

周边离焦光学干预联合其他疗法在近视控制的研究进展

刘晓晴¹, 钟金海², 林 泉³

引用: 刘晓晴, 钟金海, 林泉. 周边离焦光学干预联合其他疗法在近视控制的研究进展. 国际眼科杂志, 2025, 25(11):1814-1819.

作者单位:¹(510071) 中国广东省广州市, 暨南大学附属爱尔眼科医院; ²(510000) 中国广东省广州市, 暨南大学附属第一医院眼科; ³(530000) 中国广西壮族自治区南宁市, 南宁爱尔眼科医院
作者简介: 刘晓晴, 在读硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 近视防控。

通讯作者: 林泉, 硕士, 教授, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 近视防控. 402701218@qq.com

收稿日期: 2025-04-27 修回日期: 2025-09-18

摘要

目前近视问题严峻, 控制手段多样。近视管理的核心目标在于实现双重效应: 既要确保近视儿童获得清晰、舒适、持久的视觉质量, 又要有效抑制近视度数的快速增长, 防止进展为高度近视。基于周边视网膜近视离焦理论的光学干预手段因其兼具视力矫正和控制近视进展的双重疗效, 已成为近视控制的首选手段。对于周边离焦光学干预效果欠佳的近视儿童, 联合干预策略逐渐成为临床治疗的新趋势。目前的联合干预策略主要包括周边离焦光学干预联合低浓度阿托品滴眼液、红光治疗及视觉训练等。文章围绕上述三种联合疗法, 分别从其临床疗效、安全性及潜在机制等方面进行综述, 旨在为临床医师制定个体化的近视控制联合方案提供循证依据。

关键词: 联合疗法; 周边离焦光学干预; 低浓度阿托品; 重复低强度红光疗法; 视觉训练; 近视控制

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.11.16

Research progress on peripheral defocus-based optical interventions combined with other therapies for myopia control

Liu Xiaoqing¹, Zhong Jinhai², Lin Quan³

¹Aier Eye Hospital, Jinan University, Guangzhou 510071, Guangdong Province, China; ²Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Jinan University, Guangzhou 510000, Guangdong Province, China; ³Nanning Aier Eye Hospital, Nanning 530000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China

Correspondence to: Lin Quan. Nanning Aier Eye Hospital, Nanning 530000, Guangxi Zhuang Autonomous Region, China. 402701218@qq.com

Received: 2025-04-27 Accepted: 2025-09-18

Abstract

• The global myopia epidemic presents a significant

public health challenge, necessitating diverse intervention strategies. The primary objective of myopia management is to achieve a dual therapeutic effect: providing children with clear, comfortable, and sustained vision, while also curbing rapid myopic progression to prevent high myopia. Optical interventions based on the theory of peripheral retinal defocus have become first-line treatments owing to their dual capacity for vision correction and axial elongation control. For children with myopia who show suboptimal response to defocus-based optical interventions, combination therapy has gradually emerged as a new clinical trend. Current combination strategies primarily include defocus-based optical interventions combined with low-concentration atropine, red-light therapy, and vision training, among others. This review summarizes available evidence on these three combination strategies, focusing on clinical efficacy, safety, and underlying mechanisms, with the aim of supporting evidence-based and personalized myopia management plans for clinicians.

• **KEYWORDS:** combination therapy; defocus-based optical interventions; low-concentration atropine; repeated low-level red-light therapy; visual training; myopia control

Citation: Liu XQ, Zhong JH, Lin Q. Research progress on peripheral defocus-based optical interventions combined with other therapies for myopia control. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(11):1814-1819.

0 引言

近年来, 我国近视发生率居高不下。据流行病学预测模型显示, 至 2050 年全球近视患病率将攀升至总人口的 50%, 其中高度近视患者比例预计达到 10%^[1]。研究表明, 高度近视与多种致盲性眼病密切相关, 可引发一系列病理性改变, 主要包括近视性黄斑变性^[2]、后巩膜葡萄肿^[3]和孔源性视网膜脱离^[4]等。而上述并发症的发生风险与屈光度及眼轴呈显著正相关, 随着近视度数的加深而急剧升高^[5]。近视已成为我国儿童青少年眼健康的重大公共卫生问题, 近视管理刻不容缓。当前, 近视控制手段呈现多样化趋势, 主要包括光学干预、低浓度阿托品滴眼液以及重复低强度红光疗法 (repeated low-level red-light therapy, RLRL) 等。基于周边视网膜近视离焦理论的光学干预手段在近视控制中发挥着重要作用, 其干预手段主要包括角膜塑形镜/OK 镜、周边离焦框架眼镜、周边离焦软性接触镜等。由于儿童青少年正处于眼球发育的关键时期, 眼轴长度会随年龄增长而不断延长, 呈现显著的近视漂移趋势, 加之近距离用眼过度、户外活动不足等现代生活方式造成的环境影响, 使得单一近视控制手段有时难以达到预期的近视控制效果。因此, 临床实践中多采用联

合干预策略,通过两种控制手段的协同作用,实现持续、有效的近视管理。本文通过综述基于周边视网膜近视离焦理论的光学干预手段联合其他辅助疗法的研究进展,旨在为临床实践提供科学指导。

1 周边离焦光学干预联合低浓度阿托品滴眼液

低浓度阿托品滴眼液是唯一经循证医学验证能有效延缓近视进展的眼用制剂^[6]。低浓度阿托品治疗近视进展(low-concentration atropine for myopia progression, LAMP)研究^[7]为低浓度阿托品的长期临床应用提供了重要循证依据。该研究评估了0.05%、0.025%和0.01%低浓度阿托品滴眼液对近视进展的延缓效果。5 a的随访结果显示,与安慰剂相比,三种浓度的阿托品均能有效减缓近视进展,且效果呈现浓度依赖性。由于阿托品具有瞳孔散大、视物模糊等副作用,基于安全性考虑,目前更为保守的0.01%阿托品仍然是临床首选。近年来,周边离焦光学干预联合低浓度阿托品滴眼液治疗既往单一疗法近视控制效果不佳人群的研究逐渐丰富。

2018年,Kinoshita等^[8]首次开展了OK镜和0.01%阿托品滴眼液联合疗法的前瞻性随机对照试验,1 a的随访结果表明,OK镜联合0.01%阿托品组比OK镜单一治疗组更有效地减缓眼轴增长,年延缓幅度达0.10 mm。该作者随后还开展了一项为期2 a的随机对照临床试验^[9],研究数据显示,对于低度近视儿童,联合治疗组在控制眼轴延长方面效果更佳;对于中度近视儿童,联合治疗组与OK镜单一治疗组的效果相当。Yu等^[10]与Tan等^[11]的研究结果与Kinoshita等^[8]的上述发现基本一致,进一步分析发现,OK镜联合0.01%阿托品组的优势主要体现在干预初始6 mo。Tang等^[12]采用回顾性研究,对比多区正向光学离焦镜片(defocus incorporated multiple segments, DIMS)、OK镜、DIMS+0.01%阿托品及OK镜+0.01%阿托品四组参与者12 mo后的眼轴增长变化量,数据分析显示0.01%阿托品可增强DIMS镜片及OK镜的近视控制效果,提示其具有协同增益作用,而年龄越大的近视儿童,联合效果越好。对于配戴OK镜后近视仍快速进展的儿童,联合使用阿托品依然能进一步有效延缓近视进展。Chen等^[13]开展了一项回顾性研究,纳入60例配戴OK镜后眼轴仍快速增长(每年平均增长量0.46 mm)的儿童,联合使用0.01%阿托品滴眼液后,眼轴每年平均增长量显著降低至0.14 mm。Wen等^[14]研究尝试调整联合疗法中阿托品滴眼液的浓度,对OK镜控制效果欠佳的儿童加用0.05%阿托品滴眼液进行为期12 mo的观察。研究结果显示联合使用0.05%阿托品可显著减缓眼轴增长,且上半年的控制效果优于下半年。这一发现与Chen等^[13]研究结果具有一致性,即对于OK镜治疗后眼轴增长仍较快的儿童,无论是联合0.01%还是0.05%阿托品,均能在第1 a显著减缓眼轴增长。然而,后续的延伸研究显示,联合疗法在长期近视控制中并未持续展现出额外的优势。Tan等^[15]一项为期2 a的研究表明,在治疗的第2 a,OK镜联合0.01%阿托品组患者的眼轴增长量与单一OK镜组相比,差异无统计学意义。Chen等^[16]一项为期3 a研究也发现,对于OK镜初始治疗反应不佳的患者,联合疗法组在3 a累计眼轴增长方面较单一OK镜组无显著差异。

上述研究中联合治疗组表现出更显著的脉络膜厚度^[15,17]增加,同时伴随眼轴增长速率的减缓,提示OK镜联合低浓度阿托品控制眼轴效果更佳的原因可能与脉络

膜增厚有关。此外,一些研究发现,联合治疗组患者表现出瞳孔直径扩大及高阶像差增加的特征性改变^[18-19]。OK镜作为一种高透氧性逆几何设计的角膜接触镜,通过镜片的机械压力和泪液液压作用,使中央光学区角膜曲率变平坦,同时使旁中央区角膜变陡峭,从而在视网膜上形成特殊的离焦环投影,产生周边近视性离焦信号。联合阿托品具有更好的近视控制效果的机制可能在于:(1)阿托品引起的瞳孔扩大使更多的离焦环区域进入有效光学通道,使得周边视网膜形成更多的离焦区域,显著增强了视网膜周边的近视性离焦;(2)高阶像差的增加进一步改变了视网膜成像质量,通过调节视觉信号传导通路影响眼球的生长调控。这种协同作用最终实现了延缓眼轴增长、抑制近视进展的治疗效果。在安全性方面,部分患者可能因瞳孔扩大出现畏光及视近模糊,这些症状通常可随时间而缓解。在多数研究中联合治疗组与单一OK镜组的调节功能指标^[7,11,20-21]和眼压参数^[8-9,21]无显著差异,均提示联合疗法具有较好的安全性。

综上所述,周边离焦光学干预联合低浓度阿托品治疗在短期内可有效延缓近视进展,并表现出良好的安全性。然而,其长期疗效仍存在争议,可能与以下原因有关:(1)尽管0.01%阿托品浓度较低,长期使用仍可能引起眼部胆碱能受体发生适应性变化,导致药物敏感性下降和疗效减弱;(2)随年龄增长,近视进展自然放缓,使得联合疗法所带来的额外控制效果在长期观察中不再显著。面对长期疗效可能衰减的现状,是否可通过调整阿托品浓度或用药频次以维持联合疗法的优势,成为值得探讨的临床问题。目前,周边离焦光学干预联合不同浓度及频次的低浓度阿托品疗法尚未得到充分研究,这将是未来近视控制领域的重要突破方向之一。

2 周边离焦光学干预联合重复低强度红光

基于户外光照在儿童近视的预防和控制中具有积极作用,学者们进一步探索了不同波长光线对近视防控效果的差异,发现红光在延缓近视进展方面作用尤为显著,由此逐步开展了RLRL在近视儿童近视控制中的临床应用研究。Jiang等^[22]开展了一项为期12 mo的多中心前瞻性随机对照试验,旨在评估RLRL在学龄儿童近视控制中的有效性。研究结果表明,与单光框架眼镜(single-vision spectacle, SVS)相比,RLRL能够显著减缓69.4%的眼轴增长和76.6%的屈光度进展。此外,一些研究发现,与OK镜^[23-24]和0.01%阿托品滴眼液^[25]相比,RLRL在延缓近视儿童眼轴增长和增加脉络膜厚度方面表现出更显著的效果。对于高度近视患者,RLRL同样展现出显著延缓眼轴增长的效果^[26-27]。基于这些发现,研究者认为RLRL可作为学龄儿童近视控制的有效选择。Wu等^[28]近期研究发现,周边离焦光学干预联合RLRL疗法治疗2 a后,其延缓眼轴增长和屈光度进展的效果显著优于SVS对照组,且联合组在干预前6 mo观察到眼轴回退现象。而对于配戴OK镜后近视仍快速进展的儿童,联合使用RLRL疗法依然能进一步有效延缓近视进展。Yu等^[29]对OK镜控制不佳(首年眼轴年增长 ≥ 0.3 mm)的近视儿童开展2 a回顾性研究,将100例患儿分为RLRL联合OK镜组与单用OK镜对照组。12 mo后,联合组眼轴显著缩短(-0.10 ± 0.16 mm),而对照组持续增长(0.30 ± 0.19 mm)。同一时期,Xiong等^[30]的多中心随机对照研究显示,对于OK镜控制不佳(年眼轴增长 ≥ 0.50 mm)的近视儿童,联合RLRL治疗

12 mo 后发现:(1)眼轴变化:OK 镜联合 RLRL 组每年缩短了 0.02 mm,显著优于单用 OK 镜组眼轴每年增长 0.27 mm;(2)脉络膜厚度:OK 镜联合 RLRL 组每年增加了 28.78 μm ,而单用 OK 镜组每年减少了 6.69 μm 。该作者的另一项研究评估了 RLRL 疗法对近视儿童黄斑区脉络膜厚度 (macular choroidal thickness, mCT) 的纵向影响,结果表明 RLRL 治疗 3 mo 时的 mCT 变化对长期近视控制效果具有显著的预测价值 ($\text{AUC}=0.710\text{--}0.786$)^[31]。具体而言,3 mo 时 mCT 每增加 10 μm ,可预测 12 mo 后 AL 增长减缓 0.06 mm, SER 进展减少 0.12 D。这一发现提示,脉络膜增厚可能是红光疗法抑制近视进展的关键机制之一。

现有临床研究表明,周边离焦光学干预联合 RLRL 治疗近视的潜在机制包括:通过增加视网膜多巴胺的分泌^[32]改善脉络膜毛细血管内皮细胞功能,促进一氧化氮 (NO) 释放,导致血管舒张和血流增加^[33-34],改善脉络膜缺血,继而增加脉络膜厚度^[30-35],协同促进激活视网膜-脉络膜-巩膜信号通路,从而实现对近视进展的优化控制。目前多数临床研究尚未报告 RLRL 治疗相关的严重不良事件。然而,Liu 等^[36]报道的首例 RLRL 治疗后视网膜损伤病例引发了安全性争议,核心问题在于长期重复低剂量红光照射是否会产生累积的视网膜结构损伤。

综上所述,周边离焦光学干预联合 RLRL 疗法在控制儿童近视进展方面表现出显著优势,能够显著减缓眼轴增长。这种联合疗法为近视控制提供了一种有效的新选择,然而目前关于周边离焦光学干预联合 RLRL 疗法的研究仍存在以下局限性:(1)现有研究随访时间普遍较短(均在 1 a 以内),难以评估长期疗效;(2)研究对象均来自中国近视儿童群体,缺乏其他人种数据;此外不同研究采用的 RLRL 波长参数存在差异(如 635 nm *vs* 650 nm)。这些因素使得该联合疗法的长期安全性仍存在争议。未来需要通过设计更严谨的大样本、多中心随机对照试验,延长随访时间至 3-5 a,并纳入不同种族人群,才能为临床实践提供更可靠的循证依据。需特别强调的是,RLRL 的临床应用必须严格遵循《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)》^[37]的规范化要求,并在治疗过程中密切监测患者后像持续时间、黄斑部 OCT 等安全性指标,以确保治疗的有效性和安全性。

3 周边离焦光学干预联合视觉训练

调节和集合是双眼视觉功能中两个密切相关的过程,当看近处物体时,眼睛通过调节增加屈光力保证成像清晰,此时双眼向内聚拢以保证看到的物体能成功融合为一个像。当双眼视觉功能发生异常时,容易出现视物模糊、疲劳,甚至影响近视控制效果。目前多项研究结果表明,双眼视功能异常与近视存在一定的关联性。Ma 等^[38]研究发现,同为配戴 DIMS 镜片,具有集合过度的近视儿童比正常近视儿童眼轴增长更快;而散开过度近视儿童眼轴增长相对更缓慢。提示集合功能异常可能会影响 DIMS 镜片的近视控制效果。相较于正视儿童,近视儿童常出现以调节滞后为主要表现的双眼调节功能异常^[39]。因此对于出现双眼视觉功能异常的近视患者,我们可以通过周边离焦光学干预联合视觉训练来改善其视觉功能,以达到更好的近视控制效果。视觉训练的核心原理是通过重复性、渐进性的视觉任务,刺激大脑和视觉系统的神经可塑性,从而改善视疲劳,优化视觉质量^[40]。视觉训练主要分为:调节功能训练、集合功能训练及眼球运动训练,其中调节

功能训练在临床运用较为广泛。杨扬等^[41]和任冬冬等^[42]的研究表明,配戴 OK 镜的患者联合调节训练(如远近视字母表、翻转拍、聚散球等)可以有效提高调节幅度和调节灵敏度,且这种改善在治疗的前 3 mo 最为显著。随着研究的深入,吕佳等^[43]研究探讨 OK 镜联合调节训练的疗效,将 120 例近视儿童分为 3 组:OK 镜组、调节训练组以及 OK 镜联合调节训练组 (orthokeratology combined with visual training, OCVT)。经过 12 mo 的随访观察,数据显示 OCVT 组的近视屈光度及眼轴增长速度最慢。具体而言,与 OK 镜组相比,OCVT 组眼轴年增长量减少 0.20 mm;与调节训练组相比,OCVT 组眼轴年增长量减少 0.28 mm。刘璐等^[44]研究结果显示,与调节训练组相比,OCVT 组眼轴年增长量减少 0.15 mm,该结果与吕佳等^[43]研究结果存在差异,可能原因在于吕佳等^[43]研究所纳入的对象均为调节功能异常人群,因此对眼轴增长的控制效果更为显著。在另一项为期 1a 的随机对照研究^[45]中,作者探讨了近视性光学离焦镜片结合调节灵敏度训练对青少年近视控制的疗效。结果显示,与单独使用近视性光学离焦镜片相比,联合视觉训练的干预方式在控制眼轴增长 ($0.21\pm0.02\text{ mm vs }0.10\pm0.01\text{ mm}, P<0.05$) 和屈光度进展 ($0.46\pm0.03\text{ D vs }0.19\pm0.03\text{ D}, P<0.05$) 方面效果更为显著。近期的一些研究显示,近视儿童可以通过特定设备(如 3D 眼镜)和软件观看动态立体图像或视频等内容,通过特定的动态视觉刺激,可有效增强调节功能^[46-48]。相较于传统的视觉训练,裸眼 3D 视觉训练 (3D Visual Training, 3DVT) 的优势在于通过沉浸式动态场景整合调节、集合与眼球运动的多维训练,并实时量化反馈训练数据,显著提升训练的趣味性及精准性,但存在设备成本高和长期循证证据不足的问题。上述研究表明,针对近视患者进行调节训练能够提高和平衡双眼的双眼视觉功能,从而起到一定的近视控制效果。有部分研究者提出,调节滞后可能并非近视进展的驱动因素,而更可能是近视发展的结果^[49-52]。Allen 等^[49]开展的随机对照试验表明,即使通过球面像差接触镜或视觉训练显著改善调节功能,在为期 2 a 的观察期内仍未能有效延缓近视进展。这一发现得到了 Thakur 等^[52]研究的进一步支持,该研究通过对比三种相同近距离视觉任务(阅读纸质文本、阅读手机文本及观看手机视频)发现:调节滞后量最低的阅读纸质文本组反而表现出最显著的眼轴增长,而调节滞后量最高的观看手机视频组则未观察到显著变化。基于这些证据,研究者认为调节滞后与近距离工作诱发眼轴增长无关,通过视觉训练改善调节功能并未显示出明显的近视控制效果。这种差异可能源于不同研究纳入对象不一致,因此对视觉训练在减缓眼轴增长方面得出不一致的结果。

目前关于调节滞后在近视发生发展中的作用机制仍存在学术争议,但临床实践表明,对于伴有调节功能异常的近视儿童群体,周边离焦光学干预联合视觉训练可产生协同效应,有效提升调节功能,缓解视疲劳症状并显著改善近视儿童的视觉舒适度,在近视控制中展现出积极的干预效果。未来研究应着重于深入阐明调节系统的生理病理机制及统一研究的纳入标准。

4 小结与展望

既往关于周边离焦光学干预联合疗法^[53]的系统性综述较为有限。本研究通过系统分析当前临床主流的 3 种联合治疗方案(以 OK 镜为核心代表的疗效对比见表 1),

表 1 OK 镜联合疗法眼轴变化情况

OK 镜联合疗法	作者与年份	随访周期(mo)	年龄(岁)	样本量(例/眼)	干预措施	基线屈光度(D)	基线眼轴(mm)	眼轴增长量(mm)	眼轴增长减缓绝对累积值(mm)
OK 镜+0.01%阿托品	Kinoshita 等 ^[8] , 2018	12	8-12	40		-5.00--1.00			0.1
				20	OK 镜+0.01%阿托品		24.73±0.58	0.09±0.12	
				20	OK 镜*		24.95±0.92	0.19±0.15	
	Chen 等 ^[13] , 2019	12	5.6-11.6	60		-5.00--1.00			0.11
				30	OK 镜+0.01%阿托品		24.80±0.87	0.14±0.14	
				30	OK 镜*		24.34±0.92	0.25±0.08	
	Tan 等 ^[11] , 2020	12	6-11	68		-4.00--1.00			0.09
				33	OK 镜+0.01%阿托品		24.43±0.62	0.07±0.16	
				35	OK 镜*		24.43±0.81	0.16±0.15	
	Yu 等 ^[10] , 2022	12	8-12	53		-4.00--1.00			0.1
				27	OK 镜+0.01%阿托品		24.79±0.72	0.10±0.14	
				26	OK 镜+安慰剂*		24.64±0.79	0.20±0.15	
	Kinoshita 等 ^[9] , 2020	24	8-12	73		-6.00--1.00			0.11
				38	OK 镜+0.01%阿托品			0.29±0.20	
				35	OK 镜*			0.40±0.23	
	Tan 等 ^[15] , 2023	24	6-11	69		-4.00--1.00			0.18
				34	OK 镜+0.01%阿托品		24.56±0.71	0.17±0.19	
				35	OK 镜*		24.50±0.92	0.35±0.20	
	Wen 等 ^[14] , 2025	12	8-14	70		-6.00--1.00			0.13
				35	OK 镜+0.05%阿托品		24.51±0.85	0.14±0.13	
				35	OK 镜*		24.76±0.81	0.27±0.12	
OK 镜+RLRL	Xiong 等 ^[30] , 2024	12	8-12	47		-5.00--1.00			0.29
				30	OK 镜+RLRL			-0.02	
	Yu 等 ^[29] , 2024	12	7-15	17	RLRL*			0.27	
				100					
OK 镜+视觉训练	刘璐等 ^[44] , 2023	12	14-20	45	OK 镜+RLRL		25.73±1.22	-0.10±0.16	0.4
				55	OK 镜*		25.48±1.10	0.30±0.19	
				80	OK 镜+视觉训练	-3.29±1.04	25.05±0.21	0.04±0.08	
				80	单光镜+视觉训练*	-2.97±1.12	25.07±0.31	0.19±0.04	

注：* 为对照组,其余为试验组;眼轴增长减缓绝对累积值=对照组眼轴增长量-试验组眼轴增长量。

实现了不同联合疗法效果的横向比较,显著增强了数据的直观性与对比价值。本文主要总结:(1)联合低浓度阿托品:对于低度近视、年龄较大的近视儿童,联合疗法比单一疗法控制近视进展效果更佳,未来研究可进一步探索周边离焦光学干预与不同浓度与用药频次低浓度阿托品的联合方案,以拓展临床治疗选择;(2)联合 RLRL:显示显著

的近视进展延缓效果(眼轴年增长量降低约 0.3 mm),该效果在高度近视儿童群体中同样显著,但其安全性仍需更大样本验证。临床操作须严格遵循《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)》的适应证标准。(3)联合视觉训练:有效改善近距离工作诱发的视疲劳症状,但其近视控制作用尚存争议。建议用于周边离

焦光学控制效果欠佳且伴有双眼视功能异常的特定近视人群。

综上所述,相较于单一周边离焦光学干预,周边离焦光学干预联合其他疗法策略在控制近视进展方面具有更为显著的疗效。因此,对于具有近视进展快速、发病年龄较早或父母双方均为高度近视等高危因素的近视儿童,临床医生可考虑采用联合疗法,以更有效地控制其近视进展。目前,关于不同联合治疗方案在疗效上的差异及其具体作用机制,仍有待更深入的探索。未来研究应致力于明确各类联合方案的适应范围与优势人群,为临床近视防控提供更精准、科学的实践依据。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:刘晓晴论文选题与修改,文献检索及初稿撰写;钟金海论文选题与修改;林泉选题指导,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] Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050. *Ophthalmology*, 2016,123(5):1036-1042.

[2] Wong YL, Zhu X, Tham YC, et al. Prevalence and predictors of myopic macular degeneration among Asian adults; pooled analysis from the Asian Eye Epidemiology Consortium. *Br J Ophthalmol*, 2021, 105(8):1140-1148.

[3] Nakao N, Igarashi-Yokoi T, Takahashi H, et al. Quantitative evaluations of posterior staphylomas in highly myopic eyes by ultra-widefield optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2022,63(8):20.

[4] Haarman AEG, Enthoven CA, Tideman JW, et al. The complications of myopia: a review and meta-analysis. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020,61(4):49.

[5] Ohno-Matsui K, Wu PC, Yamashiro K, et al. IMI pathologic myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021,62(5):5.

[6] Lawrenson JG, Huntjens B, Virgili G, et al. Interventions for myopia control in children: a living systematic review and network meta-analysis. *Cochrane Database Syst Rev*, 2025,2(2):CD014758.

[7] Zhang XJ, Zhang YZ, Yip BHK, et al. Five-year clinical trial of the low-concentration atropine for myopia progression (LAMP) study: phase 4 report. *Ophthalmology*, 2024,131(9):1011-1020.

[8] Kinoshita N, Konno Y, Hamada N, et al. Additive effects of orthokeratology and atropine 0.01% ophthalmic solution in slowing axial elongation in children with myopia: first year results. *Jpn J Ophthalmol*, 2018,62(5):544-553.

[9] Kinoshita N, Konno Y, Hamada N, et al. Efficacy of combined orthokeratology and 0.01% atropine solution for slowing axial elongation in children with myopia: a 2-year randomised trial. *Sci Rep*, 2020, 10(1):12750.

[10] Yu S, Du LP, Ji N, et al. Combination of orthokeratology lens with 0.01% atropine in slowing axial elongation in children with myopia: a randomized double-blinded clinical trial. *BMC Ophthalmol*, 2022, 22(1):438.

[11] Tan Q, Ng AL, Choy BN, et al. One-year results of 0.01% atropine with orthokeratology (AOK) study: a randomised clinical trial. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2020,40(5):557-566.

[12] Tang T, Lu YC, Li XW, et al. Comparison of the long-term effects of atropine in combination with Orthokeratology and defocus incorporated multiple segment lenses for myopia control in Chinese children and adolescents. *Eye (Lond)*, 2024,38(9):1660-1667.

[13] Chen Z, Huang SM, Zhou JQ, et al. Adjunctive effect of orthokeratology and low dose atropine on axial elongation in fast-progressing myopic children—a preliminary retrospective study. *Contact Lens Anterior Eye*, 2019,42(4):439-442.

[14] Wen LB, Liu H, Xu QL, et al. Add-on effect of using 0.05% atropine in fast progressors of orthokeratology: a preliminary retrospective study. *Cont Lens Anterior Eye*, 2025,48(1):102282.

[15] Tan Q, Ng AL, Cheng GP, et al. Combined 0.01% atropine with orthokeratology in childhood myopia control (AOK) study: a 2-year randomized clinical trial. *Cont Lens Anterior Eye*, 2023,46(1):101723.

[16] Chen Z, Zhou JQ, Xue F, et al. Two-year add-on effect of using low concentration atropine in poor responders of orthokeratology in myopic children. *Br J Ophthalmol*, 2022,106(8):1069-1072.

[17] Zhao WC, Li ZY, Hu Y, et al. Short-term effects of atropine combined with orthokeratology (ACO) on choroidal thickness. *Cont Lens Anterior Eye*, 2021,44(3):101348.

[18] Vincent SJ, Tan Q, Ng ALK, et al. Higher order aberrations and axial elongation in combined 0.01% atropine with orthokeratology for myopia control. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2020,40(6):728-737.

[19] Tan Q, Cho P, Ng ALK, et al. Retinal image quality in myopic children undergoing orthokeratology alone or combined with 0.01% atropine. *Eye Vis (Lond)*, 2023,10(1):21.

[20] Jiang JY, Long W, Hu Y, et al. Accommodation and vergence function in children using atropine combined with orthokeratology. *Cont Lens Anterior Eye*, 2023,46(1):101704.

[21] Cao XD, Guo ZQ, Wei ZY, et al. Effect of 0.01% atropine eye drops combined with different optical treatments to control low myopia in Chinese children. *Cont Lens Anterior Eye*, 2025,48(1):102317.

[22] Jiang Y, Zhu Z, Tan X, et al. Effect of repeated low-level red-light therapy for myopia control in children: a multicenter randomized controlled trial. *Ophthalmology*, 2022,129(5):509-519.

[23] Xiong F, Mao T, Liao HF, et al. Orthokeratology and low-intensity laser therapy for slowing the progression of myopia in children. *Biomed Res Int*, 2021,2021:8915867.

[24] He XG, Wang JJ, Zhu ZT, et al. Effect of repeated low-level red light on myopia prevention among children in China with premyopia: a randomized clinical trial. *JAMA Netw Open*, 2023,6(4):e239612.

[25] 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. *Transl Vis Sci Technol*, 2022,11(10):33.

[26] Liu GH, Liu L, Rong H, et al. Axial shortening effects of repeated low-level red-light therapy in children with high myopia: a multicenter randomized controlled trial. *Am J Ophthalmol*, 2025,270:203-215.

[27] Xu Y, Cui LP, Kong M, et al. Repeated low-level red light therapy for myopia control in high myopia children and adolescents: a randomized clinical trial. *Ophthalmology*, 2024,131(11):1314-1323.

[28] Wu GY, Dai XD, Tian JC, et al. Efficacy of repeated low-level red-light therapy combined with optical lenses for myopia control in children and adolescents. *Am J Transl Res*, 2024,16(9):4903-4911.

[29] Yu MT, Tang XH, Jiang JY, et al. Axial length shortening after combined repeated low-level red-light therapy in poor responders of orthokeratology in myopic children. *J Ophthalmol*, 2024,2024:4133686.

[30] Xiong RL, Wang W, Tang XH, et al. Myopia control effect of repeated low-level red-light therapy combined with orthokeratology: a multicenter randomized controlled trial. *Ophthalmology*, 2024,131(11):1304-1313.

[31] 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.

[32] Pérez – Fernández V, Milosavljevic N, Allen AE, et al. Rod photoreceptor activation alone defines the release of dopamine in the retina. *Curr Biol*, 2019,29(5):763–774.e5.

[33] Zhao C, Ni Y, Zeng JW. Effect of red–light therapy on retinal and choroidal blood perfusion in myopic children. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2023,43(6):1427–1437.

[34] Shang L, Gao S, Wang W, et al. Comparison of changes in retinal vascular density and thickness after using low–level red light and 0.01% atropine in premyopic children. *Transl Vis Sci Technol*, 2024,13(6):23.

[35] Xiong RL, Zhu ZT, Jiang Y, et al. Sustained and rebound effect of repeated low–level red–light therapy on myopia control: a 2–year post–trial follow–up study. *Clin Exp Ophthalmol*, 2022,50(9):1013–1024.

[36] Liu H, Yang Y, Guo J, et al. Retinal damage after repeated low–level red – light laser exposure. *JAMA Ophthalmol*, 2023, 141 (7): 693–695.

[37] 许迅, 何明光, 何鲜桂. 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.

[38] Ma JH, Yang X, Liu ZM, et al. The impact of vergence dysfunction on myopia control in children wearing defocus spectacle lenses. *Clin Ophthalmol*, 2024,18:799–807.

[39] 李静姣, 姜红, 房晓敏, 等. 调节功能在儿童近视进展中的变化. *临床眼科杂志*, 2021,29(2):149–152.

[40] Hsieh YC, Liao WL, Tsai YY, et al. Efficacy of vision therapy for unilateral refractive amblyopia in children aged 7 – 10 years. *BMC Ophthalmol*, 2022,22(1):44.

[41] 杨扬, 李军, 王莉, 等. 角膜塑形镜联合视觉训练对无调节紊乱症状的近视儿童调节功能的影响. *眼科*, 2019,28(6):421–425.

[42] 任冬冬, 杨会敏. 角膜塑形镜联合视觉训练及云夹对眼调节功能的影响. *国际眼科杂志*, 2024,24(10):1634–1639.

[43] 吕佳, 赵爱华, 王彩云, 等. 角膜塑形镜联合视觉训练控制青少年近视进展效果分析. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2021, 23(6):441–445.

[44] 刘璐, 刘姗, 田沫, 等. OK 镜联合视觉训练治疗无调节紊乱症状的近视青少年的效果. *中国斜视与小儿眼科杂志*, 2023,31(3):17–20.

[45] 吕佳, 王嘉岚, 石颂, 等. 近视性离焦镜片联合调节灵敏度训练控制青少年近视的疗效. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2024, 26(7):496–500.

[46] Xie R, Zhao F, Yu JH, et al. Naked–eye 3–dimensional vision training for myopia control: a randomized clinical trial. *JAMA Pediatr*, 2024,178(6):533–539.

[47] Huang Y, Li M, Shen Y, et al. Study of the immediate effects of autostereoscopic 3D visual training on the accommodative functions of myopes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2022,63(2):9.

[48] Teng YK, Chang CW, Lee SD. A multi – component physiotherapeutic intervention among schoolchildren with myopia: 3D – based vision training program with auditory frequency entrainment and electrical stimulation. *Appl Sci*, 2022,12(1):201.

[49] Allen PM, Radhakrishnan H, Price H, et al. A randomised clinical trial to assess the effect of a dual treatment on myopia progression: the Cambridge Anti–Myopia Study. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2013,33(3):267–276.

[50] Chen YY, Drobe B, Zhang CC, et al. Accommodation is unrelated to myopia progression in Chinese myopic children. *Sci Rep*, 2020, 10(1):12056.

[51] Logan NS, Radhakrishnan H, Cruickshank FE, et al. IMI accommodation and binocular vision in myopia development and progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021,62(5):4.

[52] Thakur S, Verkicharla PK. Greater axial elongation associated with low accommodative lag: new insights on accommodative lag theory for myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2021,41(6):1355–1362.

[53] 沈诗薇, 蒋丽君, 朱永唯. 多区正向离焦镜片在近视防控领域的研究进展. *国际眼科杂志*, 2025,25(2):270–273.