

# 脑视觉与视觉功能的研究进展

刘 露<sup>1,2</sup>, 窦晓燕<sup>1</sup>

<sup>1</sup>深圳大学第一附属医院深圳市第二人民医院, 广东 深圳

<sup>2</sup>深圳大学医学部临床医学系, 广东 深圳

收稿日期: 2021年11月13日; 录用日期: 2021年11月27日; 发布日期: 2021年12月13日

## 摘 要

脑视觉是通过视觉通路获取信息, 经大脑皮层分析并处理信息, 从而产生视觉功能。随着国内外脑视觉科学的发展, 深入地研究大脑的神经可塑性、双眼视觉功能检查及感知觉的学习和训练可以更好地应用于临床。为患者双眼视功能的重建、高质量的视觉体验提供更多的可能。现将脑视觉的原理、双眼视觉功能的检查及感知觉学习治疗相关的国内外研究进展作一概述。

## 关键词

脑视觉, 视觉功能, 感知觉学习

# Advances in the Study of Brain Vision and Visual Function

Liu Lu<sup>1,2</sup>, Xiaoyan Dou<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The First Affiliated Hospital of Shenzhen University Shenzhen Second People's Hospital, Shenzhen Guangdong

<sup>2</sup>Department of Clinical Medicine, School of Medicine, Shenzhen University, Shenzhen Guangdong

Received: Nov. 13<sup>th</sup>, 2021; accepted: Nov. 27<sup>th</sup>, 2021; published: Dec. 13<sup>th</sup>, 2021

## Abstract

Brain vision is the acquisition of information through the visual pathway, and the analysis and processing of information by the cerebral cortex to produce visual functions. With the development of brain vision science at home and abroad, in-depth research on neuroplasticity of the brain, binocular visual function examination and perceptual learning and training can be better applied to clinical practice. It provides more possibilities for the reconstruction of binocular visual function and high-quality visual experience for patients. The principles of brain vision, binocular visual function examination and perceptual learning treatment related to domestic and international

文章引用: 刘露, 窦晓燕. 脑视觉与视觉功能的研究进展[J]. 眼科学, 2021, 10(4): 155-161.

DOI: 10.12677/hjo.2021.104019

research progress are summarized here.

## Keywords

Brain Vision, Visual Function, Perceptual Learning

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着脑视觉科学的进展, 对视神经中枢加工部位、传入传出通路等有更深入的了解。通过脑视觉的神经机制应用于双眼视觉功能的检查和治疗, 能带给更多人高质量的视觉体验。

## 2. 脑视觉的神经基础

外界信息的 80%~90%经视觉中枢传入大脑。基本视觉信息包括: 亮度、形状、运动(包括运动方向和速度)、颜色、立体或深度视觉[1]。大脑中枢控制和管理视觉中枢, 信息通过视觉通路获取, 大脑皮层处理信息并产生视觉。随着脑视觉科学的发展, 目前对视觉功能的各项生物模型指标, 包括视神经中枢加工部位、传入传出通路以及立体视模型如何量化有了更深入的了解。

### 2.1. 视觉信息整合加工

人类视觉信息加工的模式为等级加工模式, 它是从低级视皮层到高级视觉中枢按等级加工来处理视觉信息的过程。视网膜经过外侧膝状体核来投射到视皮层, 再投射到大脑皮层完成进一步视觉信息的处理。视网膜细胞按照功能可分为大细胞和小细胞, 它们分别处理视觉刺激的不同信息。大细胞负责加工物质运动的信息, 并把加工信息投射到人类大脑的初级视皮层(V1)区, 而小细胞负责加工物质颜色和形状等其自身特征, 再向人类大脑的视觉皮层 V2 区投射。视觉信息通过纹状皮层(V1 和 V2)处理后进一步向高级的纹外皮层投射[2]。

### 2.2. 视觉的双通道与视网膜部位的关系

双眼的视网膜成分只有双眼的黄斑相对应, 右眼颞侧视网膜对应左眼鼻侧视网膜, 右眼的鼻侧视网膜对应左眼颞侧视网膜。双眼黄斑对应的区域, 黄斑中心凹部为视锥细胞对应腹侧视觉通路。腹侧视觉通路主要处理物体的性质(大小、形状、颜色、立体视觉)。双眼黄斑所对应的视差产生精细的立体视觉。故双眼黄斑区对应腹侧视觉通路。随着患者视力的提升, 黄斑中心凹的视觉敏锐度提高, 证实了双眼黄斑区对应腹侧视觉通路。当右眼颞侧视网膜对应左眼鼻侧视网膜, 右眼鼻侧视网膜对应左眼颞侧视网膜, 则可能对应背侧视觉通路。背侧视觉通路处理空间位置、运动信息及粗糙立体视觉。屈光不正性弱视患者其融合功能不受损害的临床现象, 证实了双眼不同区域的视网膜对应背侧视觉通路。

### 2.3. 视觉信息加工的双通道理论

有研究者提出了双眼视觉的双通道理论, 即在纹外皮层阶段, 通过两条在解剖和功能上都不相同的视觉通路来完成视觉信息处理。背侧视觉通路(“where”通路或大细胞通路), 它是从初级视皮层投射(V1

区)到背侧枕顶皮层,该通路与视觉刺激的空间位置和运动信息加工有关。腹侧视觉通路(“what”通路或小细胞通路),从视觉皮层区(V2区)投射到视觉皮层(V4区)再投射到腹侧枕颖皮层,该通路与物质的性质有关,包括大小、形状、质地及颜色等[3]。

物质的空间位置和物质的形状、大小、颜色、质地等视觉信息能在高级阶段完成整合加工,是通过腹侧通路和背侧通路共同作用,可发现两个通视觉加工通路不是完全分离,两个通路存在很多联系,需要做我们进一步更加详细的研究探讨。

### 3. 脑视觉的检查

近年来脑视觉科学的发展,脑视觉可应用于视觉功能的检查,如双眼知觉眼位检查[4]、双眼注视稳定性检查、双眼抑制度检查、阶度立体视检查[5]等。

#### 3.1. 脑视觉检查的原理

脑视觉检查是在静止状态下检查双眼三级视功能的功能状况。包括以下检查,知觉眼位检查是指中心注视点部位的双眼分离状态,可了解双眼中枢控制眼位的能力。平衡点检查可定量了解双眼抑制之间的抑制程度,双眼视视觉中枢的损害程度。阶度立体视检查不但检测精细立体视的缺损位点,同时探索粗糙立体视的残留状态[6],检测双眼视觉中枢的关联程度。阶度立体视检查不仅查到0阶位置视差度,还可以检测到1阶线性梯度视差、2阶弯曲面视差及动态视差的全面立体视的正常与异常的状态。这些检查方法可以更全面地检测双眼视觉功能。

#### 3.2. 脑视觉检查模块的临床应用

现在运用计算机控制的分视眼位检查软件进行眼位检查时,采用偏振光眼镜进行双眼分视,它的融合状态更接近生理状态。同时检查结果中双眼眼位差异用像素记录,检查出的眼位异常最小单位为1个像素(0.1°等于5个像素)。因此对于眼位的描述更细微、更精准。通过计算机控制的分视眼位检查能发现在临床检查中为眼位正位者,用计算机检测双眼位依然有细微的差异[7]。应用基于计算机平台的双眼视觉功能检查,列出常用的方法。

##### 3.2.1. 双眼知觉眼位检查

知觉眼位是双眼分视时视觉中枢对眼位分离控制的表达,反映了个体注视客观目标时,视觉中枢中的空间位置与实际空间位置的偏移程度。知觉眼位的偏移程度能提示中枢知觉功能受损害的状态和程度。知觉眼位的偏移值越大,表明视觉中枢对眼位的控制能力越差[8]。

赵国宏教授对97例儿童知觉眼位研究发现该研究对象的视力和临床眼位检查正常,即有发育完善的双眼黄斑中心凹对应注视,双眼黄斑中心凹对应区有2度的静态融合范围,约为6~15弧分之间[9],所以眼位的水平分离和垂直分离检查结果均位于黄斑中心凹投射范围内,即表明该组受试者的眼位分离均在双眼黄斑中心凹的融合区内[7]。

##### 3.2.2. 双眼注视稳定性检查

注视稳定性是指双眼黄斑维持稳定的注视方向的能力。是大脑对眼球运动控制的一种表现形式。注视稳定性包括较大范围的注视稳定,以及注视中心小区域的注视稳定。眼球运动控制的五个系统通过相互影响来完成大范围的注视稳定性。这五个控制系统包括,前庭反射、扫视性眼球运动、追随性眼球运动、视动性眼球运动及融合反射。注视眼球运动的稳定性为小范围的注视稳定。注视性眼球运动包含微扫视、震颤和漂移[10][11][12]。

注视稳定性可使用眼动仪对目标的注视点、注视时间及眼部跳动距离等客观眼球运动参数进行分析

[13]。注视稳定也可由视知觉和视觉运动的同时参与[14]。当视力正常、眼位发育正常者, 注视稳定性也发育正常。当屈光不正、屈光参差、斜视、弱视发生时视觉信息通路异常, 视觉信息加工受损害, 会影响注视稳定性的正常发育。

### 3.2.3. 双眼阶度立体视检测

双眼立体视觉指双眼同时注视一个物体, 使物体聚焦到双眼视网膜的黄斑中心凹, 再通过两个视觉通路传导到大脑皮层视中枢, 从而使其重合成为一个具有完整的且具有立体感觉的单一物象的过程。

双眼视觉功能临床上分三级, 即同时知觉、融合和立体视觉[15]。有研究发现, 人类有三个不同阶度的立体视[16], V1区的0阶立体视差; 有线性变化区域的1阶立体视差; 有曲面变化区域的2阶立体视差。

该系统可以检测精细立体视和粗糙立体视, 有研究表明这两个系统以互相促进的方式运行, 即双眼清晰对应时, 使用精细辨认系统, 当双眼图像存在不同的亮度、有错觉或视差远超过黄斑区融像极限时, 就启用粗糙辨认系统[17][18]。

早期成熟的立体视功能为动态粗糙立体视, 在4岁前成熟, 比编码精细立体视的成熟年龄更早。有报道显示在超过立体视发育年龄的4岁之后, 精细的立体视仍然在发育过程中[19]。粗糙立体视可能在斜视与弱视出现影响之前就发育成熟, 故不容易破坏早期发育成熟的动态粗糙立体。

许多研究证实, 在中高度近视患者、弱视或屈光参差的患者中的精细立体视存在不同程度的缺损[20]。临床上利用3D-随机点评估静态0阶度立体视, 检测在0.8m处的检查为近距离精细立体视检查, 正常参考值为100秒, 大于此值为异常; 1.5m处检查为远距离精细立体视检查, 正常参考值为100秒, 大于此值为异常。

我国大多数的近视患者选择戴镜矫治近视, 但镜片不仅增加像差, 还缩小物像, 不利于近视患者的立体视觉功能的改善, 故阶度立体视的测定对近视患者的立体视损害程度判断有重要意义。

### 3.2.4. 双眼抑制检测

抑制是指当双眼在注视同一物体的状态下, 优势眼会部分或者全部抑制另一只眼视网膜功能的一种生理现象。生理性抑制是人类在进化过程中为了避免生理性的重影。病理性抑制在日常工作、学习、生活中会导致视物重影。

抑制是大脑在同时接受双眼的视觉下产生的, 双眼同时视时表现最明显。抑制产生在大脑中枢, 一只眼睛阻碍视觉中枢接受和融合另一只眼传递信号的能力。每种生物体在观察特定的目标时会存在优势眼, 而优势眼对双眼立体视功能起减弱的作用。这是最基本的双眼抑制过程, 它不仅发生于弱视患者, 也存在于正常人。正常人双眼交替抑制, 并维持在一个特定的平衡点。当平衡点被打破, 一只眼睛出现绝对优势时, 弱视也会随之产生。抑制是弱视产生的一个重要病理机制。生命早期神经系统就已基本成形, 但外界视觉体验对其神经通路的结构和功能是不可缺少的条件。抑制从一开始出现视觉时便一直参与了视觉的形成、发展和完善。

双眼不平衡为双眼同时视过程中的单眼间歇性抑制现象, 发生在近外侧膝状体的视皮层。双眼不平衡最开始被发现于阅读障碍患者, 因为双眼不平衡可能会引起视敏锐度的波动, 产生不同的单眼图像叠加, 从而干扰阅读活动中的眼睛进行精准地图像定位[21][22]。双眼不平衡为双眼同时视过程中的单眼间歇性抑制现象, 它的特征是短暂的循环抑制仅限于中心视野2~3度。其过程为起初单眼抑制持续2~3秒。然后双眼同时视2~3秒, 再另一只单眼再被抑制2~3秒, 最后达到双眼同时视, 将此过程循环往复。

在临床上抑制分为轻中重度抑制。轻度抑制为间歇性抑制, 中度抑制为中心凹抑制, 重度抑制为单眼抑制或交替抑制。徐莉等研究发现应用双眼整合刺激模式能够更加敏锐地检测双眼不平衡。为临床双



眼视觉功能异常的诊断和分析提供了有力的新工具[23]。

### 3.2.5. 双眼平衡点检测

通过信号噪声比的检测, 探测通道噪声的分割与整合的情况。在屈光参差患者中, 由于双眼不平衡的视力及屈光度, 导致融像困难, 从而影响双眼视觉的建立。

Hess Thompson [24]提出的平衡点检测改进的思路, 从而进一步量化动静态信噪比和动静态信号对比度检测。现在国内外较少针对屈光不正、屈光参差患者对双眼平衡点影响的报道, 故可深入的研究其中是否存在关联。

## 4. 感知觉学习

脑视觉治疗通过感知觉学习是 1963 年 Eleanor Gibson 提出的新观点, 为通过反复练习和实践感知觉训练, 从而出现视感知觉功能的改善, 是一种长期持续的视觉皮质的改变, 它不同于认知和运动领域的学习, 常常表现出刺激和任务的特异性[25]。

### 4.1. 感知觉学习的原理及意义

有研究表明[25]视觉系统能够主动适应和反映外界环境各种变化, 突触强度和数目发生变化, 并维持一定时间的过程称为神经可塑性, 它的形式包括诱导的树突增长或缩短、树突密度改变、功效改变, 引起的大脑皮层重新组合、神经系统血管生成。它包含了生理性和病理性两个方面。

感知觉学习的研究说明神经可塑性的有其理论意义, 更好理解人类在处理信息的局限。许多研究表明灵长类动物以及人类的大脑, 都有一定程度的神经可塑性, 能够通过对感知觉任务的重复练习或感知觉学习提高感知觉性能[26]。

感知觉学习过程是基于人类大脑中枢的可塑性, 通过特定的视觉刺激信号, 激活视觉通路, 改进大脑的神经系统信号的加工、处理及传导能力, 实现重塑双眼视功能的目的。

近年来, 许多研究显示感知觉学习训练对双眼视功能缺陷的患者的视力、眼位、立体视功能等有显著的提高, 对于斜弱视患者的治疗也有显著疗效, 在临床受到越来越多的关注。

感知觉学习训练采用网络模式, 根据每位患者进行个体化训练, 设计不同的跟踪式与调节式感知觉任务进行练习, 操作简单, 生动形象, 从而增加患者的兴趣, 提高其积极性与主动性, 具有实用的临床应用价值。

### 4.2. 感知觉学习模块的临床应用

#### 4.2.1. 屈光不正

类型包括近视、远视、散光。Paffen 等[27]认为大脑神经系统具有可塑性, 感知觉学习是通过特定的视觉刺激或任务训练激活不同的视觉信号通路, 矫治和改善大脑神经系统的信号加工处理能力, 从而达到治疗的目的。随着脑视觉科学的研究进展, 目前对近视的治疗也提供了新的思路。人们对视觉质量的要求越来越高, 近视患者在屈光手术后不仅希望得到视力的提升, 视觉质量也能有所改善, 但目前国内较少对屈光手术后患者视觉评估的检查, 脑视觉检查患者双眼视觉功能为评估术前术后的视觉质量提供了量化的指标, 并为下一步的感知觉学习训练提供了有力的证据, 让患者能切实感受到视觉质量的变化。

现在可以通过一种生物模型算法配合不同的分视设备结合应用于临床的感知觉检查治疗系统, 能够有效地检出视知觉缺损情况。其中知觉眼位和注视稳定性检测到双眼运动中枢的控制能力; 阶度立体视检测可以找到双眼视觉的关联; 平衡点检测可以敏锐地检测到双眼的抑制关系和单眼的损害程度。通过对双眼多维度的检测可以对近视的诊断治疗可提供更详细、更准确、更有效的参考指标。

#### 4.2.2. 弱视

临床常分为斜视性弱视、屈光参差性弱视、屈光不正性弱视及形觉剥夺性弱视; 双眼视力相差 2 行及以上, 视力较低眼为弱视[28]。美国著视知觉科学家 Levi 已经证实感知觉学习训练可以有效地提高儿童弱视者的双眼视觉功能[29]。马莉莉[30]在对 58 例弱视的研究发现通过视觉功能联合训练后患者的视力比治疗前有所提高。

#### 4.2.3. 斜视

分为共同性斜视和非共同性斜视。斜视不仅严重影响患者的外观, 更影响了双眼视觉功能, 导致出现重影、单眼抑制和视网膜的异常对应, 严重影响了患者的视觉功能。斜视的诊断相对容易, 但是治疗却需谨慎对待, 不仅要重视眼位的矫正, 更应重视双眼的视功能恢复, 把双眼视觉功能的恢复作为斜视治疗的关键, 尤其是对于具备条件的斜视患者, 治疗斜视的首要目的应是修复患者的双眼视功能整合储备能力[31]。杨勇[32]等对间歇性外斜视手术患儿 90 例分为观察组和对照组, 观察组进行双眼视觉训练, 对照组进行术后常规眼科处理。观察组患儿术后半年眼位正位的比例高于对照组。观察组患儿术后半年三级视功能恢复者均高于对照组。该研究得出儿童在间歇性外斜视术后进行双眼视功能训练不仅可以降低术后眼位回退风险, 还能促进双眼三级视功能的恢复。

#### 4.2.4. 准分子激光术后

准分子激光术后立体视觉盲或仅存周边立体视的患者术后视力恢复, 屈光参差得以消除, 双眼得到清晰地物像, 而改善立体视功能。对于术后视力不足 1.0、视疲劳或感觉不适、屈光参差的患者, 可提升视力、视觉质量、改善视疲劳。

#### 4.2.5. 白内障术后

对于行白内障超声乳化术或白内障囊外摘除术联合人工晶状体植入术, 术后有重影、视觉质量欠缺的患者, 可减轻或消除重影, 提升视觉质量。

### 5. 展望与进展

综上所述, 脑视觉是近年来研究的热点问题, 从脑视觉的神经基础、作用机制、脑视觉检查、感知觉训练的治疗方式与双眼视觉功能的重建都取得了进展, 随着脑视觉研究的临床应用, 为双眼视觉功能的重建提供了新的思路。但仍有许多问题需要继续探讨, 如感知觉学习重建双眼视觉功能的具体机制、影响感知觉学习的具体因素等。感知觉学习对双眼视觉功能的重建的研究有助于临床的诊疗, 具有重要的临床意义。现在人工智能的广泛应用, 未来结合人工智能, 利用大数据为每个患者制定最匹配的脑视觉检查及感知觉训练, 使视觉质量达到最佳状态。

### 致 谢

感谢我的指导老师窦晓燕教授, 她严谨的态度、开阔的思维对我有很大帮助, 提供了许多宝贵的意见。再次感谢一直以来鼓励我, 支持我的爸爸妈妈和哥哥。

### 参考文献

- [1] 张伟, 赵堪兴. 视觉形成的神经机制[J]. 眼科研究, 2002, 20(5): 472-474.
- [2] 胡广蕊, 王澄澄, 翁伟生. 双眼视觉新认识及弱视治疗新角度[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2012, 20(4): 187-191.
- [3] Vogels, R. (2010) Mechanisms of Visual Perceptual Learning in Macaque Visual Cortex. *Topics in Cognitive Science*, 2, 239-250. <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2009.01051.x>

- [4] Serrano-Pedraza, I., Manjunath, V., Osunkunle, O., *et al.* (2011) Visual Suppression in Intermittent Exotropia during Binocular Alignment. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **52**, 2352-2364. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-6144>
- [5] Read, J.C. and Cumming, B.G. (2007) Sensors for Impossible Stimuli May Solve the Stereo Correspondence Problem. *Nature Neuroscience*, **10**, 1322-1328. <https://doi.org/10.1038/nn1951>
- [6] 付晶, 卢炜, 吴殿鹏, 等. 斜视与弱视患者精细与粗糙立体视的研究[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2015, 23(1): 1-5.
- [7] 赵国宏, 卢炜, 阎丽, 张灵阁. 正常视力儿童知觉眼位及注视稳定性状况的调查[J]. 眼科, 2014, 23(5): 312-315.
- [8] 蔺琪, 阎丽, 褚航, 施维, 于刚, 吴倩, 李莉. 弱视的感知觉学习模型研究[J]. 中视与小兒眼科杂志, 2017, 25(1): 44-46.
- [9] London, R. and Crelier, R.S. (2006) Fixtion Disparity Analysis: Sensory and Motor. *Approache Optometry*, **77**, 590-608. <https://doi.org/10.1016/j.optm.2006.09.006>
- [10] 王澄澄, 翁伟生, 朱敏侨, 等. 注视稳定性的概述[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2010, 18(1): 44-46.
- [11] 王育良, 张传伟, 阎丽. 脑视觉[M]. 北京: 人民军医出版社, 2013: 203.
- [12] Martinez-Conde, S., Otero-Millan, J. and Macknik, S.L. (2013) The Impact of Microsaccades on Vision: Towards a Unified Theory of Saccadic Function. *Nature Reviews Neuroscience*, **14**, 83-96. <https://doi.org/10.1038/nrn3405>
- [13] Ghasia, F.F. and Shaikh, A.G. (2015) Uncorrected Myopic Refractive Error Increases Microsaccade Amplitude. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **56**, 2531-2535. <https://doi.org/10.1167/iovs.14-15882>
- [14] Gonzadlez, E.G., Wong, A.M., Niechwiej-Szwedo, E., *et al.* (2012) Eye Position Stability in Amblyopia and in Normal Binocular Vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, **53**, 5386-5394. <https://doi.org/10.1167/iovs.12-9941>
- [15] 闻华明, 张熙滢, 姚敏, 丛日昌. 直肌边缘切开术矫正共同性内斜视后双眼视觉分析[J]. 临床医学工程, 2017, 24(5): 617-618.
- [16] Hess, R.F. and Wilcox, L.M. (2008) The Transient Nature of 2nd-Order Stereopsis. *Vision Research*, **48**, 1327-1334. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.02.008>
- [17] Giaschi, D., Ryan, L., *et al.* (2013) Sparing of Coarse Stereopsis in Stereodeficient Children with a History of Amblyopia and Strabismus. *Journal of Vision*, **13**, 17. <https://doi.org/10.1167/13.10.17>
- [18] Wilcox, L.M. and Hess, R.F. (1998) When Stereopsis Does Not Improve with Increasing Contrast. *Vision Research*, **38**, 3671-3679. [https://doi.org/10.1016/S0042-6989\(98\)00066-2](https://doi.org/10.1016/S0042-6989(98)00066-2)
- [19] Giaschi, D.E., Narasimhan, S., *et al.* (2013) On the Typical Development of Stereopsis: Fine and Coarse Processing. *Vision Research*, **30**, 65-71. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2013.07.011>
- [20] Liu, X.Y. and Zhang, J.Y. (2017) Dichoptic Training in Adults with Amblyopia: Additional Stereoacuity Gains over Monocular Training. *Vision Research*, **152**, 84-90. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2017.07.002>
- [21] Hussey, E.S. (1982) Detect Suppression with Vector Graphs. *Review of Optometry*, **119**, 49-52.
- [22] Hussey, E.S. (1999) Use of Visual Flicker in Remediation Of Intermittent Central Suppression Suggests Regionalization of Vision. *Journal of Behavioral Optometry*, **10**, 3-11.
- [23] 徐莉, 蓝剑青, 潘羽蔚, 罗琨, 褚航, 阎丽, 曾锦. 正常视力人群在不同时空频率的双眼整合刺激模式下的双眼视功能[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2019, 27(3): 8-11.
- [24] Hess, R.F. and Thompson, B. (2015) Amblyopia and the Binocular Approach Toits Therapy. *Vision Research*, **114**, 4-16. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2015.02.009>
- [25] 何娟, 张黎. 感知觉学习对斜弱视患者视功能重建的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2015, 15(11): 1913-1916.
- [26] Buonomano, D.V. and Merzenich, M.M. (1998) Cortical Plasticity: From Synapses to Maps. *Annual Review of Neuroscience*, **21**, 149-186. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.21.1.149>
- [27] Paffen, C.L., Verstraten, F.A. and Vidny ánszky, Z. (2008) Attention-Based Perceptual Learning Increases Binocular Rivalry Suppression of Irrelevant Visual Features. *Journal of Vision*, **8**, 25. <https://doi.org/10.1167/8.4.25>
- [28] 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): 768.
- [29] Neri, P. and Levi, D.M. (2006) Spatial Resolution for Feature Binding Is Impaired in Peripheral and Amblyopic Vision. *Journal of Neurophysiology*, **96**, 142-153. <https://doi.org/10.1152/jn.01261.2005>
- [30] 马莉莉. 视觉功能训练在弱视治疗中的应用价值研究[J]. 中华眼科医学杂志(电子版), 2015, 5(5): 263-267.
- [31] 牛兰俊. 斜视治疗应重视双眼视觉功能的恢复[J]. 中华眼科杂志, 2005, 41(7): 577-579.
- [32] 杨勇, 毛凯波. 儿童间歇性外斜视术后视觉训练对视功能重建效果分析[J]. 世界复合医学, 2019, 5(11): 127-129.