

引文格式:赵武校,蓝方方,刘洪婷,李志超,甘露,刘伟民. 视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视的初期临床观察[J]. 眼科新进展,2014,34(10):963-967. doi:10. 13389/j. cnki. rao. 2014. 0267

【应用研究】

视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视的初期临床观察[△]

赵武校 蓝方方 刘洪婷 李志超 甘露 刘伟民

作者简介:赵武校,男,1979年12月出生,硕士,副主任医师。联系电话:13978858216; E-mail: zhaowuxiao@163. com

About Zhao Wu-Xiao: Male, born in December, 1979. Master degree, associate chief physician. Tel: 13978858216; E-mail: zhaowuxiao@163. com

收稿日期:2014-01-01
修回日期:2014-04-17
本文编辑:周志新

△基金项目:广西卫生厅科研课题资助(编号:桂卫 Z2011523;桂卫重2012099)

作者单位:530021 广西壮族自治区南宁市,广西壮族自治区人民医院视光科 广西视光中心

通讯作者:赵武校, E-mail: zhaowuxiao@163. com

Received date: Jan 1, 2014
Accepted date: Apr 17, 2014
Foundation item: Supported by Health Bureau of Guangxi Zhuang Autonomous Region(No: Z2010523, Key 2012099)
From the Center for Optometry and Visual Science, Department of Optometry, People's Hospital of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530021, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Responsible author: ZHAO Wu-Xiao, E-mail: zhaowuxiao@163. com

Preliminary study of anisometropic amblyopia in juvenile treated with visual perceptual learning plus patching

ZHAO Wu-Xiao, LAN Fang-Fang, LIU Hong-Ting, LI Zhi-Chao, GAN Lu, LIU Wei-Min

【Key words】 visual perceptual learning; patching; anisometropic amblyopia; best corrected visual acuity; refractive power

【Abstract】 **Objective** To study the therapeutic effects of visual perceptual learning plus patching on juveniles with anisometropic amblyopia. **Methods** Retrospective case series. Medical records of patients with anisometropic amblyopia in Center for Optometry and Visual Science from July 2006 to June 2011 were documented prospectively, and patients whom aged 8 years or over and treated with visual perceptual learning plus patching for 12 consecutive months were recruited. Patients' age, gender, fixation character, ocular alignment, best corrected visual acuity (BCVA) and refraction status before and after treatment were checked and data were analyzed using the statistical package SPSS v. 13.0 for Windows. A repeated measures ANOVA was used for analysis repeated-measures data such as visual acuity and refractive power. And a long term assessment of retention was performed. **Results** The mean BCVA of the amblyopic eyes improved by 0.39 ± 0.18 LogMAR ($P < 0.01$). Resolution of amblyopia was achieved in 8 of 31 patients (25.8%). Amblyopia improved by two or more lines in all patients. 87.0% of patients retained the treatment effect at 1 year after cessation of treatment, with a mean BCVA loss of 0.03 LogMAR. By contrast, BCVA of the fellow eye was kept stable and normal during the whole stage. Spherical equivalent of the amblyopic eye showed a slowly descending trend, along with the fellow eye of the anisometropic amblyopia during visual perceptual learning. Among them, no significant differences was found at different check points in mild amblyopic eye ($P > 0.05$), but significant differences were observed in moderate and severe amblyopic eye at pretreatment when compared with intratreatment and posttreatment, respectively (all $P < 0.05$). And significant differences were also found in fellow eye of the anisometropic amblyopia at post-treatment when compared with pre-treatment and intra-treatment, respectively (all $P < 0.05$). **Conclusion** Amblyopic eye's BCVA can be improved with visual perceptual learning plus patching in juveniles with anisometropic amblyopia. The improvements can be retained for a very long time, but the cure rate should be upgraded.

【Rec Adv Ophthalmol, 2014, 34(10): 963-967】

【关键词】 视知觉学习;遮盖;屈光参差性弱视;最佳矫正视力;屈光度

【摘要】 **目的** 探讨视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视的临床效果。**方法** 回顾性病例系列研究。收集2006年7月至2011年6月在广西视光中心接受视知觉学习联合遮盖治疗达1 a的8岁以上31例屈光参差性弱视患者的临床资料,包括患者的性别、年龄、注视性质、眼位、治疗前后的最佳矫正视力、屈光度等数据。对患者治疗过程中的最佳矫正视力、屈光度等重复测量资料使用SPSS13.0统计软件一般线性模型(General linear model)的Repeated Measures过程进行方差分析,比较患者的最佳矫正视力和屈光度变化情况;同时对治疗效果的持久性进行评估。**结果** 经过1 a的联合治疗,弱视眼视力平均提高了(3.9 ± 1.8)行LogMAR视力($P < 0.01$),最佳矫正视力改善 ≥ 2 行者达100.0%,基本治愈率达25.8%;联合治疗终止后1 a,87.0%的患者保持了治疗效果,平均最佳矫正视力下降0.03行LogMAR视力;对侧眼在联合治疗前后始终保持在正常视力水平。视知觉学习联合遮盖治疗前后,弱视眼和对侧眼的等效球镜值均缓慢降低;轻度弱视眼的等效球镜值在各时间点差异无统计学意义($P > 0.05$);中度、重度弱视眼的等效球镜在治疗中和治疗后均较治疗前降低(均为 $P < 0.05$);对侧眼的等效球镜在

治疗后较治疗前和治疗中降低(均为 $P < 0.05$)。结论 视知觉学习联合遮盖治疗可有效改善屈光参差性弱视患者弱视眼的最佳矫正视力,并能使治疗效果长期保持,但其基本治愈率有待提高。
[眼科新进展,2014,34(10):963-967]

弱视是一种空间视觉发育障碍性疾病,常表现为视力低下而又不能被光学镜片所矫正^[1],其中屈光参差性弱视是最常见的临床类型,是造成儿童单眼视力损害最常见的原因^[2-4]。临床工作中,此类患者因对传统的遮盖或者压抑疗法依从性差而最终影响了治疗效果。因此,探索更合适的治疗策略就成为一个现实问题。视知觉学习(visual perceptual learning)是指通过反复训练某种特定的视知觉任务,最终使相应的知觉表现得到改善的一种现象,它被认为是一种潜在的弱视治疗途径^[5]。我们的前期工作已经证实:视知觉学习对于敏感期内的屈光不正性弱视儿童有良好疗效^[6],但对于处在可塑期的屈光参差性弱视儿童的临床疗效如何尚待探索。为提高此类患者的治疗效果,本研究对视知觉学习联合遮盖疗法治疗屈光参差性弱视进行了初期临床观察,现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 顺次收集2006年7月至2011年6月在广西视光中心门诊就诊的屈光参差性单眼弱视儿童31例,其中男20例,女11例,年龄8~16岁(9.6 ± 1.9)岁,患者屈光度范围:球镜为 $-9.25 \sim +5.50$ DS,柱镜为 $-4.00 \sim +3.00$ DC。屈光参差性弱视的诊断标准^[7]:双眼远视性球镜屈光度相差 ≥ 1.50 DS或柱镜屈光度相差 ≥ 1.00 DC,屈光度较高眼形成弱视。纳入标准:(1)年龄 ≥ 8 岁;(2)注视性质为中心注视;(3)有强烈的治疗愿望并同意采用视知觉学习联合遮盖治疗;(4)治疗期间定期复查,病历记录完整,连续随访时间2 a。剔除标准:(1)戴镜治疗4个月即达正常视力1.0者;(2)不能定期随访或中途退出者;(3)注视性质为偏中心注视者;(4)伴斜视或眼球震颤者。31例弱视患者中,轻度2例,中度10例,重度19例。在治疗随访期间,有4例异地患者于第2年脱失,失访率12.9%,符合临床试验要求。本研究经广西壮族自治区人民医院伦理委员会批准,所有患者均知情同意。

1.2 治疗方法 所有患者均进行完整的眼科检查,被确诊为屈光参差性弱视后参照散瞳验光结果给予眼镜处方、配镜,同时对患者优势眼进行遮盖:依据弱视病情给予重度弱视(每天6 h,每周遮盖5 d)和轻中度弱视(每天4 h,每周遮盖5 d)不同的遮盖剂量。另外,采用心理物理学方法对患者进行视觉信息加工能力评估。检测内容涉及视觉噪声、位置辨别、轮廓察觉、视觉计数、辐辏、融像功能等单、双眼视知觉任务,之后依据检测结果进行网络后台设计,给予每位患者每天40 min的接近阈值水平的在线视

知觉学习。视知觉学习内容由4项视知觉任务组成,通常为察觉、辨别、搜索、双眼分视等类型的视知觉任务,任务之间均设定有10 min的休息时间。随着视知觉学习过程的深入,阈值会逐步降低以满足训练要求。视知觉学习联合遮盖治疗周期为12个月,此后1 a为观察期。治疗期间每3个月采集一次最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA),每年进行1~2次复方托吡卡胺滴眼液散瞳验光;观察期间记录患者的BCVA和屈光度情况。

1.3 统计学处理 所有患者的屈光度均转换成等效球镜形式,经标准对数视力表测得的视力均转换成行LogMAR视力,并以 $\bar{x} \pm s$ 表示。采用SPSS 13.0软件中一般线性模型(General Linear Model)的Repeated Measures过程实现重复测量值(等效球镜和行LogMAR视力)的方差分析,并选用LSD法进行弱视眼不同时间点重复测量值的两两比较, Multivariate过程进行弱视眼与对侧眼组间两两比较, $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 视力改善情况与视力变化曲线 本研究样本中31例患者的注视性质均为黄斑中心注视,戴镜眼位均正常。经过治疗,弱视眼的视力均得到了不同程度的改善(图1),提高了(3.9 ± 1.8)行LogMAR视力($P < 0.001$),BCVA改善 ≥ 2 行者达100.0%,有8例患者弱视眼BCVA恢复至1.0正常水平,即屈光参差性弱视患者采用视知觉学习联合遮盖治疗1 a的基本治愈率为25.8%。对侧眼视力始终保持在正常水平。

Figure 1 Changes in visual acuity of amblyopic eyes relative to baseline visual acuity of amblyopic eyes in juvenile with amblyopia treated with visual perceptual learning plus patching 视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视前后视力相对于其基线值的变化情况

屈光参差性弱视患者各时间点的视力检测结果见表1。对视力进行重复测量资料的方差分析显示:

时间因素有统计学意义($F = 78.008, P < 0.001$),即视力有随时间变化的趋势;分组因素(弱视眼与对侧眼)亦有统计学意义($F = 117.206, P < 0.001$);时间因素与分组因素之间有交互作用($F = 59.642, P < 0.001$)。选用 LSD 法对弱视眼各时间点的视力进行

表 1 视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视患者各检测时间点的 BCVA 情况

Table 1 Best corrected visual acuity in different time points in anisometropic amblyopia treated by visual perceptual learning plus patching (LogMAR, $n = 31$)

	Pre-treatment	Intra-treatment				Post-treatment
		3 months	6 months	9 months	12 months	
Amblyopic eye	0.610 ± 0.256	0.348 ± 0.203	0.245 ± 0.175	0.229 ± 0.179	0.216 ± 0.183	0.245 ± 0.177
Fellow eye	-0.010 ± 0.070	-0.061 ± 0.067	-0.052 ± 0.081	-0.035 ± 0.071	-0.029 ± 0.064	-0.042 ± 0.067

将连续 12 个月的治疗过程绘成曲线,结果显示:弱视眼的视力恢复过程呈现出典型的渐近线式变化,即伴随视知觉学习时间的延长,弱视眼的戴镜视力先是快速得到改善,治疗 6 个月之后逐渐趋于稳定(图 2)。第 2 年被设定为观察期,在观察期终点进行散瞳验光和 BCVA 复查,结果显示:87.0% 的患者保持了治疗效果(视力下降不超过 1 行),平均视力下降 0.03 行 LogMAR 视力(图 3)。

Figure 2 Temporal changes in visual acuity in juvenile with anisometropic amblyopia treated with visual perceptual learning plus patching 视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视过程中患者双眼的视力变化情况

两两比较发现:治疗前与治疗后 3 个月比较,以及治疗前、治疗后 3 个月分别与治疗 6 个月、9 个月、12 个月比较,视力差异均有统计学意义(均为 $P < 0.001$);但治疗 6 个月、9 个月、12 个月之间两两比较,视力差异均无统计学意义(均为 $P > 0.05$)。

患者的等效球镜值见表 2。对等效球镜值进行重复测量资料的方差分析显示:时间因素有统计学意义($P = 0.002$),即等效球镜值有随时间变化的趋势;分组因素(弱视眼与对侧眼)亦有统计学意义($P = 0.009$);时间因素与分组因素之间无交互作用($P > 0.05$)。如图 2 所示,患者弱视眼与对侧眼的等效球镜值均表现为随时间呈缓慢下降趋势。进一步比较弱视眼和对侧眼的等效球镜值在不同时间点上的差异,Multivariate 方差分析显示:(1)轻度弱视眼的等效球镜值在各时间点上差异无统计学意义($P > 0.05$);(2)中度弱视眼的治疗前等效球镜值与治疗中、治疗后相比差异均有统计学意义($P = 0.004$ 、 0.008),治疗中与治疗后比较差异无统计学意义($P > 0.05$);(3)重度弱视眼的治疗前等效球镜值与治疗中、治疗后相比差异均有统计学意义($P = 0.017$ 、 0.010),治疗中与治疗后比较差异无统计学意义($P > 0.05$);(4)对侧眼的治疗前等效球镜值与治疗中相比差异无统计学意义($P > 0.05$),治疗前、治疗中分别与治疗后相比差异均有统计学意义($P = 0.017$ 、 0.034)。弱视患者双眼间的屈光参差程度无显著变化。

表 2 视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视患者过程中屈光度变化

Table 2 Refractive power of amblyopic and fellow eyes in juvenile with anisometropic amblyopia treated with visual perceptual learning plus patching (φ/D)

Group	Pre-treatment	Intra-treatment	Post-treatment
Amblyopic eye			
Mild	0.19 ± 3.80	0.00 ± 3.89	-0.25 ± 3.54
Moderate	2.68 ± 2.06 **	2.28 ± 2.01 *	2.13 ± 2.07 *
Severe	2.69 ± 4.33 **	2.44 ± 4.35 *	2.26 ± 4.43 *
Fellow eye	0.07 ± 1.31	-0.04 ± 1.27	-0.25 ± 1.19 *

Note: Compared with fellow eye at the same time point, * $P < 0.05$; Compared with other time points within group, # $P < 0.05$

Figure 3 Retention of visual acuity in juvenile with anisometropic amblyopia treated with visual perceptual learning plus patching 视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视前后患者双眼的视力保持情况

2.2 屈光度变化趋势 治疗前后,屈光参差性弱视

3 讨论

基础研究所取得的突破性进展^[8-12],促使人们对弱视本质以及“关键期”的认识发生根本性转

变——弱视患者视觉系统的可塑性很可能终生存在。这一重大发现为敏感期外的弱视治疗奠定了坚实的理论基础。国内外多所研究机构开展的以成人弱视为对象的小样本研究已从实验层面证实了上述观点的正确性,即短期的视知觉学习可以使成人弱视患者的知觉表现和视力得到改善^[13]。但临床上对视知觉学习治疗屈光参差性弱视的疗效进行长期观察则鲜见报道。因此,本研究特设定2 a为治疗和观察周期,初步探讨视知觉学习联合遮盖治疗屈光参差性弱视的临床疗效。

遮盖疗法治疗弱视有着悠久的历史,最早可追溯到18世纪(DeBuffon, 1743)^[14]。国外曾针对7~17岁弱视患者采用遮盖治疗的疗效进行多中心临床研究^[15],并对其中7~12岁年龄段患者治疗后的疗效进行长达1 a的随访^[16-17]。遮盖治疗24周后的结果显示:视力改善 ≥ 2 行者占47%,各类型弱视患者平均提高3行视力;其中对屈光参差性弱视患者而言,7~12岁年龄段平均提高约3行,13~17岁年龄段平均提高约2行。随访结果显示:视力下降2行者达7%,82%的患者治疗效果保持稳定。

但遮盖治疗会因为社会、情感因素以及皮肤刺激等问题,导致依从性下降影响疗效,并且长期对健眼遮盖存在诱导弱视的风险。为避免上述不足,Polat等^[14]单独使用视知觉学习的方法对5名7~8岁的单眼弱视儿童进行治疗,时间 ≤ 20 周,结果显示被试者的Snellen视力提高1.5行,同时对比敏感度也恢复至正常水平。而近期Chen等^[18]使用双眼分视技术对14例停止遮盖的6~14岁单眼弱视儿童进行为期1周的视知觉学习治疗,结果发现患者中视力改善 ≥ 0.1 行LogMAR者占6/14,且同时伴随立体视的改善。Konx等^[19]则以儿童和成人屈光参差性弱视为对象开展了遮盖疗法与视知觉学习的疗效对比研究,结果显示:两种方法均能改善弱视患者的视力,其中遮盖组的提高幅度平均为0.34行LogMAR视力,视力提高 ≥ 2 行者达96%(平均治疗37.3周,遮盖耗时522.2 h),视知觉学习组平均为0.25行LogMAR视力,视力提高 ≥ 2 行者达76%(平均训练48次,耗时29.5 h),据此认为视知觉学习可以作为遮盖治疗的替代方法。上述研究从不同侧面验证了视知觉学习治疗单眼弱视的效果。此外,国内Liu等^[20]开展了一项有趣的研究,他们以无遮盖治疗史和有遮盖治疗史但效果差或依从性差的两组8~17岁单眼弱视为研究对象,两组均采用视知觉学习治疗,周期为3~10个月;结果发现两组患者视力均有改善:无遮盖史组平均提高1.8行LogMAR视力,有遮盖史组视力平均增进1行LogMAR视力。据此推测,在单眼弱视治疗方面,视知觉学习与遮盖疗法均有疗效,并且二者之间在疗效上存在叠加效应。

为了使弱视治疗效果最大化,本研究样本在进

行视知觉学习治疗的同时沿用了遮盖疗法,研究结果显示:(1)屈光参差性弱视患者经过连续1 a的治疗,弱视眼提高了 (3.9 ± 1.8) 行LogMAR视力,视力改善 ≥ 2 行者达100.0%,基本治愈率达25.8%。这说明,与同类研究相比,延长训练时间可以使弱视眼视力得到更大幅度的改善;治疗策略上视知觉学习联合遮盖更利于促进弱视眼康复。(2)治疗效果的持久性(即视力下降不超过1行者所占的比例)是评价弱视治疗成败的重要指标^[19-21]。本组样本在随访期间87.0%的患者保持了治疗效果,视力平均下降0.03行LogMAR。Moseley等^[23]报道的视知觉学习终止后1 a 90%的患者视力得到了保持,视力平均下降0.05行LogMAR;Liu等^[20]报道的视知觉学习终止后8个月92%的患者视力得到了保持,视力平均下降0.02行LogMAR;本研究结果与他们相接近。

屈光适应(refractive adaptation)^[22]特指患者在初次配戴光学眼镜一段时间之后,戴镜视力较之前明显改善甚至达到正常水平的现象,常见于远视眼和散光眼。对于初次配镜的屈光参差性弱视患者,在采取遮盖治疗前建议给予患者一段时间的屈光适应期。国外学者^[23-24]曾对这一现象进行量化研究,他们推荐对屈光参差性弱视行遮盖治疗前的屈光适应期为18周。因而临床上对于视力低常的可疑弱视患者应先给予至少4个月的屈光适应期,以观察患者视力变化情况,如果观察期内视力恢复正常,说明初次配镜时的视力低常系屈光适应现象所致,可排除弱视。由于本研究样本为首诊病例,既往无治疗史,为有效避免屈光适应这一混杂因素对疗效评价的影响,在纳入研究对象时已经剔除了这部分患者。

治疗期间,对本组患者弱视眼和对侧眼的屈光度也进行了分析,结果提示:屈光参差性弱视患者双眼屈光度均呈现缓慢降低特点,并且患者双眼的屈光参差程度也保持稳定。结合本研究样本主要为远视性或远视散光性参差的临床特点,推测这一现象可能与远视眼自身生长发育过程缓慢有关。与临床上近视患者屈光度变化速度相比,整体而言,治疗随访期间弱视眼屈光度的变化幅度较小,未出现“儿童期加速近视化”现象。这一观察结果可消除患者家属对视知觉学习可能造成患者近视化现象的潜在顾虑。临床工作中,尽管弱视患者的屈光度变化幅度小,但考虑到弱视治疗是以清晰的视网膜影像和正常的光学信号刺激为前提,并且儿童在戴镜过程中容易出现镜框变形、镜片磨损、瞳距变化等情况导致视力检测结果产生误差,所以弱视治疗期间定期散瞳验光、及时更换眼镜存在其必要性。这不仅有助于医师准确分析和掌握治疗过程中的矫正视力变化情况,更有益于坚定患者继续治疗和战胜弱视的信心。

综上所述,本研究以8~16岁接受视知觉学习

联合遮盖治疗 1 a 的屈光参差性弱视患者为对象,研究结果表明:这一治疗模式可以使弱视患者的最佳矫正视力得到改善,且远期疗效似乎优于同类研究。需指出的是,本研究因当时条件所限未进行临床对照试验以及对弱视患者的其他视功能指标进行评价,课题组今后将完善这项工作。此外,临床工作中发现:区别于成人弱视者的以“治疗有效”为合理期望值,对儿童患者而言,他们会将期望值设定在“基本治愈”水平。本研究结果提示视知觉学习联合遮盖虽然所有患者视力均得到改善,但治愈率仍有待提高——这说明现有的基于计算机程序的视知觉学习模型(如侧向交互模型^[14],线性放大模型、知觉模板模型^[25]等)或治疗模式,在临床应用中通过延长患者训练时间虽然提高了治疗效果,但尚未达到儿童患者的期望值。因此,为满足临床需求,在策略上对现行治疗方案进行“优化”——例如根据视知觉学习曲线的渐近线式特征^[26]来优化训练量,以有效缩短治疗时间,或者构建和采用新的理论模型以增强治疗效果,应成为未来的发展方向。

参考文献

1 Lu ZL, Hua T, Huang CB, Zhou Y, Doshier BA. Visual perceptual learning[J]. *Neurobiol Learn Mem*, 2011, 95(2):145-151.

2 Von Noorden GK, Campos EC. Patching regimens[J]. *Ophthalmology*, 2004, 111(5):1063.

3 Friedman DS, Repka MX, Katz J, Giordano L, Ibrionke J, Hawse P, et al. Prevalence of amblyopia and strabismus in white and African American children aged 6 through 71 months the Baltimore Pediatric Eye Disease Study[J]. *Ophthalmology*, 2009, 116(11):2128-2134.

4 Drover JR, Kean PG, Courage ML, Adams RJ. Prevalence of amblyopia and other vision disorders in young Newfoundland and Labrador children[J]. *Can J Ophthalmol*, 2008, 43(1):89-94.

5 Levi DM, Li RW. Perceptual Learning as a potential treatment for amblyopia: a mini-review[J]. *Vision Res*, 2009, 49(21):2535 - 2549.

6 李志超, 赵武校, 蓝方方, 王贻东, 甘露, 刘伟民. 视知觉学习治疗儿童屈光不正性弱视 4 年随访研究[J]. *眼科新进展*, 2012, 32(7):645-647.

7 中华医学会眼科学分会斜视与小儿眼科学组. 弱视诊断专家共识(2011 年)[J]. *中华眼科杂志*, 2011, 47(8):478.

8 Gilbert CD, Li W, Piech V. Perceptual learning and adult cortical plasticity[J]. *J Physiol*, 2009, 587(Pt 12):2743-2751.

9 Chen J, Yamahachi H, Gilbert CD. Experience-dependent gene expression in adult visual cortex[J]. *Cereb Cortex*, 2010, 20(3):650-660.

10 Laura B, Lamberto M, Alessandro S. New perspectives in amblyopia therapy on adults: a critical role for the excitatory/inhibitory balance[J]. *Front Cell Neurosci*, 2011, 5:25.

11 Wong AM. New concepts concerning the neural mechanisms of amblyopia and their clinical implications[J]. *Can J Ophthalmol*, 2012, 47(5):399-409.

12 Maya-Vetencourt JF, Origlia N. Visual cortex plasticity: A complex interplay of genetic and environmental influences[J]. *Neural Plast*, 2012, 2012:631965.

13 Levi DM. Prentice award lecture 2011: removing the brakes on plasticity in the amblyopic brain[J]. *Optom Vis Sci*, 2012, 89(6):827-838.

14 Polat U, Ma-Naim T, Spierer A. Treatment of children with amblyopia by perceptual learning[J]. *Vision Res*, 2009, 49(21):2599-2603.

15 Scheiman MM, Hertle RW, Beck RW, Edwards AR, Birch E, Cotter SA, et al. Randomized trial of treatment of amblyopia in children aged 7 to 17 years[J]. *Arch Ophthalmol*, 2005, 123(4):437-447.

16 Hertle RW, Scheiman MM, Beck RW, Chandler DL, Bacal DA, Birch E, et al. Stability of visual acuity improvement following discontinuation of amblyopia treatment in children aged 7 to 12 years[J]. *Arch Ophthalmol*, 2007, 125(5):655-659.

17 Guntton KB. Advances in amblyopia: what have we learned from PEDIG trials[J]? *Pediatrics*, 2013, 131(3):540-547.

18 Chen PL, Chen JT, Fu JJ, Chien KH, Lu DW. A pilot study of anisometropic amblyopia improved in adults and children by perceptual learning: an alternative treatment to patching[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2008, 28(5):422-428.

19 Knox PJ, Simmers AJ, Gray LS, Cleary M. An exploratory study: Prolonged periods of binocular stimulation can provide an effective treatment for childhood amblyopia[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(2):817-824.

20 Liu XY, Zhang T, Jia YL, Wang NL, Yu C. The therapeutic impact of perceptual learning on juvenile amblyopia with or without previous patching treatment[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(3):1531-1538.

21 Polat U, Ma-Naim T, Belkin M, Sagi D. Improving vision in adult amblyopia by perceptual learning[J]. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2004, 101(17):6692-6697.

22 Cotter SA, Edwards AR, Wallace DK, Wallace DK, Beck RW, Arnold RW, et al. Treatment of anisometropic amblyopia in children with refractive correction[J]. *Ophthalmology*, 2006, 113(6):895-903.

23 Moseley MJ, Neufeld M, McCarry B, Charnock A, McNamara R, Rice T, et al. Remediation of refractive amblyopia by optical correction alone[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2002, 22(4):296-299.

24 Stewart CE, Moseley MJ, Fielder AR, Stephens DA; MOTAS Cooperative. Refractive adaptation in amblyopia: quantification of effect and implications for practice[J]. *Br J Ophthalmol*, 2004, 88(12):1552-1556.

25 Lu ZL, Doshier BA. Perceptual learning retunes the perceptual template in foveal orientation identification[J]. *J Vis*, 2004, 4(1):44-56.

26 赵武校, 刘伟民, 蓝方方. 视知觉学习的时间进程及其与睡眠的关系[J]. *中华实验眼科杂志*, 2013, 31(12):1173-1177.