

重复低能量红光照射联合视觉训练治疗青少年近视

高彦军,叶存喜

引用:高彦军,叶存喜. 重复低能量红光照射联合视觉训练治疗青少年近视. 国际眼科杂志, 2025,25(10):1574-1579.

基金项目:河北省医学科学研究课题计划项目(No.20231817)
作者单位:(050061)中国河北省石家庄市,河北医科大学第二医院眼科
作者简介:高彦军,硕士研究生,副主任医师,研究方向:近视、眼底病、眼眶病、眼表疾病。
通讯作者:叶存喜,主任医师,研究方向:近视、眼底病。
gaoyanjunzy@163.com
收稿日期:2025-03-28 修回日期:2025-08-22

摘要

目的:基于视力与泪膜功能探究重复低能量红光照射联合视觉训练治疗青少年近视的疗效及安全性。
方法:选取 2022 年 1 月至 2023 年 7 月河北医科大学第二医院收治的青少年近视患者 104 例 208 眼,采用随机数字表法分为对照组 52 例 104 眼、研究组 52 例 104 眼。两组均采取配戴角膜塑形镜治疗,对照组使用视觉训练,研究组在视觉训练基础上使用重复低能量红光照射治疗。随访 1 a,比较两组患者治疗前后视力改善情况、脉络膜变化情况、泪膜功能、不良事件及 1 a 后视力增长情况。
结果:治疗 6 mo,1 a 研究组裸眼视力(LogMAR)、眼轴低于对照组(均 $P<0.05$);治疗 6 mo,1 a 研究组中心凹脉络膜厚度、脉络膜毛细血管血流密度高于对照组(均 $P<0.05$);两组不同时间点的泪膜脂质层厚度、泪膜破裂时间无差异(均 $P>0.05$);两组治疗期间不良事件发生率无差异($P>0.05$);治疗 1 a 摘除角膜塑形镜 2 wk 后,研究组裸眼视力(LogMAR)与治疗前比较无差异($P>0.05$),对照组裸眼视力较治疗前升高($P<0.05$)。
结论:重复低能量红光照射联合视觉训练治疗青少年近视可有效改善脉络膜,控制眼轴增长,有效矫正角膜配戴视力,且不影响泪膜功能,安全性较高。
关键词:视力;角膜塑形镜;青少年;近视;脉络膜;泪膜;眼轴;低能量红光

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.10.05

Effect of repeated low-energy red light irradiation combined with visual training on myopia in adolescents

Gao Yanjun, Ye Cunxi

Foundation item: Medical and Scientific Research Plan Program of Hebei Province (No.20231817)
Department of Ophthalmology, the Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050061, Hebei Province, China
Correspondence to: Ye Cunxi. Department of Ophthalmology, the

Second Hospital of Hebei Medical University, Shijiazhuang 050061, Hebei Province, China. gaoyanjunzy@163.com
Received:2025-03-28 Accepted:2025-08-22

Abstract

• **AIM:** To explore the efficacy and safety of repeated low-energy red light irradiation combined with visual training for the treatment of adolescent myopia based on vision and tear film function.
• **METHODS:** A total of 104 adolescent myopic patients (208 eyes) from the Second Hospital of Hebei Medical University from January 2022 to July 2023 were selected and randomly divided into two groups by random number table method, with 52 cases (104 eyes) in the control group and 52 cases (104 eyes) in the study group. Both groups were treated with orthokeratology lenses, while the control group received visual training and the study group received repeated low-energy red light treatment on top of visual training. Follow-up for 1 a, the improvement of vision, changes in the choroid, tear film function, adverse events, and visual acuity growth after 1 a were compared between the two groups before and after treatment.
• **RESULTS:** The uncorrected visual acuity(LogMAR) and axial length of the study group were lower than those of the control group after 6 mo and 1 a of treatment (all $P<0.05$). The thickness of the choroid under the center recess and the density of choroidal capillary blood flow were higher in the study group than in the control group at 6 mo and 1 a after treatment (all $P<0.05$); there was no statistically significant difference in the thickness of tear film lipid layer and tear film break-up time between the two groups at different time points (all $P>0.05$); and the incidence of adverse events during the treatment period of the two groups was not statistically significant ($P>0.05$). After treatment for 1 a and removing the orthokeratology lens for 2 wk, there was no significant difference in the uncorrected visual acuity (LogMAR) between the study group and the control group before treatment ($P>0.05$), and the uncorrected visual acuity of the control group was better than that before treatment ($P<0.05$).
• **CONCLUSION:** Repeated low-energy red light combined with visual training can effectively improve the choroid, control the axial length growth, effectively correct the vision of the cornea, and does not affect the tear film function, with high safety.
• **KEYWORDS:** vision; orthokeratology lens; adolescent; myopia; choroid; tear film; axial length; low energy red light

Citation: Gao YJ, Ye CX. Effect of repeated low-energy red light irradiation combined with visual training on myopia in adolescents. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(10):1574-1579.

0 引言

近年来,随着网络化广泛普及,疫情居家学习时间较长,导致青少年近视发生率呈低龄化且高发趋势^[1]。多数家长及低龄儿童排斥配戴矫治框架眼镜,针对此类患者的近视防控治疗迫在眉睫,临床需积极寻找更为安全有效的治疗措施。临床常用治疗方法包括增加户外活动时间、视功能训练、低浓度阿托品滴眼、配戴角膜塑形镜等。由于我国青少年学业繁重,时间紧张,近距离用眼过度,难以保证足够的户外活动。现已有多项研究证实,低浓度阿托品联合角膜塑形镜治疗可有效控制近视进展。但该方案价格昂贵、停戴或停药易反弹,且存在一定副作用,使得临床治疗受限^[2-3]。因此,探寻便捷、有效、安全的治疗措施对防控青少年近视具有重要价值。视觉功能训练作为经济、安全、可操作性强的治疗方法受到临床推崇,但其受患者依从性、指导操作限制,整体效果不理想^[4-5]。目前,光照对视觉发育影响为现阶段眼科临床研究热点,国内外研究提出,低能量红光照射刺激可延缓眼轴增长,改善脉络膜微环境,防控近视,逐渐在临床眼科应用^[6-7]。但其在角膜塑形镜摘除后是否能控制原始视力发展,尚有待临床进一步论证。因此,本研究基于视力、泪膜功能变化,进行随机对照试验,以探究重复低能量红光照射联合视觉训练治疗青少年近视的疗效及安全性。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性研究。选取 2022 年 1 月至 2023 年 7 月河北医科大学第二医院收治的青少年近视患者 104 例 208 眼。采用随机数字表法分组,将收治的 104 例患者从 1 开始编号至 104,按照顺序对每一个编号随机产生随机数字,将随机数字根据大小进行排序,前 52 例 104 眼为对照组,后 52 例 104 眼为研究组。本研究选例后有 10 例误纳入病例,研究开始前根据选例标准重新纳入 10 例符合标准患者填补空缺,保证研究组、对照组各 52 例完成研究。本研究符合《赫尔辛基宣言》原则,已通过医院伦理委员会审批(审批号:EY2023071120),所有参与者及监护人知情并签订知情同意书。

1.1.1 样本量选取方法 研究样本量估算使用简便方法,研究中观察的主要指标为治疗前后裸眼视力变化,故按照成组定量资料分析:双侧检验,检验水准 α 为 0.05,检验效能 $1-\beta$ 为 0.90。根据以往试验数据可知:指标标准差 s 范围为 0.05-0.18,设定 s 值为 0.18;容许误差 δ 范围为 0.10-0.40,设定 δ 值为 0.12;根据 PEMS 统计学系统计算得出,两组至少需纳入总例数为 96 例,需考虑 10%-20% 丢失率,最后本研究中纳入符合标准总例数为 104 例。

1.1.2 纳入标准 (1) 睫状肌麻痹检影明确为轻度近视, $-0.50\text{ D}\leq$ 等效球镜度 $\leq -3.00\text{ D}$; (2) 散光 $<1.50\text{ D}$, 屈光参差 $<1.00\text{ D}$, 双眼最佳矫正视力 ≥ 1.0 ; (3) 年龄 8-16 岁; (4) 双眼视功能正常; (5) 训练前所有患者接受调节功能检查(包括负相对调节、正相对调节), 确保 $\pm 2.00\text{ D}$ 翻转拍适用性; (6) 首次治疗, 依从性良好, 可接受随访。

1.1.3 排除标准 (1) 合并斜视、弱视、先天性视神经发育

不良、先天性上睑下垂等; (2) 有眼部手术史; (3) 伴有染色体异常、白血病、糖尿病等影响视功能的全身性疾病; (4) 存在感染性结膜炎、角膜病变、眼干燥症、黄斑病等其他眼部疾病者; (5) 自身免疫性疾病; (6) 存在多动症、认知障碍、光晕症等影响治疗效果疾病者; (7) 负相对调节、正相对调节超出 -2.00 D 至 $+2.00\text{ D}$ 范围。

1.1.4 剔除标准 (1) 因疫情防控或其他因素无法按时随访者; (2) 治疗依从性不高, 不能遵医嘱完成方案者; (3) 自愿退出者; (4) 治疗期间眼部外伤或需手术治疗者; (5) 误纳入病例。

1.2 方法 所有患者均进行裸眼视力、眼轴长度、眼底照相、睫状肌麻痹验光、裂隙灯等常规眼科检查。均配戴角膜塑形镜, 根据屈光度、角膜曲率半径、偏心率选择镜片, 试戴 30 min, 严格评估试戴情况, 配戴视力 ≥ 1.0 , 最终确定镜片参数, 取镜时向患者讲解镜片摘戴及护理方法; 夜间配戴镜片 8-10 h, 晨起摘镜, 连续配戴 1 a。

1.2.1 治疗方法 对照组患者夜间配戴角膜塑形镜基础上, 白天予以视觉训练。训练分为 3 个阶段: (1) 训练单眼调节幅度, 包括镜片阅读(通过在眼前逐渐增加正负镜片, 阅读 40 cm 处近视力表)、镜片排序(在眼前逐渐增加正、负镜片, 把多个镜片按照屈光力大小排序, 在镜片阅读基础上进行), 以负镜为主, 调节幅度统一训练至 -5.50 D ; (2) 训练单眼调节灵活度, 单眼翻转拍训练, 使用 20/30、 $\pm 2.00\text{ D}$ 反转拍, 指导患者注视 40 cm 处近视力卡, 正负镜片翻转, 交替注视视标, 负镜最大练至 -5.50 D ; (3) 训练双眼调节灵活度, 双眼翻转拍训练, 伴有集合功能异常者增加集合训练。视觉功能训练每次 35-40 min, 单眼各 5 min, 双眼 5 min, 注意要求患者将视标看清楚后再更换镜片或翻转阅读, 每天 1 次, 由专业训练医师负责指导, 并详细向家属指导, 家庭训练由家属监督。

研究组患者在对照组治疗基础上, 白天摘镜后使用红光仪器照射进行重复低能量红光照射治疗, 红光波长 650 nm, 能量密度 $0.3\text{ mW}/\text{cm}^2$, 输出功率 $2.0\pm 0.05\text{ mW}$, 光标直径为 $10\pm 2\text{ mm}$, 每次 3 min, 每天 2 次, 间隔时间 4 h, 1 wk 连续治疗 5 d。4 wk 为 1 疗程, 治疗 1 mo 复查, 医师根据患者情况调整使用时间, 每周使用不宜超过 10 次。之后每 3 mo 复查 1 次。记录后像反应时长及不良反应。

1.2.2 观察指标 (1) 视力情况: 于治疗前及治疗后 1、6、12 mo 使用 5 m 处国际标准视力表检测裸眼视力, 检查亮度为 $85\text{ cd}/\text{m}^2$, 结果换算为 LogMAR 值, LogMAR 视力 0 对应小数视力 1.0, LogMA 视力 1.0 对应小数视力 0.1, 该数值越小代表视力越好。测量眼轴(角膜表面至视网膜色素上皮层距离), 取测量 3 次平均值。 (2) 脉络膜变化情况: 于治疗前及治疗 1、6 mo, 1 a, 使用专业仪器检测黄斑中心凹脉络膜厚度及毛细血管血流密度。扫描黄斑中心区视网膜 6 mm \times 6 mm 范围, 嘱患者注视镜头内蓝色视标、勿转动或频繁眨眼, 开启眼球运动追踪模式并进行校正, 获得脉络膜毛细血管层 En-face 图像, 导出后使用特定软件处理, 调整像素优化, 以 Phansalkar 方法检测脉络膜毛细血管血流密度(血管像素总和与计算区域总面积比值)。通过 Enhanced HD Line 模式获得经过黄斑中心凹脉络膜断层图像, 通过设备自带的线性测量工具测量黄斑中心凹脉络膜厚度(从高反射 RPE 层外缘垂直至巩膜内缘

距离)。(3)泪膜功能:于治疗前及治疗 1、6 mo,1 a,使用眼表干涉仪检测泪膜脂质层厚度;使用 OQAS-Ⅱ 系统监测泪膜动态,眼表染色(荧光素试纸),眨眼 3 次后凝视前方,裂隙灯钴蓝光观察,记录首个泪膜破裂时间。(4)不良事件:观察两组患者治疗期间视物模糊、结膜炎、角膜感染、畏光等不良事件出现情况。(5)治疗 1 a 视力变化情况:治疗 1 a,摘除角膜塑形镜 2 wk 后,于睫状肌麻痹验光 24 h 后测量裸眼视力,对比两组裸眼视力较治疗前变化情况。研究中检查项目均由相同设备及相同检查者进行。检查时间均在上午 8:00-11:00 间,以减少昼夜节律变化对脉络膜厚度、眼轴、泪膜等潜在影响。每次检查前避免剧烈运动,保持良好睡眠。

统计学分析:采用 SPSS 25.0 统计软件处理数据。通过 Shapiro-Wilk 检验,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示;方差齐性,两组间差异或组内差异分别以独立样本 t 检验或配对样本 t 检验;多时间点数据采用重复测量数据的方差分析,若存在组间差异,各时间点的组间差异比较采用独立样本 t 检验;若存在时间差异,进一步两两比较采用 LSD- t 检验;计数资料以 $n(\%)$ 表示,行 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组一般资料比较 两组一般资料比较,差异无统计学意义(均 $P>0.05$),见表 1,具有可比性。

2.2 两组患者裸眼视力及眼轴比较 重复测量方差分析两组患者治疗前至治疗 1 a 裸眼视力及眼轴变化情况:满足球形检验($P>0.05$),上述指标时间及组间有交互效应

($P<0.05$),进一步分析简单效应:治疗 1 a 研究组眼轴较治疗 6 mo 增长,治疗 1 mo 至治疗 1 a 后对照组眼轴呈增长趋势;治疗 1 mo 至治疗 1 a,两组裸眼视力(LogMAR)均呈下降趋势,治疗 6 mo,1 a 研究组裸眼视力(LogMAR)、眼轴低于对照组,差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。治疗前至治疗 6 mo,研究组组内各时间点眼轴比较,差异无统计学意义(均 $P>0.05$),见表 2。

2.3 两组患者黄斑中心凹脉络膜变化情况比较 重复测量方差分析两组患者治疗前至治疗 1 a 中心凹脉络膜厚度及脉络膜毛细血管血流密度变化情况:满足球形检验($P>0.05$),上述指标时间及组间有交互效应($P<0.05$),分析主效应,进行多重比较:治疗 1 mo 至治疗 1 a,两组脉络膜厚度及脉络膜毛细血管血流密度均呈升高趋势,且治疗 6 mo,1 a 研究组中心凹脉络膜厚度及脉络膜毛细血管血流密度高于对照组,差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。治疗前及治疗 1 mo,两组中心凹脉络膜厚度及脉络膜毛细血管血流密度比较,差异无统计学意义(均 $P>0.05$),见表 3。

2.4 两组患者泪膜功能比较 重复测量方差分析两组患者治疗前至治疗 1 a 泪膜脂质层厚度及泪膜破裂时间变化情况:满足球形检验($P>0.05$),上述指标时间及组间无交互效应($P>0.05$),分析主效应,进行多重比较:治疗前至治疗 1 a,两组泪膜脂质层厚度、泪膜破裂时间均呈下降趋势,差异有统计学意义(均 $P<0.05$)。治疗前至治疗 1 a 两组不同时间点的泪膜脂质层厚度、泪膜破裂时间组间比较,差异无统计学意义(均 $P>0.05$),见表 4。

表 1 两组一般资料比较

组别	例数	性别(例,%)		年龄 ($\bar{x}\pm s$,岁)	裸眼视力 ($\bar{x}\pm s$,LogMAR)	角膜曲率 ($\bar{x}\pm s$,D)	等效球镜度 ($\bar{x}\pm s$,D)
		男	女				
研究组	52	28(53.8)	24(46.2)	12.59±1.30	0.55±0.11	45.30±0.81	-2.21±0.30
对照组	52	31(59.6)	21(40.4)	13.02±1.41	0.52±0.10	45.41±0.75	-2.15±0.32
χ^2/t		0.353		1.617	1.455	0.719	0.986
P		0.553		0.109	0.149	0.474	0.326

注:对照组夜间配戴角膜塑形镜基础上,白天予以视觉训练;研究组在对照组治疗基础上使用重复低能量红光照射治疗。

表 2 两组患者裸眼视力及眼轴比较

组别	眼数	裸眼视力(LogMAR)				眼轴(mm)			
		治疗前	治疗 1 mo	治疗 6 mo	治疗 1 a	治疗前	治疗 1 mo	治疗 6 mo	治疗 1 a
研究组	104	0.55±0.11	0.20±0.08 ^a	0.12±0.04 ^{a,c}	0.07±0.02 ^{a,c,e}	23.95±0.21	23.95±0.20	23.96±0.15	24.01±0.10 ^e
对照组	104	0.52±0.10	0.24±0.06 ^a	0.15±0.05 ^{a,c}	0.10±0.03 ^{a,c,e}	23.90±0.26	23.91±0.21	24.02±0.14 ^{a,c}	24.08±0.15 ^e
F		$F_{\text{时间}}=2.469, F_{\text{组间}}=3.387, F_{\text{交互}}=2.807$				$F_{\text{时间}}=2.141, F_{\text{组间}}=3.010, F_{\text{交互}}=2.990$			
P		$P_{\text{时间}}=0.041, P_{\text{组间}}=0.012, P_{\text{交互}}=0.036$				$P_{\text{时间}}=0.042, P_{\text{组间}}=0.023, P_{\text{交互}}=0.035$			

注:对照组夜间配戴角膜塑形镜基础上,白天予以视觉训练;研究组在对照组治疗基础上使用重复低能量红光照射治疗。^a $P<0.05$ vs 治疗前;^c $P<0.05$ vs 治疗 1 mo;^e $P<0.05$ vs 治疗 6 mo。

表 3 两组患者黄斑中心凹脉络膜变化情况比较

组别	眼数	中心凹脉络膜厚度(μm)				脉络膜毛细血管血流密度(%)			
		治疗前	治疗 1 mo	治疗 6 mo	治疗 1 a	治疗前	治疗 1 mo	治疗 6 mo	治疗 1 a
研究组	104	258.05±30.10	270.98±29.17 ^a	287.84±30.52 ^{a,c}	298.92±25.40 ^{a,c,e}	56.59±2.05	57.14±1.60 ^a	57.98±1.70 ^{a,c}	58.56±1.03 ^{a,c,e}
对照组	104	256.38±28.52	262.30±30.05 ^a	275.01±31.38 ^{a,c}	288.05±26.04 ^{a,c,e}	56.42±2.00	56.69±1.51 ^a	57.16±1.63 ^{a,c}	57.78±1.20 ^{a,c,e}
F		$F_{\text{时间}}=2.570, F_{\text{组间}}=3.537, F_{\text{交互}}=3.001$				$F_{\text{时间}}=3.019, F_{\text{组间}}=4.056, F_{\text{交互}}=3.723$			
P		$P_{\text{时间}}=0.038, P_{\text{组间}}=0.020, P_{\text{交互}}=0.033$				$P_{\text{时间}}=0.025, P_{\text{组间}}=0.011, P_{\text{交互}}=0.030$			

注:对照组夜间配戴角膜塑形镜基础上,白天予以视觉训练;研究组在对照组治疗基础上使用重复低能量红光照射治疗。^a $P<0.05$ vs 治疗前;^c $P<0.05$ vs 治疗 1 mo;^e $P<0.05$ vs 治疗 6 mo。

表 4 两组患者泪膜功能比较

̄x±s

组别	眼数	泪膜脂质层厚度 (nm)				泪膜破裂时间(s)			
		治疗前	治疗 1 mo	治疗 6 mo	治疗 1 a	治疗前	治疗 1 mo	治疗 6 mo	治疗 1 a
研究组	104	62.78±7.04	60.05±6.30 ^a	57.80±5.64 ^{a,c}	55.94±4.52 ^{a,c,e}	11.02±1.52	10.30±1.82 ^a	6.55±0.85 ^{a,c}	6.23±0.81 ^{a,c,e}
对照组	104	62.92±7.60	60.10±6.07 ^a	59.63±6.01 ^{a,c}	56.27±3.60 ^{a,c,e}	11.10±1.60	10.34±1.97 ^a	6.72±0.90 ^{a,c}	6.48±0.73 ^{a,c,e}
<i>F</i>		<i>F</i> _{时间} = 2.158, <i>F</i> _{组间} = 0.910, <i>F</i> _{交互} = 1.154				<i>F</i> _{时间} = 2.665, <i>F</i> _{组间} = 0.987, <i>F</i> _{交互} = 1.080			
<i>P</i>		<i>P</i> _{时间} = 0.041, <i>P</i> _{组间} = 0.154, <i>P</i> _{交互} = 0.097				<i>P</i> _{时间} = 0.036, <i>P</i> _{组间} = 0.113, <i>P</i> _{交互} = 0.100			

注:对照组夜间配戴角膜塑形镜基础上,白天予以视觉训练;研究组在对照组治疗基础上使用重复低能量红光照射治疗。^a*P*<0.05 *vs* 治疗前;^c*P*<0.05 *vs* 治疗 1 mo;^e*P*<0.05 *vs* 治疗 6 mo。

表 5 两组患者不良事件比较

眼 (%)

组别	眼数	视物模糊	结膜炎	角膜感染	畏光	总发生
研究组	104	6(5.8)	2(1.9)	0	6(5.8)	14(13.5)
对照组	104	4(3.8)	4(3.8)	2(1.9)	2(1.9)	12(11.5)

注:对照组夜间配戴角膜塑形镜基础上,白天予以视觉训练;研究组在对照组治疗基础上使用重复低能量红光照射治疗。

2.5 两组患者不良事件比较 两组患者均未出现黄斑损伤等严重不良事件。其中研究组出现 6 眼视物模糊,其中 2 眼由于角膜塑形镜镜片压痕导致角膜暂时变形所致,另外 4 眼视物模糊及 6 眼畏光是由于红光治疗后导致,均为短暂性轻微症状,未经处理可自行缓解。对照组患者 4 眼视物模糊均因镜片压痕导致,其他部分患者出现结膜炎及角膜感染是由于镜片护理不当导致,症状较轻微,使用氧氟沙星滴眼液治疗后 7 d 左右均明显改善。两组治疗期间不良事件总发生率比较,差异无统计学意义($\chi^2=0.088$, *P*=0.767),见表 5。

2.6 治疗 1 a 视力变化情况 治疗 1 a,摘除角膜塑形镜 2 wk 后,再次睫状肌麻痹验光。研究组裸眼视力为 0.57±0.13,与治疗前(0.55±0.11)比较,差异无统计学意义(*t*=0.847, *P*=0.399)。对照组裸眼视力为 0.60±0.12,与治疗前(0.52±0.10)比较,差异有统计学意义(*t*=3.693, *P*=0.001)。

3 讨论

近视一旦形成,几乎为不可逆情况,需早发现、早治疗,高度近视对眼底伤害不容忽视。临床认为近视发病机制与遗传、视觉环境、用眼习惯等因素有关,其日常行为及调节因素是青少年成长发育阶段近视发生的主要诱因^[8]。视网膜周边远视离焦在眼球生长、屈光发育过程中起重要作用,周边远视离焦可刺激眼球生长致中央近视形成,视网膜周边近视离焦原理现已成为临床治疗主流手段,常用有角膜塑形镜,可通过降低角膜屈光力、控制眼轴长度,延缓近视发展^[9]。但配戴角膜塑形镜为可逆性矫正方法,因角膜具有可恢复性,一旦停止配戴,近视度数会逐渐恢复至原始度数,若未严格配戴,有度数增加风险^[10]。因此,探寻更为安全、有效的治疗措施迫在眉睫。

有专家提出,长时间近距离疲劳用药需大量调动视觉功能,易造成视觉功能异常,针对调节功能异常患者,进行视觉功能训练,可改善青少年视觉功能调节滞后性,缓解近视现象^[11]。视觉训练通过镜片阅读、镜片排序、单眼及双眼翻转拍训练,以训练双眼调节、集合、眼球运动功能及协调性,从而提高双眼视觉功能应用转换能力,以缓解视觉疲劳、眼球运动障碍等视觉异常状态^[12]。本研究在配戴角膜塑形镜的同时使用视觉训练,结果显示,1 a 内裸眼

视力(LogMAR)均明显下降,治疗 1 mo 眼轴未出现增长,但治疗 6 mo 至 1 a 眼轴有所增长,且治疗 1 a 摘除角膜塑形镜 2 wk 后,患者裸眼视力(LogMAR)较治疗前数据有所增长,提示使用角膜塑形镜及视觉训练虽能使近视暂时性改善或正常状态,但仍有眼轴及度数增长风险。赖伟霞等^[13]研究提出,由于不同患者自身角膜条件不一,塑形形态各异,可能会出现塑形环欠缺、偏位等问题,使得眼轴有增长可能。而进行视觉功能训练可能受患者依从性及用眼过度等影响,使得矫治效果不理想,从而会增加眼轴及近视度数增长风险。张晓培等^[14]研究提出,在近视防控领域,AI 在近视治疗及相关行为监测中具有积极作用,有利于制定个性化治疗方案及视觉训练计划,以帮助患者管理近视并改善视力。这也提示了临床工作者,未来可辅助 AI 技术进行青少年近视的诊治。

近年来,临床学者提出,光照周期、光照频率及不同单色光均对视觉发育有一定程度影响,光照作为一种低成本且安全有效的近视防控手段受到临床广泛关注^[15]。国内外研究相继报道,使用重复低能量红光照射用于临床近视防控治疗中,可延缓或控制近视进展^[16-17]。随后 2022 年发表了《重复低强度红光照射辅助治疗儿童青少年近视专家共识(2022)》^[18],指出该方法有望成为儿童近视防控新型辅助治疗手段。但其是否能控制角膜塑形镜配戴后近视度数及眼轴增长,用于中、长期近视防控有效性及安全性还有待大量临床研究进一步论证。本研究中,在角膜塑形镜及视觉功能训练基础上使用重复低能量红光照射治疗,结果显示,治疗 1 a 内裸眼视力明显改善且优于未使用重复低能量红光照射治疗者,且治疗 6 mo 内眼轴未较治疗前升高。另外,本研究还发现治疗 1 a 后摘除角膜塑形镜 2 wk 后裸眼视力未较治疗前增加,表明使用联合重复低能量红光照射治疗能有效控制眼轴及近视度数增长。刘智搏等^[19]研究针对重复低能量红光照射治疗青少年近视的研究现状中分析提出,红光辐射下细胞会产生各种化学反应,细胞能吸收 600-1 000 nm 波长范围内单色光子能量,以非热及非破坏性方式改变细胞信号转导过程,引发线粒体逆行信号,从而激活不同生化过程。另有研究总结出,650 nm 红光作为自然光谱中优异光谱成分,可刺激视网膜多巴胺释放,而控制近视进展^[20]。同时巩

膜缺氧是巩膜重塑及近视发展的重要机制,低能量红光刺激可促进巩膜微循环代谢,增加血流灌注,从而改善巩膜缺氧,促进巩膜胶原蛋白产生^[21]。本研究中使用最低能量红光 600 nm 重复治疗,以持续作用于视网膜、巩膜,通过不同机制效果产生协同效应,以控制眼轴增长、视力进展,与既往研究结果具有一致性。

脉络膜在传递视网膜信号至巩膜过程中具有重要作用,可改变巩膜细胞外间质合成及眼球大小,使得屈光改变,在近视病理学中占据关键地位^[22]。脉络膜受到光线及其他视觉刺激后,通过改变自身厚度使视网膜至眼底焦点平面,其改变先于巩膜改善及眼轴增长^[23]。陈颖等^[24]研究中提出,近视监测眼轴、屈光状态评估进展具有一定滞后性,脉络膜厚度具有更好的特异性及敏感性,可用于评估近视矫治效果,使用角膜塑形镜治疗前至治疗 15 mo 呈先升高(至 6 mo)后下降趋势(至 15 mo),提示角膜塑形镜治疗后可能会影响脉络膜稳定。本研究中通过监测黄斑中心凹脉络膜变化情况发现,两组治疗 1 a 内脉络膜厚度及毛细血管血流密度均持续升高,且联合使用重复低能量红光照射者较未使用者升高更明显,提示使用联合重复低能量红光照射及视觉功能训练可持续保持脉络膜处于改善状态,且重复低能量红光照射在改善脉络膜局部血流变化方面更具有优势,更利于控制视力进展。有研究提出,多巴胺在脉络膜厚度昼夜变化节律性中具有关键作用,睡眠或光照可刺激视网膜多巴胺释放,从而改变脉络膜厚度^[25]。使用重复低能量红光照射可通过刺激视网膜多巴胺释放、促进巩膜微循环代谢,增加脉络膜血流灌注,从而增加脉络膜厚度及毛细血管血流密度。

另外,有研究提出,角膜塑形镜直接接触角膜,会降低角膜表面氧分压,改变泪液流动性;同时会使得泪膜外层脂质层变薄,损害黏液层功能,致眼表蒸发过度,影响泪膜功能;且角膜塑形镜较硬,会妨碍角膜知觉功能,瞬目活动减少,影响泪膜稳定性^[26-27]。李淑琴^[28]研究中也显示,配戴角膜塑形镜会影响泪膜稳定性,需积极预防配戴者干眼发生。本研究中 1 a 内两组泪膜功能指标较治疗前均呈下降趋势,与李淑琴^[28]研究结果相似。但本研究发现使用重复低能量红光照射联合视觉训练或单独视觉训练患者泪膜脂质层厚度、泪膜破裂时间组间比较无明显差异,考虑泪膜功能下降原因主要因角膜塑形镜因素所致,联合使用重复低能量红光照射不会对泪膜功能造成损害,但此结果仅为推测,还有待进一步与单纯使用角膜塑形镜进行对比,进一步论证联合重复低能量红光照射治疗对泪膜功能的影响。本研究使用的红光能力为 600 nm 低能量,在保障刺激细胞产生生化反应的同时,以最大限度避免不良刺激。目前有关联合重复低能量红光照射在近视干预中的临床研究中少见不良反应报道,说明该技术具有较高安全性^[29]。本研究中也发现,治疗期间两组不良事件情况无明显差异,进一步突出使用重复低能量红光照射治疗的安全性较好。

综上所述,使用重复低能量红光照射联合视觉训练可有效改善脉络膜,控制眼轴增长,有效矫正角膜配戴视力,且不影响泪膜功能,安全性较高,可作为青少年视力防控的便捷、安全、有效措施。但本研究也存在不足之处,考虑

到本研究为单中心研究且样本量较少,可能导致结果偏倚;另外,本研究未设置单纯红光组或单纯训练组,未来有待开展大型临床试验,进行多组对照以排除混杂因素,进一步分析重复低能量红光照射在临床中的应用价值。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 高彦军论文选题与修改,初稿撰写,文献检索,数据分析;叶春喜选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] 高振珊, 陶芳标. 多基因风险评估在儿童青少年近视早期预测研究中的应用. 中国学校卫生, 2024,45(1):148-152.

[2] Eppenberger LS, Grzybowski A, Schmetterer L, et al. Myopia control: are we ready for an evidence based approach? Ophthalmol Ther, 2024,13(6):1453-1477.

[3] Zhang HM, Song DS, Wei RH. The efficacy and safety of combination therapy of repeated low-level red light and defocus-incorporated multiple segments spectacle lenses for myopia control in children: the study protocol for a 12-month, randomized, parallel-controlled, and single-center clinical trial. Trials, 2024,25(1):514.

[4] Chen J, Xu J, Jia HL, et al. The effects of binocular visual function training after concomitant exotropia surgery. Curr Eye Res, 2023,48(7):662-668.

[5] Zhao MY, Lu Y, Wiederhold M, et al. Virtual reality visual perceptual plastic training promotes retinal structure and macular function recovery in glaucoma patients. Cyberpsychol Behav Soc Netw, 2023,26(11):861-868.

[6] Youssef MA, Shehata AR, Adly AM, et al. Efficacy of Repeated Low-Level Red Light (RLRL) therapy on myopia outcomes in children: a systematic review and meta-analysis. BMC Ophthalmol, 2024,24(1):78.

[7] Dong J, Zhu ZT, Xu HF, et al. Myopia control effect of repeated low-level red-light therapy in Chinese children. Ophthalmology, 2023,130(2):198-204.

[8] 刘莉, 邝国平, 彭婧利. 低浓度阿托品联合角膜塑形镜对青少年低中度近视患者治疗效果、泪膜功能及 SF-36 量表评分的影响. 眼科新进展, 2021,41(6):575-578.

[9] Fazzi E, Micheletti S, Calza S, et al. Early visual training and environmental adaptation for infants with visual impairment. Develop Med Child Neuro, 2021,63(10):1180-1193.

[10] Wang F, Peng W, Jiang ZX. Repeated low-level red light therapy for the control of myopia in children: a meta-analysis of randomized controlled trials. Eye Contact Lens Sci Clin Pract, 2023,49(10):438-446.

[11] Su Y, Wang T, Wang QM. Effect of visual perception training on binocular visual function reconstruction in patients after strabismus surgery. Int J Ophthalmol, 2023,16(10):1657-1661.

[12] Kelly N, Vukicevic M, Koklanis K. Effectiveness of visual and acoustic biofeedback eccentric viewing training in conjunction with home exercises on visual function: a retrospective observational review. Strabismus, 2023,31(1):55-65.

[13] 赖伟霞, 梁皓, 贾亦悦, 等. 佩戴角膜塑形镜后离焦环完整性及不同方向偏位对近视青少年眼轴增长的影响. 临床眼科杂志, 2024,32(1):49-53.

[14] 张晓培, 黄建峰, 李童燕, 等. 人工智能技术在近视防控领域的研究进展. 国际眼科杂志, 2023,23(11):1907-1910.

[15] Xiong RL, Zhu ZT, Jiang Y, et al. Longitudinal changes and predictive value of choroidal thickness for myopia control after repeated low-level red-light therapy. *Ophthalmology*, 2023,130(3):286-296.

[16] Wang W, Jiang Y, Zhu ZT, et al. Clinically significant axial shortening in myopic children after repeated low-level red light therapy: a retrospective multicenter analysis. *Ophthalmol Ther*, 2023, 12(2):999-1011.

[17] Jiang Y, Zhu ZT, Tan XP, et al. Effect of repeated low-level red-light therapy for myopia control in children. *Ophthalmology*, 2022, 129(5):509-519.

[18] 《重复低强度红光照射辅助治疗儿童青少年近视专家共识(2022)》专家组. 重复低强度红光照射辅助治疗儿童青少年近视专家共识(2022). *中华实验眼科杂志*, 2022,40(7):599-603.

[19] 刘智搏, 马琼, 李卉, 等. 重复低能量红光干预改善青少年近视的研究现状. *激光生物学报*, 2024,33(1):24-30.

[20] 张莉苑, 郭颖卓, 陈蛟, 等. 650nm 低能量红光联合角膜塑形镜控制近视的临床效果. *山东大学耳鼻喉眼学报*, 2024,38(5):52-57.

[21] Chen YX, Xiong RL, Chen X, et al. Efficacy comparison of repeated low-level red light and low-dose atropine for myopia control: a randomized controlled trial. *Trans Vis Sci Tech*, 2022,11(10):33.

[22] Liu ZZ, Sun ZW, Du B, et al. The effects of repeated low-level red-light therapy on the structure and vasculature of the choroid and retina in children with premyopia. *Ophthalmol Ther*, 2024, 13(3):739-759.

[23] Shang LL, Gao SS, Wang WQ, et al. Comparison of changes in retinal vascular density and thickness after using low-level red light and 0.01% atropine in premyopic children. *Trans Vis Sci Tech*, 2024, 13(6):23.

[24] 陈颖, 刘晓庆, 周瑜峰, 等. 脉络膜厚度在角膜塑形镜和周边离焦型镜片框架镜控制近视患者中的差异. *眼科新进展*, 2023,43(2):131-136.

[25] Liu GH, Rong H, Liu YP, et al. Effectiveness of repeated low-level red light in myopia prevention and myopia control. *Br J Ophthalmol*, 2024,108(9):1299-1305.

[26] 李雯婷, 黄玉银, 叶亲颖, 等. 角膜塑形镜联合 0.01%阿托品滴眼液治疗青少年低中度近视的效果及对泪液炎症因子的影响. *广东医科大学学报*, 2023,41(4):404-407.

[27] Zhang SQ, Zhu HL, Zhang L, et al. Effects of orthokeratology on corneal reshaping and the delaying of axial eye growth in children. *Heliyon*, 2024,10(12):e33341.

[28] 李淑琴. 地夸磷索钠联合玻璃酸钠改善配戴角膜塑形镜后的泪膜稳定性. *国际眼科杂志*, 2024,24(6):950-953.

[29] Deng B, Zhou M, Kong XM, et al. A meta-analysis of randomized controlled trials evaluating the effectiveness and safety of the repeated low-level red light therapy in slowing the progression of myopia in children and adolescents. *Indian J Ophthalmol*, 2024, 72(Suppl 2):S203-S210.