

低能量红光在儿童青少年近视弱视中的应用

章歆梓, 黄建南, 许迅, 何鲜桂

上海市眼病防治中心/上海市眼科医院/上海市视觉健康中心(儿童青少年近视防治技术中心)/

上海交通大学第一人民医院/国家眼部疾病临床医学研究中心/上海市眼底病重点实验室/

上海眼视觉与光医学工程技术研究中心, 上海 201103

【摘要】 近视与弱视是威胁儿童青少年眼健康的重要疾病, 红光用于弱视治疗已有几十年历史, 近年来逐渐应用于儿童青少年近视防控, 成为新热点。通过从低能量红光治疗的干预方式、治疗效果、影响因素、可能机制及安全性方面阐述其在儿童青少年近视弱视中的应用, 以期为进一步研究与实践提供参考。

【关键词】 近视; 弱视; 光疗法; 儿童; 青少年

【中图分类号】 R 179 R 778 R 779.7 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-9817(2022)07-1112-05

Application of low-level red light in myopia and amblyopia in children and adolescents/ZHANG Xinzi, HUANG Jiannan, XU Xun, HE Xiangui. Shanghai Eye Disease Prevention and Treatment Center/Shanghai Eye Hospital/Shanghai Vision Health Center and Shanghai Children Myopia Institute/Shanghai General Hospital Affiliated with Shanghai Jiao Tong University/National Clinical Research Center for Eye Diseases/Shanghai Key Laboratory of Ocular Fundus Diseases/Shanghai Engineering Center for Visual Science and Photomedicine(201103), Shanghai, China

【Abstract】 Low-level light therapy utilizes the photochemical effect of red light to induce reactions in the irradiated body tissue to achieve the therapeutic effect. Myopia and amblyopia are diseases which threaten the eye health of children and adolescents. Red light has been used to treat amblyopia for decades. Recently, its application in myopia prevention and control has become a new hotspot. This review summarizes the application of low-level red light in children and adolescents with myopia and amblyopia from the aspects of intervention mode, effect, factors, mechanism and safety to provide reference for future researches.

【Keywords】 Myopia; Amblyopia; Phototherapy; Child; Adolescent

近视与弱视是威胁儿童青少年眼健康的重要疾病。近年来低能量红光逐渐应用于儿童青少年近视防控, 成为新热点。红光是波长介于 620~760 nm 的可见光, 低能量光疗法 (low-level light therapy, LLLT) 利用红光的光化学效应诱导被照射身体组织产生一系列反应以达到治疗作用, 已在促进伤口愈合^[1]、改善中枢神经系统疾病预后^[2]等诸多方面应用, 也曾尝试用于糖尿病黄斑水肿^[3-5]、年龄相关性黄斑变性^[6-8]等眼病治疗。本文旨在对低能量红光在儿童青少年近视弱视中的应用, 包括干预方式、治疗效果、影响因素、可能机制及安全问题进行系统总结, 为指导下一步研究与实践提供参考。

1 低能量红光与近视

近视是全球最常见的眼病之一, 我国 2018 年公布的数据显示, 全国中小学生近视率达 53.6%, 高中生达 81.0%, 且呈现低龄化和重度化趋势^[9-11]。研究表明, 低浓度阿托品、角膜塑形镜和离焦设计软硬镜均能够对近视进展起到延缓作用, 增加户外活动也可在一定程度上降低近视发生率^[9, 11-14], 但目前缺乏能够完全阻止近视发生或逆转近视进展的技术手段。近年来, 低能量红光在儿童青少年近视防控中的应用逐渐成为热点, 已有若干临床研究进行了相关报道^[15-19]。

1.1 红光控制近视的干预方法 现已报道的 4 项研究中 (表 1)^[15-18], 红光干预组儿童青少年要求接受 2 次/d, 3 min/次的低能量红光照射, 且 2 次间隔 4 h 以上; 使用的红光为波长约 650 nm 的半导体激光, 输出功率 (2.0±0.5) mW, 受试者直视光源使红光垂直到达眼底。其中, Jiang 等^[15]的试验要求每周照射 5 d, 其余 3 项研究均为每天照射。在另一项回顾性研究中, 红光干预组儿童青少年接受波长 635 nm 的红光照射, 输出功率 0.4 mW, 要求一周照射 7 d、2 次/d、3 min/次、2 次间隔 4 h 以上^[19]。

1.2 红光控制近视的效果 已报道的研究结果均显示, 低能量红光照射能够有效延缓眼轴增长与屈光进

【基金项目】 国家重点研发计划资助 (2021YFC2702100; 2021YFC2702104; 2019YFC0840607); 上海市“科技创新行动计划”医学创新研究专项项目 (21Y11910000); 上海市加强公共卫生体系建设优秀学科带头人培养计划 (GWV-10.2-XD09)

【作者简介】 章歆梓 (1999-), 女, 浙江诸暨人, 大学本科, 主要研究方向为近视眼科学。

【通信作者】 何鲜桂, E-mail: xianhezi@163.com

DOI: 10.16835/j.cnki.1000-9817.2022.07.036

展,干预 6 个月后,红光干预组儿童青少年较对照组(仅佩戴单焦点框架眼镜)眼轴增长减少达 0.19~0.63 mm,屈光进展减少达 0.35~0.84 D;干预 1 年后,红光干预组较对照组眼轴增长减少 0.26~0.81 mm,屈光进展减少 0.59~1.03 D。在 Jiang 等^[15]的研究中,红光干预组 39.8%的儿童在第 1 个月时出现了超过 0.05 mm 的眼轴回退,干预第 3,6,12 月时仍具有临床意义的眼轴回退的儿童占比分别为 29.2%,32.9%,21.6%;而在闫艺等^[17-18]研究中,随访结束时红光干预组的平均眼轴长度仍较基线时呈微小回退。低能量红光照射还引起中心凹下脉络膜增厚,几项研究中对照组儿童青少年中心凹下脉络膜均逐渐变薄,红光干预组则较基线水平增厚,在干预第 6 和 12 个月时两组间差异分别达 13.10~63.42 μm 和 21.60~81.45 μm 。此外,Jiang 等^[15,17]发现,红光干预组儿童青少年的裸眼视力较对照组有显著提升。

相比低浓度阿托品、角膜塑形镜、离焦设计软硬性等其他近视控制手段,低能量红光照射表现出更好的疗效。在 Xiong 等^[18]试验中,红光干预组与角膜塑形镜组(每晚至少连续佩戴 7 h 角膜塑形镜)的近视控制效果都优于对照组,但各时间点观察红光干预组控制眼轴增长均较角膜塑形镜组显著。既往研究中低浓度阿托品的近视控制效果为 27%~60%,角膜塑形镜为 32%~63%,离焦设计软硬性为 30%~62%^[9,12-14]。而在 Jiang 等^[15]试验中,红光控制近视的眼轴增长和屈光进展延缓率分别为 69.4%和 76.6%,较上述措施报道的效果更佳。既往研究认为,低浓度阿托品可以每年减少近视度数加深 0.35~0.54 D,延缓眼轴伸长 0.15 mm^[9]。从以上几项试验结果来看,红光控制眼轴增长和近视加深的幅度可能更高,但仍需临床研究对几种近视控制手段的效果进行直接比较。

表 1 红光控制近视相关研究的光源参数及照射方案

Table 1 Light source parameters and irradiation regimens of red light controlling myopia

| 第一作者 | 试验方法 | 年龄/岁 | 样本量 | 红光波长/nm | 输出功率/mW | 光标直径/mm | 照射方案 |
|-----------------------|-----------|------|-----|---------|---------|---------|---------------------|
| Jiang ^[15] | 多中心随机对照试验 | 8~13 | 264 | 650±10 | 2.0±0.5 | 未描述 | 2 次/d,3 min/次;5 d/周 |
| 陈培正 ^[16] | 回顾性观察对照 | 3~15 | 120 | 650±10 | 2.0±0.5 | 10±3 | 2 次/d,3 min/次;7 d/周 |
| 闫艺 ^[17] | 随机对照试验 | 7~12 | 120 | 650±10 | 2.0±0.5 | 10±3 | 2 次/d,3 min/次;7 d/周 |
| Xiong ^[18] | 随机对照试验 | 6~16 | 300 | 650±5 | 2.0±0.5 | 5 | 2 次/d,3 min/次;7 d/周 |
| Zhou ^[19] | 回顾性观察对照 | 3~14 | 161 | 635±2 | 0.4 | 未描述 | 2 次/d,3 min/次;7 d/周 |

1.3 红光控制近视疗效的影响因素 Jiang 等^[15]研究显示,红光照射控制近视的效果与接受干预的依从性相关。研究要求红光干预组 2 次/d、每周 5 d 地照射,同时设备系统自动统计实际完成照射的次数,用实际完成照射次数除以理论应完成的照射次数,所得百分比即受试者治疗依从性,结果发现,随着治疗依从性从 50%以下提高到 75%以上,红光减少眼轴伸长的效果从 44.6%提高到 76.8%,控制屈光进展的效果从 41.7%提高到 87.7%,提示提高干预依从性、适当延长照射时间或增加照射频次能获得更好的近视控制效果。

1.4 红光控制近视的可能机制 低能量红光照射控制近视进展的作用机制目前尚未清楚。已知脉络膜的变薄和血流量减少是近视眼的特征之一^[20],可引起巩膜缺氧,影响细胞外基质重塑,导致眼轴过度伸长,促进近视发生发展^[21]。低能量红光照射身体后,能量可被线粒体中的细胞色素 c 氧化酶吸收,促进能量生成,改善缺氧环境^[22];诱导一氧化氮的释放^[23],扩张脉络膜血管,增加血流量,进一步提高氧供,并使来自视网膜的信号分子顺利传递至巩膜以调节细胞外基质重塑^[24],与现有研究中观察到的脉络膜增厚一致。低能量红光照射还有助于细胞产生活性氧作为第二信使^[25],可能以此调节信号通路^[23]影响病程。此外,考虑到强光下多巴胺、一氧化氮的合成释放有所增加^[24],推测红光可能部分弥补户外自然光引起的信号分子分泌,从而延缓近视进展。

红光照射控制近视的效果还与接受干预对象的年龄、基线眼轴和屈光度存在关联。Xiong 等^[18]发现,红光照射 6 个月后,儿童青少年眼轴的变化量与年龄和基线眼轴呈负相关,与基线屈光度呈正相关。Zhou 等^[19]观察到,经红光照射后,学龄期儿童(8~14 岁)比学龄前儿童(4~7 岁)的屈光度回退量更大,延缓眼轴增长更明显,眼轴变化与年龄和基线眼轴呈负相关。在 Jiang 等^[15]的研究中,年龄更大、基线近视度数更高者在照射后表现出更好的近视控制效果(8~10 岁和 11~13 岁;眼轴延缓增长量分别为 0.14,0.17 mm,屈光延缓进展量分别为 0.25,0.42 D;基线等效球镜屈光度分别为(>-3~-1 D)(>-5~-3 D);眼轴延缓增长量分别为 0.15,0.16 mm,屈光延缓进展量分别为 0.29,0.40 D。提示在接受红光照射干预的近视儿童中,年龄越大、基线眼轴越长或近视度数越深者近视控制效果越好。

综上所述,现有证据提示低能量红光照射干预可有效延缓儿童青少年近视进展,但仍待更多研究证据加以证实。目前临床试验随访时间均为半年或 1 年,缺乏长期的研究设计和结果,红光干预的长期疗效、有效剂量阈值、停止干预后是否存在反弹效应等仍需观察,对不同年龄、屈光度人群的效果也有待更多研究。同时,红光干预近视的机制有待阐明,为进一步评估本项技术能否成为儿童青少年适宜近视防控技术提供依据。

2 低能量红光与弱视

弱视是威胁儿童视力正常发育的一种眼病,在学

龄期儿童中的患病率为 1.0%~5.5%^[26-28], 早期诊治对视功能恢复至关重要。早在 1984 年 Parrozzani 首先提出使用闪烁红光刺激治疗儿童弱视, 并在临床验证中取得满意效果^[29-30]。

2.1 红光治疗弱视方法 低能量红光治疗弱视的方式主要分为红闪视标增视和氦氖激光照射 2 种方法。(1)红闪视标增视法:通过注视闪烁的红色 LED 光源刺激弱视眼,促使视觉兴奋,该方法自 20 世纪 80 年代开始应用于临床^[30-31],是目前弱视治疗仪较为普遍的基础功能之一,不同设备型号的红闪波长、亮度、频率有所不同,治疗方案多为每次注视 5~10 min。(2)氦氖激光照射法:氦氖激光是一种波长 632.8 nm 的红色激光,同样很早被尝试应用于弱视治疗^[32],相关研究(表 2)^[33-38]已证实其有效性;干预组弱视儿童通过注视光源接受红光垂直照射至眼底黄斑部,激光的输出功率范围为 0.3~1.0 mW,每天照射 3 min,约 20 d 为一个疗程。根据文献搜索,近年未见国外有关红光治

疗弱视的相关研究报道。

2.2 红光治疗弱视效果及影响因素 目前已报道的研究结果^[31,39-42]显示,闪烁红光治疗弱视的总有效率(视力提高 2 行以上)为 67.1%~93.0%,基本治愈率(视力 \geq 0.9)为 29.1%~59.0%,较光栅法、遮盖法及后像法疗效更佳,部分旁中心注视弱视儿童经红闪治疗后转为中心注视。有关氦氖激光照射治疗弱视的临床试验^[33-38]则显示,干预组使用氦氖激光联合传统综合治疗(包括遮盖、红闪、视觉生理刺激仪、海丁格刷等)后,疗效优于对照组的单纯传统综合治疗,1 个疗程后总有效率可达 85.6%~92.4%,基本治愈率达 49.7%~67.7%,而对照组总有效率和基本治愈率分别为 83.6%~85.3%和 45.7%~46.1%。同时,上述研究还发现,无论红闪视标增视或氦氖激光照射治疗弱视,儿童年龄越小、弱视程度越轻,疗效越好,中心注视性弱视疗效优于旁中心注视性弱视。

表 2 氦氖激光照射治疗弱视的研究设计、光源参数及照射方案

Table 2 Study design, light source parameters and irradiation regimens of He-Ne laser treating amblyopia

| 第一作者 | 眼数 | 干预组 | 对照组 | 功率/mW | 光源距离 | 照射时间 | 照射方案 |
|---------------------|-----|--------------------|---------|---------|---------|---------|-----------------------------------|
| 林再雄 ^[33] | 340 | 氦氖激光+弱视综合治疗仪 | 弱视综合治疗仪 | 0.8 | 10 cm | 3 min/d | 20 d/疗程,若 6 月后未愈可行第 2 疗程 |
| 陆莉 ^[34] | 127 | 氦氖激光+综合弱视协调仪 | 未设置 | 0.8 | 未描述 | 3 min/d | 连续 20 d |
| 杨蕴华 ^[35] | 787 | 氦氖激光+视觉生理刺激仪+海丁格光刷 | 未设置 | 0.3 | 未描述 | 3 min/d | 连续 20 d |
| 杨小梅 ^[36] | 146 | 氦氖激光+视觉生理刺激仪+海丁格光刷 | 未设置 | 0.8~1.0 | 5~10 cm | 3 min/d | 20 d/疗程,若未愈继续行综合治疗仪治疗 |
| 王爽 ^[37] | 884 | 氦氖激光+传统综合治疗 | 传统综合治疗 | 0.3 | 35 cm | 3 min/d | 连续 20 d |
| 潘冰心 ^[38] | 56 | 氦氖激光+后像法+弱视治疗仪 | 未设置 | 0.9~1.0 | 未描述 | 3 min/d | 21 d/疗程,6 月后根据情况重复疗程,期间行弱视治疗仪巩固治疗 |

2.3 红光治疗弱视的可能机制 视网膜的视锥细胞对波长 630~750 nm 红光敏感,由中心凹向周边移行时数量急剧减少,故用红光照射眼底可刺激视锥细胞,提高兴奋性,加强黄斑中心注视功能。闪烁红光以低于中心融合临界频率的频率作间断刺激,可引起视网膜神经节细胞、外膝状体突触后细胞反应,增强神经纤维传导功能,锻炼发生弱视的视皮层从而间接增视^[39-41]。氦氖激光则可通过改善黄斑部血液微循环从而促进视锥细胞发挥功能,提高弱视儿童视力^[37]。

3 安全性

过量红光被视网膜内黑色素吸收可造成眼底损伤^[43],故在研究和应用实践中必须考虑安全性问题。激光致眼底损伤的程度取决于激光功率高低、光斑大小及曝光时间^[43]。根据我国 GB 7247.1-2012 国家标准^[44],对眼睛完全无损伤风险的 1 类激光器长时间照射的可接受辐射极限约为 0.4 mW。红光发射源发出的光强度(功率)与实际入眼功率有差别。Jiang 等^[15]所使用的 2 mW 发射源半导体激光在通过直径 4 mm 瞳孔时的实测功率为 0.29 mW,因此属安全范围,在前文所述的各项研究中也并未观察到受试者在试验周期内出现眼结构或功能上的损伤。但由于现有临床试验的观察周期均在 1 年内,故低能量红光用于儿童

青少年的安全性证据尚不充足,有待更加长期的随访以明确红光干预近视的中远期安全性。红光治疗弱视的研究中未测量实际入眼功率,但至今 40 年的应用周期中鲜见明显不良反应的报道。

4 小结

综上所述,低能量红光已成为 40 年来儿童青少年弱视治疗常见的有效措施,近年来应用于儿童青少年近视防控也初步显示了控制近视进展的显著效果,可有效延缓眼轴增长和屈光度数加深,且目前临床试验一年周期内未出现眼结构和功能异常,提示红光干预近视具备短期安全性循证证据,有潜力成为儿童青少年近视防控新的适宜技术,但对低能量红光在儿童青少年近视防控中的中长期有效性和安全性仍待研究,红光干预的起效阈值、最适剂量、安全界值及作用机制均亟待确定与阐明,当前实践仍需要非常谨慎地把控使用适应症、密切随访和监测眼部各项指标变化。

利益冲突声明 所有作者声明无利益冲突。

5 参考文献

- [1] KUFFLER D P. Photobiomodulation in promoting wound healing: a review[J]. Regen Med, 2016, 11(1):107-122.
- [2] SALEHPOUR F, MAHMOUDI J, KAMARI F, et al. Brain photobiomodulation therapy: a narrative review[J]. Mol Neurobiol, 2018, 55(8):6601-6636.

- [3] EELLS J T, GOPALAKRISHNAN S, CONNOR T B, et al. 670 nm photobiomodulation as a therapy for diabetic macular edema: a pilot study[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58(8):932.
- [4] SHEN W, TEO K Y C, WOOD J P M, et al. Preclinical and clinical studies of photobiomodulation therapy for macular oedema[J]. *Diabetologia*, 2020, 63(9):1900-1915.
- [5] TANG J, HERDA A A, KERN T S. Photobiomodulation in the treatment of patients with non-center-involving diabetic macular oedema [J]. *Br J Ophthalmol*, 2014, 98(8): 1013-1015.
- [6] MERRY G F, MUNK M R, DOTSON R S, et al. Photobiomodulation reduces drusen volume and improves visual acuity and contrast sensitivity in dry age-related macular degeneration[J]. *Acta Ophthalmol*, 2017, 95(4):e270-e277.
- [7] MARKOWITZ S N, DEVENYI R G, MUNK M R et al. A double-masked, randomized, sham-controlled, single-center study with photobiomodulation for the treatment of dry age-related macular degeneration[J]. *Retina*, 2020, 40(8):1471-1482.
- [8] MERRY G, DOTSON R, DEVENYI R, et al. Photobiomodulation as a New Treatment for Dry Age Related Macular Degeneration. Results from the Toronto and Oak Ridge Photobiomodulation Study in AMD (TORPA)[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53(14): 2049-2049.
- [9] BAIRD P N, SAW S M, LANCA C, et al. Myopia[J]. *Nat Rev Dis Prim*, 2020, 6(1):99.
- [10] 樊泽民, 刘立京, 王海涛. 扎实推进全国儿童青少年近视防控工作[J]. *中国学校卫生*, 2018, 39(11):1605-1608,1612.
FAN Z M, LIU L J, WANG H T. Increased efforts to myopia prevention and control among children and adolescents in China[J]. *Chin J Sch Health*, 2018, 39(11):1605-1608,1612.
- [11] 何鲜桂, 潘臣炜. 儿童青少年近视防控需要更高质量的研究证据 [J]. *中国学校卫生*, 2021, 42(2):161-164,169.
HE X G, PAN C W. Prevention and control of children and adolescents myopia needs more high-quality research evidence[J]. *Chin J Sch Health*, 2021, 42(2):161-164,169.
- [12] JONAS J B, ANG M, CHO P, et al. IMI Prevention of myopia and its progression[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021, 62(5):6.
- [13] ANG M, FLANAGAN J L, WONG C W, et al. Review: myopia control strategies recommendations from the 2018 WHO/IAPB/BHVI meeting on myopia [J]. *Br J Ophthalmol*, 2020, 104(11):1482-1487.
- [14] LI S M, KANG M T, WU S S, et al. Studies using concentric ring bifocal and peripheral add multifocal contact lenses to slow myopia progression in school-aged children: a Meta-analysis [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2017, 37(1):51-59.
- [15] JIANG Y, ZHU Z, TAN X, et al. Effect of repeated low-level red-light therapy in myopia control in children: a multicenter randomized controlled trial[J]. *Ophthalmology*, 2021, 129(5):509-519.
- [16] 陈培正, 张宏亮, 王晶晶, 等. 艾尔兴哺光仪控制青少年、儿童近视疗效分析[J]. *实用中西医结合临床*, 2018, 18(10):63-64, 106.
CHEN P Z, ZHANG H L, WANG J J, et al. Effect of eyerising in myopia control in adolescents and children[J]. *Pract Clin Journal of Integrat Tradit Chin Western Med*, 2018, 18(10): 63-64,106.
- [17] 闫芸, 薛文娟, 赵延军, 等. 650 nm 半导体激光控制青少年近视进展的研究[J]. *临床眼科杂志*, 2021, 29(2):132-137.
YAN Y, XUE W J, ZHAO Y J, et al. Effect of 650 nm semiconductor laser on juvenile myopia control [J]. *J Clin Ophthalmol*, 2021, 29(2):132-137.
- [18] XIONG F, MAO T, LIAO H, et al. Orthokeratology and low-intensity laser therapy for slowing the progression of myopia in children [J]. *Biomed Res Int*, 2021, 2021:8915867.
- [19] ZHOU L, XING C, QIANG W, et al. Low-intensity, long-wavelength red light slows the progression of myopia in children: an Eastern China-based cohort [J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2022, 42(2):335-344.
- [20] LIU Y, WANG L, XU Y, et al. The influence of the choroid on the onset and development of myopia: from perspectives of choroidal thickness and blood flow [J]. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99(7):730-738.
- [21] WU H, CHEN W, ZHAO F, et al. Scleral hypoxia is a target for myopia control [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2018, 115(30):E7091-E7100.
- [22] DOMPE C, MONCRIEFF L, MATYS J, et al. Photobiomodulation: underlying mechanism and clinical applications [J]. *J Clin Med*, 2020, 9(6):1724.
- [23] ZAMANI A R N, SABERIANPOUR S, GERANMAYEH M H, et al. Modulatory effect of photobiomodulation on stem cell epigenetic memory: a highlight on differentiation capacity [J]. *Lasers Med Sci*, 2020, 35(2):299-306.
- [24] WANG W Y, CHEN C, CHANG J, et al. Pharmacotherapeutic candidates for myopia: a review [J]. *Biomed Pharmacother*, 2021, 133:111092.
- [25] MIGLIARIO M, PITTARELLA P, FANULI M, et al. Laser-induced osteoblast proliferation is mediated by ROS production [J]. *Lasers Med Sci*, 2014, 29(4):1463-1467.
- [26] WALLACE D K, REPKA M X, LEE K A, et al. Amblyopia preferred practice pattern [J]. *Ophthalmology*, 2018, 125(1):P105-P142.
- [27] HOLMES J M, CLARKE M P. Amblyopia [J]. *Lancet*, 2006, 367(9519):1343-1351.
- [28] REPKA M X. Amblyopia outcomes through clinical trials and practice measurement: room for improvement: the LXXVII Edward Jackson Memorial Lecture [J]. *Am J Ophthalmol*, 2020, 219: A1-A26.
- [29] PARROZZANI A, FEDRIGA P, FERRARI E, et al. A new hypothesis for the treatment of amblyopia: the flicker stimulator [J]. *J Franc D'ophtalmol*, 1984, 7(3):233-236.
- [30] FEDRIGA P, PARROZZANI A, BRODA M, et al. Treatment with flicker stimulation of lesions of the visual cortex surface [J]. *J Franc D'ophtalmol*, 1986, 9(11):701-706.
- [31] 李永昌, 陈树容. 闪烁红色光刺激疗法治疗儿童弱视的疗效观察 [J]. *中华眼科杂志*, 1989, 25(5):311.
LI Y C, CHEN S R. Effect of Red light flicker stimulation in treating amblyopia in children [J]. *Chin J Ophthalmol*, 1989, 25(5):311.
- [32] 王尔光, 阎爱珍, 梁中英. 小功率氦氖激光治疗功能性弱视 [J]. *眼科新进展*, 1986(3):35-37.
WANG E G, YAN A Z, LIANG Z Y. Low-power He-Ne laser in treating functional amblyopia [J]. *Recent Adv Ophthalmol*, 1986(3):35-37.
- [33] 林再雄, 符曼雅, 唐平, 等. 氦氖激光联合弱视综合治疗仪治疗儿童弱视 [J]. *中国斜视与小儿眼科杂志*, 2007, 16(1):22-25.
LIN Z X, FU M Y, TANG P, et al. Low energy He-Ne laser combined with the synthetic amblyopia treatment instrument in treating amblyopia [J]. *Chin J Strabismus Pediatr Ophthalmol*, 2007, 16(1):22-25.

- systematic review[J].China Sport Sci,2019,39(12):62-75.
- [31] CHEN P, WENG X, LIN W. Studies on built environment of physical activity promotion: a co-action between multidisciplinary and cross-sections[J]. Sports Sci, 2014, 35(1): 22-29.
- [32] 张健, 孙辉, 张建华. 儿童青少年身体活动建成环境研究热点解析, 前瞻与启示[J]. 中国体育科技, 2020, 56(4): 10.
ZHANG J, SUN H, ZHANG J H. Analysis, prospects and enlightenment of the research hotspots on the built environment of children and adolescents' physical activities[J]. Chin Sport Sci Technol, 2020, 56(4): 10.
- [33] VILLENEUVE P J, JERRETT M, SU J G. Association of residential greenness with obesity and physical activity in a US cohort of women[J]. Environ Res, 2018, 160: 372-384.
- [34] 沈晶, 杨秋颖, 郑家鲲. 建成环境对中国儿童青少年体力活动与肥胖的影响: 系统文献综述[J]. 中国运动医学杂志, 2019, 38(4): 15.
SHEN J, YANG Q Y, ZHENG J K. Effects of the built environment on physical activity and obesity in Chinese children and adolescents: a systematic literature review[J]. Chin J Sports Med, 2019, 38(4): 15.
- [35] 魏焯. 居住周围环境对青少年身体活动量的影响模式[J]. 体育科技, 2016(4): 4.
WEI Y. The influence model of living surrounding environment on the amount of physical activity of adolescents[J]. Sport Sci Technol, 2016(4): 4.
- [36] GUO X, DAI J, XUN P. Sport facility proximity and physical activity: results from the study of community sports in China[J]. Europ J Sport Sci, 2015, 15(7): 663-669.
- [37] LIU H, FENG L, LI J. The relationships between urban parks, residents' physical activity, and mental health benefits: a case study from Beijing, China[J]. J Environ Manag, 2017, 190(APR.1): 223-230.
- [38] WANG L, YAN T, LUO J. School and community physical activity characteristics and moderate-to-vigorous physical activity among Chinese school-aged children: a multilevel path model analysis[J]. J Sport Health Sci, 2017, 6(4): 416-422.
- [39] LANNINGHAM-FOSTER L, FOSTER R C, MCCRADY S K. Changing the school environment to increase physical activity in children[J]. Obesity, 2008, 16(8): 1849-1853.
- [40] PAGELS P, RAUSTORP A, LEON A. A repeated measurement study investigating the impact of school outdoor environment upon physical activity across ages and seasons in Swedish second, fifth and eighth graders[J]. BMC Public Health, 2014, 14(1): 803.
- [41] ALMANZA E, JERRETT M, DUNTON G. A study of community design, greenness, and physical activity in children using satellite, GPS and accelerometer data[J]. Health Place, 2012, 18(1): 46-54.
- [42] CARVER A, TIMPERIO A, HESKETH K. Are children and adolescents less active if parents restrict their physical activity and active transport due to perceived risk? [J]. Soc Sci Med, 2010, 70(11): 1799-1805.
- [43] LI M, DIBLEY M J, SIBBRITT D, et al. Factors associated with adolescents' physical inactivity in Xi'an City, China[J]. Med Sci Sports Exerc, 2006, 38(12): 2075-2085.

收稿日期: 2022-01-16 修回日期: 2022-03-18 本文编辑: 顾璇

(上接第 1115 页)

- [34] 陆莉, 唐剑波, 娄志武, 等. 氦氖激光联合综合疗法治疗儿童弱视的疗效观察[J]. 中国儿童保健杂志, 2009, 17(1): 115-116.
LU L, TANG J B, LOU Z W, et al. Effect of He-Ne laser combined with comprehensive therapy on treating amblyopia in children[J]. Chin J Child Health Care, 2009, 17(1): 115-116.
- [35] 杨蕴华, 何静宜. 氦氖激光在综合弱视治疗中的应用和安全性研究[J]. 中国斜视与小兒眼科杂志, 2013, 21(1): 53-54, 52.
YANG Y H, HE J Y. Application and safety of He-Ne laser in the comprehensive treatment of amblyopia[J]. Chin J Strabismus Pediatr Ophthalmol, 2013, 21(1): 53-54, 52.
- [36] 杨小梅, 师文, 左芸, 等. 低功率氦氖激光在儿童弱视治疗中的应用[J]. 中国斜视与小兒眼科杂志, 2011, 19(2): 61-63, 79.
YANG X M, SHI W, ZUO Y, et al. Low power He-Ne laser in the treatment of amblyopia in children[J]. Chin J Strabismus Pediatr Ophthalmol, 2011, 19(2): 61-63, 79.
- [37] 王爽, 何静宜, 杨蕴华. He-Ne 激光在综合治疗弱视中的应用[J]. 中国激光医学杂志, 2014, 23(6): 345-349.
WANG S, HE J Y, YANG Y H. Application of low energy He-Ne laser in comprehensive amblyopia treatment[J]. Chin J Laser Med Surg, 2014, 23(6): 345-349.
- [38] 潘冰心, 楼倚天, 周武英, 等. 氦氖激光联合综合治疗仪治疗偏心注视性弱视[J]. 中国实用眼科杂志, 2012(4): 443-445.
PAN B X, LOU Y T, ZHOU W Y, et al. Low energy He-Ne laser combined with the synthetic treatment amblyopia instrument in treating on eccentric fixation amblyopia[J]. Chin J Pract Ophthalmol, 2012, 30(4): 443-445.
- [39] 孙汉军, 蔡澍, 文杏惠, 等. 红光脉冲刺激合并遮盖治疗儿童弱视[J]. 实用眼科杂志, 1989, 7(3): 27-29.
SUN H J, CAI S, WEN X H, et al. Red light pulse stimulation combined with patching in treating amblyopia in children[J]. Chin J Pract Ophthalmol, 1989, 7(3): 27-29.
- [40] 蔡澍, 孙汉军, 文杏惠, 等. 儿童弱视新疗法—红光脉冲刺激法[J]. 眼科新进展, 1988, 8(2): 20-22.
CAI S, SUN H J, WEN X H, et al. A new therapy for amblyopia in children: red light pulse stimulation[J]. Recent Adv Ophthalmol, 1988, 8(2): 20-22.
- [41] 张振平, 杨少梅, 江翠萍, 等. 闪烁红光治疗弱视的疗效观察[J]. 眼科学报, 1988, 4(4): 232-237.
ZHANG Z P, YANG S M, JIANG C P, et al. Clinical observation on treatment of amblyopia with red light flicker[J]. Eye Sci, 1988, 4(4): 232-237.
- [42] 石广礼. 红光电子闪烁仪的研制及临床应用[J]. 实用眼科杂志, 1990, 8(8): 469-470.
SHI G L. Manufacture and clinical application of red light electronic scintillator[J]. Chin J Pract Ophthalmol, 1990, 8(8): 469-470.
- [43] BARKANA Y, BELKIN M. Laser eye injuries[J]. Surv Ophthalmol, 2000, 44(6): 459-478.
- [44] 工业和信息化部. 激光产品的安全 第 1 部分: 设备分类、要求: GB 7247.1—2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
Ministry of Industry and Information Technology. Safety of laser products—Part 1: Equipment classification and requirements: GB 7247.1—2012[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.

收稿日期: 2022-03-25 修回日期: 2022-04-15 本文编辑: 顾璇