

视知觉训练对间歇性外斜视患者术后双眼视觉重建的研究进展

丁艳丽¹, 王玉瑾², 刘勤^{1,3}, 王吉翔², 苏渲迪²

引用: 丁艳丽, 王玉瑾, 刘勤, 等. 视知觉训练对间歇性外斜视患者术后双眼视觉重建的研究进展. 国际眼科杂志 2023; 23(2):244-247

基金项目: 兰州市人才创新创业项目 (No.2020-RC-70)

作者单位: ¹(730000) 中国甘肃省兰州市, 甘肃中医药大学第一临床医学院; ²(730050) 中国甘肃省兰州市第一人民医院眼科;

³(730000) 中国甘肃省兰州市, 甘肃省人民医院眼科

作者简介: 丁艳丽, 甘肃中医药大学在读硕士研究生, 研究方向: 斜弱视与小儿眼科。

通讯作者: 刘勤, 毕业于兰州大学, 学士, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 眼视光学、眼表疾病. summliu@126.com

收稿日期: 2022-04-08 修回日期: 2023-01-05

摘要

间歇性外斜视 (IXT) 是一种发病率高、斜视角度多变、双眼视觉功能不同程度受损的眼科常见疾病。双眼视觉功能缺损与视觉皮层的改变有关, IXT 涉及包括双眼融合相关皮质区域在内的多个脑区的功能改变, 部分 IXT 患者在矫正眼位后, 大脑皮层的异常改变依然存在, 双眼视觉的恢复仍然困难。针对这些问题, 视知觉训练逐渐应用到 IXT 患者术后双眼视觉功能的重建中, 视知觉训练从大脑层面修复视觉皮质, 通过不断刺激视觉中枢, 提高大脑视觉皮层处理信息的能力, 进而修复视觉中枢功能, 使患者获得良好的双眼视觉功能, 稳定眼位, 减少复发。本文就 IXT 患者双眼视觉损伤机制以及视知觉训练在 IXT 治疗中的作用做一综述。希冀为视知觉训练重建 IXT 患者术后双眼视觉功能、降低复发率提供更多证据。

关键词: 间歇性外斜视; 双眼视觉; 视觉皮层; 视知觉训练

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.2.13

Research progress of visual perception training on postoperative reconstruction of binocular vision in patients with intermittent exotropia

Yan-Li Ding¹, Yu-Jin Wang², Qin Liu^{1,3}, Ji-Xiang Wang², Xuan-Di Su²

Foundation item: Talents Innovation and Entrepreneurship Project of Lanzhou (No.2020-RC-70)

¹The First Clinical Medical College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu Province, China; ²Department of Ophthalmology, the First People's Hospital of Lanzhou City,

Lanzhou 730050, Gansu Province, China; ³Department of Ophthalmology, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, Gansu Province, China

Correspondence to: Qin Liu. The First Clinical Medical College of Gansu University of Chinese Medicine, Lanzhou 730000, Gansu Province, China; Department of Ophthalmology, Gansu Provincial Hospital, Lanzhou 730000, Gansu Province, China. summliu@126.com

Received: 2022-04-08 Accepted: 2023-01-05

Abstract

• Intermittent exotropia (IXT) is a common ophthalmic disease with high incidence, variable deviation, and varying degrees of impaired binocular visual function. The defect of binocular visual function is related to the changes of visual cortex. IXT involves the functional changes of many brain regions, including the cortical areas related to binocular fusion. After correcting the eye position, the abnormal changes of cerebral cortex still exist in some patients with IXT, and the recovery of binocular vision is still difficult. In order to solve these problems, visual perception training is gradually applied to the postoperative reconstruction of binocular visual function in patients with IXT. Visual perception training repairs the visual cortex from the brain level, improving the ability of the visual cortex to process information by constantly stimulating the visual center, thus repairing the visual central function, so that patients can obtain good binocular visual function, stabilize the eye position and reduce recurrence. This article reviews the mechanism of binocular visual impairment and the role of visual perception training in the treatment of IXT. It is hoped to provide more evidence for visual perception training to reconstruct postoperative binocular visual function and reduce the recurrence rate in patients with IXT.

• KEYWORDS: intermittent exotropia; binocular vision; visual cortex; visual perception training

Citation: Ding YL, Wang YJ, Liu Q, et al. Research progress of visual perception training on postoperative reconstruction of binocular vision in patients with intermittent exotropia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023;23(2):244-247

0 引言

间歇性外斜视 (intermittent exotropia, IXT) 是最常见的斜视亚型, 在中国青少年中的患病率约为 3%^[1], 最突出的特点是斜视角度变化大, 但仍有部分控制眼位的能

力,如果病情持续发展,可能成为恒定性外斜视而完全丧失双眼视觉功能。双眼视觉功能缺损会对生活工作产生重大影响,也会限制职业选择。对于 IXT 的治疗,手术是重要的治疗方法,通过手术矫正眼位来消除斜视对视觉系统和视觉感知发展的负面影响,而术后双眼视觉功能的恢复在斜视治疗中占有更重要的地位。基于虚拟现实(virtual reality, VR)技术的视感知觉训练系统以神经可塑性和感知觉学习为依据,通过重复知觉学习任务,使视觉皮质产生持久的改变,以达到恢复双眼视觉功能的目的。视感知觉训练为 IXT 患者术后重建双眼视觉功能提供了新的治疗方法。

1 双眼视觉功能在 IXT 中的作用

双眼视觉功能从低级到高级分为同时视、融合功能和立体视觉,三级视功能之间顺序建立、相互依存,又有各自独立的发生机制。同时视是在观察外界物体时,每只眼睛的视网膜各自形成一个物像;融合功能是在具有同时视功能的基础上,综合两眼物像在知觉水平形成完整印象的能力^[2];立体视功能是感知双眼视网膜视差深度的能力,是双眼视觉功能中最便捷、最直观、最重要的反映^[3]。国内外研究显示双眼视觉功能在出生后 3~6mo 开始发育,3 岁左右发育达到高峰,9 岁时儿童与成人双眼视觉功能基本接近,9 岁前是双眼视觉功能发育的敏感期,成熟期约在 9~12 岁之间^[4-5]。在双眼视觉功能发育的关键时期,异常视觉体验会导致大脑解剖和功能上的异常发育,斜视就是其中之一。手术是治疗 IXT 的主要手段,手术治疗的主要目的是矫正眼位、保护双眼视觉功能,防止其进一步丧失,但手术治疗的效果并不十分理想,部分患者出现预后不良,如矫正不足、矫正过度、斜视复发等。双眼视觉功能是判断 IXT 严重程度的重要因素之一,术后无法建立正常双眼视觉功能会增加复发率和二次手术率^[6-8]。在双眼视觉发育敏感期内,神经可塑性最强,所以在此期间矫正眼位,有助于消除抑制,建立正常的视网膜对应,大脑神经细胞的可塑性可使其重新建立正常的视觉神经通路,改善双眼视觉功能。成人神经可塑性降低,矫正眼位后,立体视的恢复效果较儿童患者差。但也有研究表明人类视觉发育的可塑性在成年后依旧存在,成人斜视患者术后也应积极治疗,有利于其双眼视觉功能的恢复^[9]。

2 视觉中枢机制改变在 IXT 中的作用

大脑皮层视觉区是一个高度分布的系统,包括纹状视觉区(或称 V1 区)和纹外视觉区(含有 V2 区、V3 区、V4 区以及更高级的区域),从 V1 区传出的视觉信息分为背侧通路和腹侧通路进行视觉加工,背侧通路沿着枕顶叶分布,经内侧颞叶投射至枕顶叶,主要对运动、物体位置进行识别;腹侧通路开始于 V1 区,经过 V2、V3、V4 到达颞下回,主要与颜色、形状相关^[10]。Bui 等^[11]认为斜视会造成 V1 区的神经元激活受到抑制,也会造成腹侧通路及背侧通路的神经元功能异常,导致视觉皮层的感受降低,对视觉信号加工处理的能力存在缺陷,从而使大脑皮层在同时视、融合功能及立体视方面发育均有异常。Zhu 等^[12]研究发现共同性外斜视患者 V1 区和舌回之间功能连接的降低,反映了患者在视觉处理方面的缺陷。IXT 作为一种

特殊类型的斜视,目前研究有限,IXT 的病理机制被认为可能与多种因素有关,双眼融合缺陷被认为是 IXT 的可能原因。双眼融合功能涉及 V1、V2、V3、MT 区域以及更高水平的腹侧和背侧视觉通路协调,任何融合和更高空间的知觉损害都与 IXT 的病程密切相关^[13]。Li 等^[14]研究发现,IXT 患者发生眼位偏斜时,楔前叶的激活表明眼球运动系统并未完全受损,双侧顶上小叶和顶下小叶的皮质活动增强,来补偿双眼融合功能,推测各皮质区激活状态不同与 IXT 患者既要维持眼位,又需要维持融合有关。He 等^[15]研究发现 IXT 患者 V1 区与距状沟之间的功能连接的减弱可能与双眼融合功能障碍有关;V1 区与楔叶间功能连接减弱与立体视觉、眼球运动异常有关;V1 区和视觉相关区域以及控制眼球运动的相关区域功能连接的减少可能与 IXT 患者视觉功能受损的潜在神经机制有关。IXT 患者存在多个脑区损伤,病情进展过程中确切的脑区变化尚不清楚,尤其是涉及 IXT 融合相关视觉皮质的异常还需要进一步研究,对探索 IXT 患者视觉皮质损伤与发病机制、治疗和预后之间的关系具有重要的意义。

3 IXT 患者术后双眼视觉功能的重建

3.1 双眼视觉功能检查和训练的传统方法 对于 IXT 患者双眼视觉功能检查,常用的方法包括红绿镜片法、Bagolini 法、Worth 四点法、Titmus 立体视检查,随机点检查、同视机法等^[16]。Titmus 随机点检查无法测量低于阈值的残余立体视功能,包括一级和二级立体视功能;同视机检查在非自然状态下分视双眼,无法检测准确的双眼视觉功能,尤其是远立体视功能。标准的立体视检查应该是远、近立体视双项定量测量,即需要对远、近立体功能进行不同的测量来做对比。在 IXT 术后双眼视功能训练方面,主要有脱抑制、矫正异常视网膜对应、扩大融合范围和立体视功能的训练。遮盖法训练可以破坏异常视网膜对应,但如果不能严格控制遮盖时间,会影响正常双眼视觉功能建立;电脑软件训练方式虽然内容多元化,但操作复杂,对患者理解能力要求高,目前缺乏大样本长期随访研究;同视机可以训练三级视功能,但内容枯燥、对操作人员要求较高,训练时间长,患者依存性差。

3.2 视感知觉训练的相关研究 正常视觉功能的形成不仅需要正常的解剖结构及眼外肌眼球运动,也需要正常的视觉感知^[11]。近年来,感知觉学习逐渐引入斜视研究领域。Gibson^[17]首次提出感知觉学习的概念,通过一系列的知觉学习任务后出现的感知性能的改变。有研究提出“视觉发育可塑性”学说,为感知觉学习改善双眼视觉功能提供了依据^[18]。Ding 等^[19]首次为因斜视或弱视而长期丧失正常双眼视觉的成年人提供了通过感知觉学习恢复立体视觉的证据。随着许多游戏性的视觉训练内容被加入到弱视的治疗中,刘斯焯^[20]将 VR 技术与感知觉学习相结合,设计视感知觉训练模块来训练视功能,利用大脑神经可塑性,在自然状态下分视双眼进行视功能训练,通过个性化的视觉刺激训练,激活视觉信号通路,使视觉皮层能更有效地处理信息,从而达到治疗目的。Vedamurthy 等^[21]认为使用多种线索和丰富的反馈进行深度训练,能够使立体盲或立体缺陷观患者增加对立体线索的依赖,减

少双眼之间抑制,从而改善立体视锐度。斜视患者因为异常视网膜对应,参与感觉整合的高级脑区接收微弱且不可靠的信息,导致视差信息的权重下降,而在VR环境中分视双眼进行视感知觉任务学习,通过降低双眼对比度,对两只眼睛的刺激进行感知匹配、对齐和融合,将这种平衡的视觉输入与视觉运动任务相结合,反复实践,可以使患者消除错误的视觉经验,使视差信息变得更加可靠,从而改善患者的立体视功能。Godinez等^[22]研究发现视感知觉训练,可以消除视觉加工通道中的障碍,修复视觉功能缺陷,使IXT患者的斜视程度和立体视得到改善,并且可以提高正常个体的立体视锐度。Li等^[23]认为基于VR技术的视觉感知智能平台可以揭示视网膜细胞接收图像后的一系列脑神经反应的过程,VR光学工具可以更准确地测量双眼视觉感知缺陷状态,并准确地量化神经反应阈值,利用神经可塑性进行视感知觉训练,从而改善患者视觉感知、立体视觉和眼位。基于VR的视感知觉训练系统能够创造一种感知、行动、环境紧密交织的自然训练方式,通过平衡的视觉输入,重复知觉学习任务,使视觉皮质产生长期的改变。研究表明,视感知觉训练可以显著提高视觉缺陷患者的对比敏感度和立体视功能,其临床意义已经受到越来越多的关注。但对于视感知觉训练改善视觉功能的具体机制,还需要更深入的研究。

3.3 视感知觉训练对 IXT 患者术后重建双眼视觉功能的研究

近年来,视感知觉训练受到临床医师的关注,逐渐应用到 IXT 患者术后双眼视觉功能的重建中。研究发现大脑皮质可塑性的激活可以发生在不同的神经传导水平,通过多种神经加工过程完成,腹侧和背侧视觉通路具有不同可塑性反应,进行不同的刺激任务分配,能诱导皮层回路的功能重组,从而导致基本视觉感知功能的改变^[9]。视感知觉训练利用大脑视觉皮层在不同视觉任务下的可塑性,在进行训练时,图像的亮度、大小、形状、密度不断改变,持续刺激腹侧通路,不同运动速度、不断改变方向的图像持续刺激背侧通路,图像信息在视觉皮层进行整合,视觉中枢进一步加工处理再反馈给双眼及肢体进行训练,通过对这些处理双眼视觉信息的视皮层神经元的不断刺激,使患者处理视觉信息的视皮层神经系统均得到重塑,进而帮助 IXT 患者术后重建双眼视觉功能^[24]。刘香等^[25]认为 IXT 患者的视觉信息加工功能缺损主要表现为双眼间知觉眼位异常和多维空间立体感知功能异常,短期视感知觉训练对促进 IXT 术后立体视功能重建的效果明显,尤其是对处理视觉通道的高级区域的重建有显著效果。王炳等^[26]认为 IXT 患者术后进行视感知觉训练,可以改善其双眼视觉功能。张健等^[27]认为视感知觉训练有助于恢复立体视,且效果与同视机方法具有显著差异,并且视感知觉训练对于发病年龄较小的患者术后双眼单视功能恢复效果好于年龄较大的患者。韩惠芳等^[28]研究发现 IXT 患者术后大脑视觉层面仍然存在感知异常,针对性的短期视感知觉训练后,患者眼位的空间扭曲状况,即眼位的二维分离状况发生明显改善,提示术后进行短期视感知觉训练能有效改善双眼整合功能。李蕾等^[29]比较了不同训练方法对 IXT 患者术后双眼视功能重建的影响,发现经过视感

知觉训练的患者术后 6mo 眼位正位率高于传统训练组患者,远高于未进行任何训练的观察组患者,远立体视重建效果也优于另外两组,证实了 IXT 术后进行视感知觉训练,能显著提高双眼视觉功能恢复率,减少术后复发。樊新皓等^[30]在研究中发现 IXT 患者矫正眼位后仍然存在双眼不平衡和中枢功能缺损,视感知觉训练可以重建双眼视觉功能,稳定眼位,降低术后复发率。研究表明,针对 IXT 患者术后可能出现的双眼视觉功能缺损,如抑制、复视,融合范围小,无立体视等,视感知觉训练系统能够进行中枢评估并制定视感知觉训练方案,提供相应的脱抑制、平衡双眼、双眼融合、运动视差训练等内容,针对不同个体进行个性化训练,能有效促进双眼视觉功能的恢复,维持术后眼位稳定。视感知觉训练这一新的治疗方法可能会改变 IXT 术后眼位恢复而双眼视功能重建困难的现状。

4 总结与展望

综上所述,视感知觉训练为 IXT 患者术后重建双眼视觉提供了新的治疗选择。针对 IXT 患者矫正眼位后仍然存在的双眼不平衡和视觉皮质层面的感知异常,视感知觉训练能够改善和重塑视觉皮质信号加工系统,消除抑制,扩大融合范围,重建立体视觉,更好地稳定眼位,降低 IXT 术后复发率。但仍有许多问题需要继续探讨,如视感知觉训练重建双眼视觉功能的具体机制、影响视感知觉训练效果的关键因素、训练流程规范、长期疗效等。视感知觉的发展和运用,将对 IXT 儿童双眼视觉的发育和成年人失去的双眼视觉的恢复产生重要的意义。

参考文献

- 1 Pan CW, Zhu H, Yu JJ, et al. Epidemiology of intermittent exotropia in preschool children in China. *Optom Vis Sci* 2016;93(1):57-62
- 2 田晓丹,崔丽红,张越. 不同年龄段儿童间歇性外斜视手术疗效分析. *国际眼科杂志* 2018; 18(12):2222-2224
- 3 Dai SY, Sun WF, Xu HJ, et al. Effect of applying binocular visual training after slanted lateral rectus recession on orthophoric rate and binocular visual function recovery on patients with convergence insufficiency-type intermittent exotropia. *Evid Based Complement Alternat Med* 2021;2021:7202319
- 4 Holmes JM, Birch EE, Leske DA, et al. New tests of distance stereoacuity and their role in evaluating intermittent exotropia. *Ophthalmology* 2007;114(6):1215-1220
- 5 张伟,赵堪兴,高玮,等. 儿童动态随机点立体图视觉诱发电位研究. *中国实用眼科杂志* 2004;2:106-108
- 6 Yang M, Chen JC, Shen T, et al. Clinical characteristics and surgical outcomes in patients with intermittent exotropia: a large sample study in South China. *Medicine* 2016;95(5):e2590
- 7 Liu YL, Liu CG, Zhang W, et al. Model of a support vector machine to assess the functional cure for surgery of intermittent exotropia. *Sci Rep* 2019;9(1):8321
- 8 Sun HN, Bai SM, Liao RJ, et al. Contrast agent and molecular imaging meta-analysis of the clinical effect of intelligent image sensor combined with visual training in the treatment of children with intermittent exotropia in China. *J Healthc Eng* 2022;2022:5387928
- 9 Kurzawski JW, Lunghi C, Biagi L, et al. Short-term plasticity in the human visual thalamus. *eLife* 2022;11:e74565
- 10 付晶,郭雅楠. 重视间歇性外斜视的中枢机制在诊疗中的应用. *中国斜视与小兒眼科杂志* 2019;27(4):1-5
- 11 Bui Quoc E, Milleret C. Origins of strabismus and loss of binocular

vision. *Front Integr Neurosci* 2014;8:71

12 Zhu PW, Huang X, Ye L, *et al.* Altered intrinsic functional connectivity of the primary visual cortex in youth patients with comitant exotropia: a resting state fMRI study. *Int J Ophthalmol* 2018;11(4):668-673

13 Guo YN, Fu J, Hong J, *et al.* Functional changes in the visual cortex in preoperative and postoperative patients with intermittent exotropia: study protocol for a non-randomised case-control clinical trial. *BMJ Open* 2022;12(2):e055848

14 Li Q, Bai JX, Zhang JR, *et al.* Assessment of cortical dysfunction in patients with intermittent exotropia: an fMRI study. *PLoS One* 2016;11(8):e0160806

15 He XY, Hong J, Liu ZH, *et al.* Decreased functional connectivity of the primary visual cortex and the correlation with clinical features in patients with intermittent exotropia. *Front Neurol* 2021;12:638402

16 卓佐跑, 汪育文. 视觉功能检查在临床和科研中的应用. *国际眼科杂志* 2017;17(5):873-875

17 Gibson EJ. Perceptual learning. *Annu Rev Psychol* 1963;14:29-56

18 Binda PL, Kurzwski JW, Lunghi C, *et al.* Response to short-term deprivation of the human adult visual cortex measured with 7T BOLD. *eLife* 2018;7:e40014

19 Ding J, Levi DM. Recovery of stereopsis through perceptual learning in human adults with abnormal binocular vision. *Proc Natl Acad Sci USA* 2011;108(37):E733-E741

20 刘斯焯. 基于虚拟现实的双眼视功能训练系统设计. *中国医学教育技术* 2017;31(4):455-459

21 Vedamurthy I, Knill DC, Huang SJ, *et al.* Recovering stereo vision by squashing virtual bugs in a virtual reality environment. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 2016;371(1697):20150264

22 Godínez A, Martín-González S, Ibarondo O, *et al.* Scaffolding depth cues and perceptual learning in VR to train stereovision: a proof of concept pilot study. *Sci Rep* 2021;11(1):10129

23 Li X, Yang C, Zhang GR, *et al.* Intermittent exotropia treatment with dichoptic visual training using a unique virtual reality platform. *Cyberpsychol Behav Soc Netw* 2019;22(1):22-30

24 赵聪玲, 王平. 外斜视术后双眼视训练对立体视及眼位稳定性的影响. *中国斜视与小儿眼科杂志* 2016;24(3):17-20

25 刘香, 李京, 褚航, 等. 儿童间歇性外斜视术后行视觉短塑性训练对立体视功能恢复的临床研究. *中国斜视与小儿眼科杂志* 2016;24(4):30-33

26 王炳, 鄧瑛, 闫春妮, 等. 间歇性外斜视术后空间扭曲表现及视知觉训练. *中国斜视与小儿眼科杂志* 2018;26(3):35-37,34

27 张健, 柴丽芳, 晋丽红, 等. 两种训练方式对斜视术后双眼单视功能恢复的疗效比较. *国际眼科杂志* 2019;19(2):339-341

28 韩惠芳, 孙卫锋, 韩丽霄, 等. 间歇性外斜视术后短期眼位扭曲可塑性研究. *中国斜视与小儿眼科杂志* 2020;28(1):30-32, 65

29 李蕾, 付晶, 孟昭君, 等. 不同训练方式对间歇性外斜视患者术后斜视度及双眼视觉功能的疗效观察. *中华眼科医学杂志(电子版)* 2020;10(1):20-26

30 樊新皓, 冯雪亮. 视感知觉训练对间歇性外斜视患者术后双眼视功能和知觉眼位疗效的临床研究. *中华眼科医学杂志(电子版)* 2021;11(5):268-273