表明^[1-2]只要在儿童早期发现和治疗,弱视所形成的视觉损伤很可能是可逆的,因为早期神经结构具有较强的可塑性,允许受损的视觉通路重新分配。这一敏感时期被称为关键窗口期,范围从出生到 8 岁左右^[1]。但因为儿童就诊配合较差,视力等主观检查并不能于早期准确地反映出患儿的真实病情。故而客观、高效的检查方法和评估手段对弱视的诊断及后续的治疗意义重大。本实验利用视觉诱发电位 (visual evoked potential, VEP) 和对比敏感度 (contrast sensitivity, CS) 分别测试斜视性弱视、屈光参差性弱视和非弱视 3 组患儿,来比较不同类型单眼弱视儿童的电生理差异,据此来探讨 2 种弱视的不同机制及非弱视眼是否为健眼问题并评估该 2 种方法作为弱视诊断依据的可靠性。

1 资料与方法

1.1 研究对象

本研究选择 2014 年 9 月-2015 年 10 月在大连医科大学附属第二医院眼科就诊的患儿为研究对象。屈光参差性弱视患儿 20 例,其中,男性 9 例,女性 11 例;年龄 3 ~ 8 岁,平均 5.5 岁。斜视性弱视患儿 9 例,其中,男性 7 例,女性 2 例;年龄 4 ~ 7 岁,平均 6.1 岁。非弱视组儿童 18 例,其中,男性 8 例,女性 10 例;年龄 4 ~ 12 岁,平均 6.9 岁。

单眼弱视的诊断条件为两眼的最佳矫正视力相差两行以上^[3],且弱视眼的最佳矫正视力低于对应年龄的正常视力,对侧眼的最佳矫正视力不低于对应年龄的正常视力下限(3 岁儿童正常视力参考值下限为 0.5,4 ~ 5 岁为 0.6,6 ~ 7 岁为 0.7,7 岁以上为 0.8)。屈光参差性弱视儿童两眼屈光参差需超过 2.5D 等效球镜。斜视性弱视儿童为排除屈光因素影响的单纯斜视儿童。非弱视组儿童的双眼最佳矫正视力均 >0.8。所有患者均行常规视力、眼前节、眼底及散瞳验光等检查。眼肌专科检查包括眼位、眼球运动及同视机检查。所有患者无屈光间质混浊且眼前节及眼底未见异常。所有患儿父母均证实此次检查为患儿首次确诊且之前没有接受任何弱视的治疗。

1.2 测量方法及仪器

1.2.1 VEP 所有检查对象通过镜片矫正得到最佳矫正视力后,采取舒适坐位,注视 1 m 远处显示器所展示的刺激中心。刺激是由 16 × 16 的黑白棋盘格以每秒 1.3 次的频率翻转产生,双眼依次分别接受低空间频率 (1.0 deg) 和高空间频率 (15 min) 的刺激。每个患儿的 VEP 检测至少重复 2 次。所有 VEP 结果均在相同的检查条件下得到。

1.2.2 CS CS 检查是让检查对象在充分矫正屈光不正后,观看放置在 1 m 远处的显示屏所展示的空间频率从 0.4 ~ 16 cycles/deg 黑白条栅图片,共 10 个受测空间频率,每个受测空间频率受检次数为 10。2 只眼睛分别依次接受检查。检查对象判断所观察光栅图片的方向并告知检测人员。所有 CS 结果均在相同的检查条件下得到。检查结果呈现为以空间频率为横坐标,CS 为纵坐标的对比敏感度函数 (CSF)。结果中自带正常 CSF 作为参考,该函数来源于罗兰数据库中亚洲人的平均数据。整个空间频率以 6.0 cycles/deg 为界,分为高空间频率和低空间频率。结果低于正常 CSF 被定义为阴性结果,高于正常 CSF 则视为阳性结果。

本实验根据国际社会对临床视觉电生理学 (ISCEV) 的标准化指导意见,所有检查均由德国罗兰公司的 RETI scan 3.15 系统提供操作。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 19.0 软件进行数据分析。VEP 的振幅和潜时数据为多组间比较,采用方差分析,在方差分析有意义的基础上,再行 LSD-*t* 检验法进行两两比较。CS 结果为计数资料,且为多组间比较,故先采用

行 \times 列表 χ^2 检验, 再行 χ^2 分割法进行两两比较。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 VEP 结果比较

将实验采集临床数据进行整理及分析, 显示 2 种弱视及非弱视的 P-VEP 结果具有波形及数据上的特异性差异。特选取各组中典型患儿结果进行说明展示。表 1 为 1 个 11 岁屈光参差性弱视女性患儿, 1 个 5 岁斜视性弱视男性患儿及 1 个 4 岁非弱视女童的典型 P-VEP 结果数据。该屈光参差性弱视女童存在 2.00 D 球镜和 1.00 D 柱镜的屈光参差, 无斜视因素存在。斜视性弱视男童存在着 +45 Δ 的内斜视, 两眼之间存在 0.50 D 的屈光差异。对照组的女童两眼之间存在 0.50

D 球镜和 1.25 D 柱镜的屈光差异, 无斜视因素存在。2 种弱视都表现出潜时延长、振幅下降, 屈光参差性弱视主要表现在 15 min, 也就是高空间频率; 斜视性弱视主要表现在 1.0 deg 和 15 min, 也就是低和高空间频率。斜视性弱视对侧眼较非弱视组的潜时也延长, 屈光参差性弱视对侧眼的 P-VEP 曲线与非弱视组的曲线表现相似。具体 P-VEP 波形差异见附图。

2.1.1 组内弱视眼与对侧眼的比较 低空间频率条件下, 斜视性弱视组的弱视眼的潜时长于对侧眼, 振幅也低于对侧眼, 差异有统计学意义 ($P = 0.034$ 和 0.001); 屈光参差性弱视组的弱视眼的潜时与对侧眼比较差异无统计学意义 ($P > 0.05$), 但振幅差异有统计学意义 ($P = 0.033$)。高空间频率条件下, 斜视性弱视组弱视眼较对侧眼潜时延长, 差异有统计学意义 ($P = 0.005$),

表 1 屈光参差性弱视与斜视性弱视患儿与非弱视儿童的典型 P-VEP 检查结果

组别	BCVA	1.0 deg		15 min	
		P100/ms	N75-P100/ μ V	P100/ms	N75-P100/ μ V
屈光参差性弱视眼	5/10	109.2	12.2	130.9	14.2
屈光参差性弱视对侧眼	5/5	104.5	18.5	110.4	20.6
斜视性弱视眼	5/10	120.8	18.8	126.6	14.3
斜视性弱视对侧眼	5/5	116.4	20.4	120.2	15.4
非弱视眼组	5/5	103.3	20.6	111.0	19.7



附图 1 个 11 岁屈光参差性弱视女性患儿, 1 个 5 岁斜视性弱视男性患儿及 1 个 4 岁非弱视女童的典型 P-VEP 波形

而振幅的比较差异无统计学意义; 屈光参差性弱视眼的潜时较对侧眼延长, 差异有统计学意义 ($P=0.011$), 振幅的比较差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 2。

2.1.2 屈光参差性弱视组和斜视性弱视组与非弱视组的比较 斜视性弱视组的弱视眼较非弱视组于全空间频率时潜时延长, 差异有统计学意义 (低频 $P=0.000$, 高频 $P=0.049$), 于低空间频率时振幅下降, 差异有统计学意义 ($P=0.019$)。斜视性弱视组对侧眼在低

空间频率时的潜时长于非弱视组, 差异有统计学意义 ($P=0.002$)。屈光参差性弱视组的弱视眼潜时较非弱视组于高空间频率下延长, 差异有统计学意义 ($P=0.013$)。屈光参差性弱视组的对侧眼与非弱视组差异无统计学意义 ($P>0.05$)。

2.2 CS 结果比较

CS 结果见表 3。

2.2.1 组内弱视眼与对侧眼的比较 在低空间频率

表 2 屈光参差性弱视与斜视性弱视患儿 VEP 检查结果 ($\bar{x} \pm s$)

组别	潜时		振幅	
	低空间频率	高空间频率	低空间频率	高空间频率
屈光参差性弱视组				
弱视眼	109.91 ± 10.27	124.34 ± 5.53	16.86 ± 11.36	15.75 ± 9.73
对侧眼	107.24 ± 6.17	118.48 ± 7.41	19.81 ± 11.97	18.49 ± 10.11
斜视性弱视组				
弱视眼	123.04 ± 12.82	126.90 ± 10.25	12.49 ± 7.35	13.16 ± 6.32
对侧眼	118.76 ± 12.17	120.00 ± 12.09	18.26 ± 9.41	14.26 ± 6.69
非弱视组	107.81 ± 8.33	118.69 ± 10.98	19.87 ± 8.27	18.51 ± 9.67

表 3 屈光参差性弱视与斜视性弱视患儿 CS 检查结果 例 (%)

组别	低频		合计	高频		合计
	有改变	无改变		有改变	无改变	
屈光参差性弱视组弱视眼	7 (35.0)	13 (65.0)	20 (100.0)	7 (35.0)	13 (65.0)	20 (100.0)
屈光参差性弱视组对侧眼	8 (40.0)	12 (60.0)	20 (100.0)	5 (25.0)	15 (75.0)	20 (100.0)
斜视性弱视组弱视眼	5 (55.6)	4 (44.4)	9 (100.0)	4 (44.4)	5 (55.6)	9 (100.0)
斜视性弱视组对侧眼	1 (11.1)	8 (88.9)	9 (100.0)	1 (11.1)	8 (88.9)	9 (100.0)
非弱视组	19 (52.8)	17 (47.2)	36 (100.0)	5 (13.9)	31 (86.1)	36 (100.0)

下, 斜视性弱视组的弱视眼较对侧眼 CS 降低, 差异有统计学意义 ($P=0.046$)。屈光参差性弱视组的弱视眼与对侧眼的 CS 结果差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 4。

2.2.2 斜视性弱视组、屈光参差性弱视组与非弱视组 CS 的比较 与非弱视组相比, 屈光参差性弱视组的弱视眼及对侧眼差异均无统计学意义 ($P>0.05$)。斜视性弱视组的弱视眼的 CS 较非弱视组在高空间频率下降, 而对侧眼在低空间频率高于非弱视组, 差异均有统计学意义 ($P=0.040$ 和 0.024)。见表 5。

表 4 屈光参差性弱视与斜视性弱视组 CS 组内比较结果

组别	χ^2 值	P 值
屈光参差性弱视组		
低频	0.107	0.744
高频	0.476	0.490
斜视性弱视组		
低频	4.000	0.046
高频	2.492	0.114

表 5 3 组组间 CS 比较结果

空间频率	χ^2 值	P 值
屈弱 vs 非弱		
低频	1.634	0.201
高频	3.403	0.065
屈对 vs 非弱		
低频	0.841	0.359
高频	1.082	0.298
斜弱 vs 非弱		
低频	0.220	0.881
高频	4.201	0.040
斜对 vs 非弱		
低频	5.063	0.024
高频	0.048	0.826

注：屈弱，屈光参差性弱视组弱视眼；屈对，屈光参差性弱视组对侧眼；斜弱，斜视性弱视组弱视眼；斜对，斜视性弱视组对侧眼；非弱，非弱视组

3 讨论

视传导通路的发育主要包括视网膜、外侧膝状体和视中枢皮层的发育。其中外侧膝状体和视中枢皮质更易受视觉环境影响而发生功能和组织结构变化。尽管早期的研究认为^[4]弱视的致病部位可能是视网膜或外侧膝状体，但近期来自动物和人类的研究^[5]证明弱视个体的视网膜以及外侧膝状体的生理功能并无异常，纹状皮层或初级视皮层（V1）可能是弱视的主要受损部位^[6]。视传导通路包括 X、Y 细胞超微解剖结构。X 细胞多在视网膜感受野中央部分，接受精细图形及亮光的刺激，通过外侧膝状体投射到 17 区，对高空间频率和慢运动对象敏感。Y 细胞多在视网膜周边部分，接受粗略轮廓及暗光的刺激，通过外侧膝状体投射到 18 区，对低空间频率和快运动对象敏感。从超微解剖生理角度来说，弱视应与视网膜神经节 X 细胞的刺激传入减少进而影响整个视路发育有关。将 VEP 结合上述 X、Y 细胞系统理论，可得到如下结论：代表高空间频率的小方格、慢运动图形所诱发的 VEP 主要反应 X 系统的空间信息特征，而代表低空间频率的大方格、快运动图形所诱发的 VEP 主要反应 Y 系统的时间信息特征。

本研究发现，斜视性弱视于全空间频率潜时延长，而屈光参差性弱视于高空间频率潜时延长，与其他研究的结果一致^[7]。2 种弱视不同的 VEP 表现提示了它们应具有不同的神经机制^[8]。究其原因应是 2 种

弱视中枢受损程度和部位不同。有研究利用 fMRI 证明屈光参差性弱视患者的纹状视觉皮层（17 区）刺激激活程度减弱，而斜视性弱视患者的纹状旁区和周边区（18 区与 19 区）刺激激活程度减弱^[9]。

虽然在本研究中 2 种弱视都表现为弱视眼的振幅于低频时降低，但这一结果尚存疑虑。本研究中没有考虑弱视程度，即视力对 VEP 的影响。有研究表明^[10]，潜时和视力没有关系，但振幅却和视力（logMAR）线性相关^[11]。KARLICA^[12]发现随着视力的提高，VEP 振幅增高，潜伏期缩短。根据以往研究难以确定视力与 VEP 的明确关系，造成这种情况的原因可能与所研究弱视的种类不同有关，也有可能是因为实验方法的不统一。想要确切结果还需进一步实验研究。

综上所述，结合本实验结果，2 种弱视虽然都会造成潜时延长、振幅下降，但各自在不同的空间频率的表现却各有特点。屈光参差性弱视的神经缺失表现在高空间频率更为明显，而斜视性弱视的神经缺失主要表现在全空间频率。

CS 是视觉系统于一定空间频率下辨认目标所需的其表面最低黑白对比度。关于 CS 的神经作用机制，有研究显示^[13]，视觉系统是由一系列对应特定的空间频率且有其特异敏感范围的独立神经通路组成。从 XY 细胞系统理论来说，对比敏感曲线上高空间频率区代表 X 细胞通道功能，低空间频率区代表 Y 细胞通道功能。

本研究非弱视组选取的是带有轻度屈光不正但没有弱视的儿童。在检测 VEP 时，因其屈光不正得到了足够的矫正，从而使视神经能够得到足够的刺激，故并不影响其作为对照组的作用。但在检测 CS 时，非弱视组的 36 个对象却有 15 个于低频条件下出现低于正常的 CS 曲线。这说明屈光不正的非弱视眼 CS 值在低频时降低。曾有实验发现屈光不正影响 CS 的结果且屈光不正眼的分辨能力在高空间频率比低空间频率时更强^[14]。

本研究中，斜视性弱视于低空间频率下 CS 下降，而屈光参差性弱视与非弱视眼没有区别，这说明斜视性弱视的 CS 通道受损，而屈光参差性弱视眼、对侧眼和屈光不正非弱视眼的 CS 作用机制相似。LI^[15]探究弱视机制的研究结果发现，弱视 CS 的下降意味着视觉系统对高空间频率处理能力的缺失，解剖上这与外侧纹状体多个区域相关。具体来说，屈光参差性弱视与 V1、V2、V3、Vp 及 V7 区相关，斜视性弱视与 V1、V2、Vp 区相关^[16]。CS 易受很多因素影响^[14]，未来仍需在实验方法设计上取得更周全的改进，进而对

不同种类弱视的 CS 进行深入探索。

传统观点认为单眼弱视对侧眼是正常的, 因为对侧眼作为优势眼会得到足够的视觉刺激从而不会影响视觉系统的发育。但近期相反的观点被越来越多的研究所支持^[17]。本研究中, 屈光参差性弱视的对侧眼的 VEP 与屈光不正的非弱视组比较, 差异无统计学意义, 证明其视通路传导系统类似于屈光不正非弱视组。但因两眼交互抑制作用, 其 CS 受损、下降。斜视性弱视组的对侧眼与非弱视组的 VEP 差异有统计学意义, 说明其神经机制不同于非弱视组, 较屈光参差性弱视组的对侧眼更易受损。但其在双眼交互抑制中优势明显, 故 CS 值反而优于屈光参差性弱视组对侧眼^[18]。斜视性弱视和屈光参差性弱视的双眼异常交互程度并不相同, 有研究表明^[19]前者较后者位于视皮层的相关功能细胞数量明显减少, 这些损失与外纹状皮层 V1 区下游有关^[20]。

综上所述, VEP 与 CS 虽对不同类型的弱视有着不同空间频率上的表现差异, 但均可对弱视做出明确的诊断。VEP 具体表现为不同空间频率的潜时延长、振幅降低, CS 具体表现为在不同空间频率上的下降。此结果从电生理方面再次证明了 2 种弱视具有不同的致病机制观点。屈光参差性弱视组的对侧眼的致病机制与屈光不正的非弱视组相似, 而斜视性弱视组的对侧眼与非弱视组差异有统计学意义, 说明其并不能称之为健康眼。本研究证明, VEP 和 CS 可成为临床弱视患儿的客观、可靠的诊断方法, 并对治疗方案的设计具有指导性意义。

参 考 文 献:

- [1] GUNTON K B. Advances in amblyopia: what have we learned from pedig trials[J]. *Pediatrics*, 2013, 131(3): 540-547.
- [2] 陈程, 崔海福, 严兴科. 弱视视皮层可塑性的分子生物学机制研究进展 [J]. *实用医学杂志*, 2011, 27(14): 2669-2670.
- [3] ASTLE A T, WEBB B S, MAGRAW P V. The pattern of learned visual improvements in adult amblyopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(10): 7195-7204.
- [4] AL-HADDAD C E, EL MOLLAYESS G M, MAHFOUD Z R, et al. Macular ultrastructural features in amblyopia using high-definition optical coherence tomography[J]. *Br J Ophthalmol*, 2013, 97(3): 318-322.
- [5] HESS R F. Amblyopia: site unseen[J]. *Clin Exp Optom*, 2001, 84(6): 321-336.
- [6] BIN L V, HUIGUANG H E, XINGFENG L I, et al. Structural and functional deficits in human amblyopia[J]. *Neuroscience Letters*, 2008, 437(1): 5-9.
- [7] GROMOVÁ M, GERINEC A. Visual evoked potentials in management of amblyopia in children[J]. *Ceská Slov Oftalmol*, 2010, 66(5): 223-228.
- [8] SIRETEANU R. The binocular visual system in amblyopia[J]. *Strabismus*, 2000, 8(1): 39-51.
- [9] WANG X, CUI D, ZHENG L, et al. Combination of blood oxygen level-dependent functional magnetic resonance imaging and visual evoked potential recordings for abnormal visual cortex in two types of amblyopia[J]. *Molecular Vision*, 2012(18): 909-919.
- [10] DAVIS A R, SLOPER J J, NEVEU M M, et al. Electrophysiological and Psychophysical Differences between Early- and Late-Onset Strabismic Amblyopia[J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2003, 44(2): 610-617.
- [11] ESPOSITO V P, ZICCARDI L, MAGLI G, et al. Short-term effects of vision trainer rehabilitation in patients affected by anisometric amblyopia: electrofunctional evaluation[J]. *Doc Ophthalmol*, 2014, 129(3): 177-189.
- [12] KARLICA D. Changes in visual evoked potentials curve parameters in children with amblyopia[J]. *Acta Med Croatica*, 2009, 63(4): 321-324.
- [13] COMPELL F W, ROBSON J G. Application of fourier analysis to the visibility of gratings[J]. *J Physiol*, 1968, 197(3): 551-566.
- [14] 张艳龙, 李丽华, 高祥璐. 对比敏感度的影响因素分析 [J]. *眼视光学杂志*, 2009, 11(3): 221-226.
- [15] LI X, DUMOULIN S O, MANSOURI B, et al. Cortical deficits in human amblyopia: their regional distribution and their relationship to the contrast detection deficit[J]. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 2007, 48(4): 1575-1591.
- [16] 贾传海, 卢光明, 张志强, 等. 人类弱视视觉皮层 fMRI 反应与对比敏感度的相关性 [J]. *中国医学影像技术*, 2009, 25(11): 1975-1979.
- [17] 赵堪兴. 斜视弱视的临床与基础研究 [J]. *天津科技*, 2014, 41(3): 19-23.
- [18] 杨国渊, 廖孟, 刘陇黔. 屈光参差性弱视和斜视性弱视患儿非弱视眼对比敏感度比较研究 [J]. *四川大学学报 (医学版)*, 2010, 41(4): 652-655.
- [19] 刘虎, 赵堪兴, 陈敏, 等. 斜视性和屈光参差性弱视患儿的功能磁共振成像研究 [J]. *中华眼科杂志*, 2006, 42(10): 873-877.
- [20] KIROPES L. Visual processing in amblyopia: animal studies[J]. *Strabismus*, 2006, 14(1): 3-10.

(张蕾 编辑)