

# 早发性近视的研究进展与综合防控策略

任娇娇<sup>1,2</sup>, 杨默迟<sup>1</sup>, 宋瑞瑞<sup>1,2</sup>, 高芮雯<sup>1,2</sup>

引用:任娇娇,杨默迟,宋瑞瑞,等. 早发性近视的研究进展与综合防控策略. 国际眼科杂志, 2026,26(2):288-292.

基金项目:宁夏回族自治区中央引导地方科技发展专项项目 (No.2024FRD05068)

作者单位:<sup>1</sup>(750004)中国宁夏回族自治区银川市,宁夏医科大学总医院眼科;<sup>2</sup>(750004)中国宁夏回族自治区银川市,宁夏医科大学第一临床医学院

作者简介:任娇娇,女,在读硕士研究生。

通讯作者:杨默迟,女,博士,副主任医师,硕士研究生导师,研究方向:眼视光、眼底病。Yangmochi2385@163.com

收稿日期:2025-07-04 修回日期:2025-12-22

## 摘要

早发性近视指13岁之前发生近视。其早期进展快、未来发展为高度近视的风险显著升高,已成为威胁儿童视觉健康的重大公共卫生问题。早期诊断与系统性干预是延缓屈光进展、降低高度近视及相关眼底并发症风险的关键窗口期,对改善儿童长期视觉预后具有重要意义。文章旨在系统梳理早发性近视的最新进展,重点围绕早发性近视的遗传与环境交互作用机制、治疗技术研究进展、综合防控策略的创新等方面展开。系统整合了早发性近视治疗相关基础研究与临床实践的最新成果,为早发性近视精准诊疗、公共卫生政策制定及技术创新提供理论支撑,同时也可作为眼科医生、科研人员及政策制定者的重要借鉴。

关键词:早发性近视;发生机制;治疗进展;防控策略

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.2.18

## Research progress and comprehensive prevention and control strategies on early-onset myopia

Ren Jiaojiao<sup>1,2</sup>, Yang Mochi<sup>1</sup>, Song Ruirui<sup>1,2</sup>, Gao Ruiwen<sup>1,2</sup>

Foundation item: Central Government Guiding Local Science and Technology Development Special Project of Ningxia Hui Autonomous Region (No.2024FRD05068)

<sup>1</sup>Department of Ophthalmology, General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, Ningxia Hui Autonomous Region, China; <sup>2</sup>The First Clinical Medical College of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, Ningxia Hui Autonomous Region, China

Correspondence to: Yang Mochi. Department of Ophthalmology, General Hospital of Ningxia Medical University, Yinchuan 750004, Ningxia Hui Autonomous Region, China. Yangmochi2385@163.com

Received:2025-07-04 Accepted:2025-12-22

## Abstract

• Early-onset myopia refers to myopia that develops before the age of 13. Characterized by rapid initial progression and a significantly increased risk of developing high myopia in the future, it has become a major public health problem threatening children's visual health. Early diagnosis and systematic intervention represent a critical window for slowing refractive progression and reducing the risk of high myopia and associated ocular fundus complications, holding significant importance for improving long-term visual outcomes in children. This review aims to systematically summarize recent advances in early-onset myopia, focusing on the mechanisms of gene-environment interactions, advances in treatment technologies, and innovations in comprehensive management strategies. It integrates the latest achievements from both basic research and clinical practice related to the treatment of early-onset myopia, aiming to provide theoretical support for precise diagnosis and treatment, public health policy formulation, and technological innovation. Furthermore, it serves as a valuable reference for ophthalmologists, researchers, and policy makers.

• KEYWORDS: early-onset myopia; pathogenesis; therapeutic advances; prevention strategies

Citation: Ren JJ, Yang MC, Song RR, et al. Research progress and comprehensive prevention and control strategies on early-onset myopia. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026,26(2):288-292.

## 0 引言

近视是一种视觉障碍,是指在调节放松的状态下平行光线经眼球屈光系统后聚焦在视网膜之前。高度近视极大可能会进展为病理性近视,导致视网膜脱离、视网膜新生血管、黄斑裂孔、早期白内障和青光眼等眼疾[1]。

我国近视正逐渐呈现低龄化,通常13岁之前发生近视称为早发性近视(early-onset myopia, EOM)[2]。一项针对768 813名中国儿童青少年的流行病学调查显示,其总体近视患病率已达58%[3]。其中近一半的病例在学龄初期诊断近视,并持续到成年[4]。预测到2050年全球范围几乎50%的人口将患有近视,其中10%为高度近视[5]。EOM是近视研究的关键阶段,本文系统梳理EOM的发病机制、治疗进展、综合防控策略及未来发展趋势,以期为临床治疗实践与科研方向提供理论参考。

## 1 EOM致病机制及相关眼部结构指标变化规律

1.1 EOM致病机制新认识 EOM的发生和发展是遗传因素与环境因素复杂交互作用的结果。家系研究显示,父母近视的儿童患病风险相较于父母未患近视的儿童高4-6

倍<sup>[6-8]</sup>。全基因组关联研究 (genome-wide association study, GWAS) 目前已发现 336 个与屈光不正相关的新型遗传基因座, 这些位点参与视网膜信号传导、细胞外基质重塑等通路<sup>[9-11]</sup>。遗传因素可通过调控个体对环境刺激的生物学反应, 增强或削弱环境暴露对近视发生的影响<sup>[12-13]</sup>。在环境因素中, 持续近距离用眼和户外活动时间不足是早发性近视主要诱因。在近视进展过程中, 巩膜成纤维细胞活性异常导致胶原合成减少、降解增加 (如 MMP-2 过度表达), 使巩膜变薄, 生物力学强度下降<sup>[14]</sup>, 其机制可能与视网膜周边远视离焦, 刺激脉络膜变薄及巩膜机械张力增加, 并最终通过“视网膜-巩膜信号通路”驱动眼轴代偿性延长有关<sup>[15]</sup>。

**1.2 神经纤维层厚度在 EOM 中的变化规律** 视网膜神经纤维层 (retinal nerve fibers layer, RNFL) 是评估视神经健康的重要指标, 与 EOM 的进展及并发症风险密切相关<sup>[16]</sup>。眼轴增长是 RNFL 厚度减少的一个重要因素。研究显示随着眼轴增长和等效球镜度数增加, RNFL 整体、上方、鼻侧和下方区域的厚度显著变薄, 颞侧则可能增厚<sup>[16]</sup>。与中低度近视相比, 高度近视患者的上下方 RNFL 更薄, 中度近视者鼻侧与下方 RNFL 亦较正常组薄<sup>[17]</sup>。

**1.3 角膜生物力学参数在 EOM 中的变化规律** 角膜生物力学特性反映角膜结构完整性, 其变化与近视程度密切相关。EOM 患者常表现为较低的角膜滞后量与角膜阻力因子, 提示角膜更软、抗变形能力减弱<sup>[18]</sup>。角膜刚度参数 (如 SP-A1) 下降, 可能与巩膜重塑及眼轴延长机制有关。Corvis ST 生物力学指数 (CBI) 与等效球镜度 (SE) 呈正相关, CBI 稳定性高反映角膜生物力学状态良好<sup>[19]</sup>。角膜形变参数 (如最大峰值距离、最大形变幅度) 的变化可能早于近视度数的变化。儿童近视进展中, 眼压升高与眼轴长度增大相关, 提示眼压可能在近视发展中起推动作用<sup>[20]</sup>。EOM 群体的角膜生物力学参数表现出明显的改变, 但目前关于眼轴、屈光度、角膜生物力学各参数的相关性研究并没有定论, 尤其是 EOM 群体角膜生物力学相关性研究较少还需进一步探讨。

## 2 EOM 治疗技术研究进展

### 2.1 光学矫正技术

**2.1.1 角膜塑形镜** 角膜塑形镜 (orthokeratology lens) 是角膜接触镜的一种, 角膜塑形镜在治疗儿童近视方面已经取得很大成就, 目前被广泛应用于临床。角膜塑形镜是利用逆几何原理来治疗近视的一种方法, 具有见效快、无创、可逆的特点。其可根据近视儿童的角膜状态个性化定制, 利用泪液的虹吸作用贴附于角膜上, 使角膜上皮细胞重新分布, 中央区角膜厚度变薄, 周边曲率增加, 从而改善角膜屈光状态, 减少远视离焦的发生, 可有效控制近视, 且近视儿童越早治疗效果越好<sup>[21-23]</sup>。此外, 睡眠状态下配戴角膜塑形镜可减少白天配戴的不适感, 同时夜间持续按摩眼球可控制眼轴增长。也有研究发现角膜塑形镜和 0.01% 阿托品滴眼液均可有效延缓近视进展、抑制眼轴增长, 但角膜塑形镜的控制效果更佳<sup>[24]</sup>。有部分学者提出, 角膜塑形镜对角膜形态的矫正具有可逆性<sup>[25]</sup>。这意味着当停止配戴角膜塑形镜后, 角膜的形态可能会逐渐恢复到原来的状态。针对这一问题, 郭寅等<sup>[25]</sup>发现去片后的裸眼视力主要与患儿本身的屈光状态及眼轴长度有关, 屈光度数越

高、眼轴越长, 去片后的裸眼视力越差。角膜塑形镜虽可延缓眼轴增长速度, 但相比轻度近视, 高度近视者眼轴长度更长, 屈光度数更高, 往往经角膜塑形镜治疗后较轻中度近视患儿的疗效差。因此应重视不同患者个体化差异, 个体化配戴, 并加强健康宣教, 提高配戴依从性, 确保视力矫正效果。

**2.1.2 多焦点软性隐形眼镜** 多焦点软性角膜接触镜 (multifocal soft contact lenses, MFSCl) 是一种周边光度渐变的软镜, 随着眼球的转动, 它始终位于角膜中央前表面, 前表面形态类似角膜塑形后的效果, 因此能提供与角膜塑形相似的近视控制作用。主要优点有: (1) 适用于低龄儿童, 通过周边离焦设计抑制眼轴增长速度; (2) 验配过程与普通软性角膜接触镜相似, 方便快捷; (3) 日抛型镜片可减少并发症, 提高了配戴的安全性; (4) 无需夜间配戴, 即戴即用, 无 OK 镜的夜间配戴风险和护理负担。研究表明多焦点软性亲水性接触镜对于高度近视的儿童青少年具有较高的安全性及有效性, 相较于配戴单光框架眼镜的儿童青少年, 多焦点软镜患者近视屈光度增长延缓 65.4%、眼轴增长速度减缓约 33.3%, 且对 EOM 眼轴增长具有良好的控制效果, 可作为临床近视防控的有效手段<sup>[26]</sup>。然而, 多焦点软性接触镜也有其局限性, 它的散光矫正能力较弱, 通常仅适用于 1.00 D 以内的散光。此外, 多焦设计可能导致瞳孔内出现多个光圈, 从而在一定程度上影响视觉质量。因此, 选择时仍需根据个人情况权衡其优缺点。

**2.1.3 周边离焦型框架镜** 近视的发生发展与视网膜周边光学离焦密切相关。周边远视性离焦可刺激眼轴增长, 而周边近视性离焦则能抑制其延长。基于该原理, 周边离焦镜片 (peripheral defocus spectacle lens, PDSL) 通过特殊光学设计, 将周边物像聚焦于视网膜前方, 形成持续性近视离焦信号, 从而延缓眼轴增长<sup>[27]</sup>。

临床研究已证实多区正向光学离焦镜片 (defocus incorporated multiple segments, DIMS) 在延缓近视进展方面的有效性。一项为期 2 a 的随机对照试验结果显示, DIMS 组在等效球镜进展与眼轴增长方面均显著低于单光框架镜组 (均  $P < 0.05$ )<sup>[28]</sup>。进一步分析表明, DIMS 可安全有效延缓 8-13 岁中低度近视儿童的近视进展 (52%) 与眼轴增长 (62%)<sup>[29]</sup>。李秀红等<sup>[30]</sup>的研究进一步显示, 戴镜 1 a 后, DIMS 的近视控制有效率为 46.9%, 虽略低于角膜塑形镜的 58.3%, 但在中度近视及大龄青少年人群中, 二者控制效果相近<sup>[28]</sup>。此外, DIMS 与 0.01% 阿托品联合使用也显示出协同效应, 联合组 2 a 近视进展显著低于单用 DIMS 组, 其机制可能与阿托品抑制胆碱能通路光学离焦信号共同调节巩膜重塑过程有关<sup>[31]</sup>。一项长达 6 a 的研究也表明, DIMS 镜片具有持续且安全的长期近视控制效果<sup>[32]</sup>。DIMS 镜片作为非接触性光学矫正方式, 可有效降低因配戴接触镜而引发的角膜感染、过敏及干眼等相关风险, 与角膜塑形镜 (OK 镜) 相比, DIMS 组并发症率 (4.88%) 显著低于 OK 镜组 (23.26%), 因而尤其适用于低龄儿童或眼部敏感人群<sup>[33]</sup>。尽管 DIMS 镜片可能引发周边视物模糊或眩光等视觉现象, 但其非侵入性、高安全性和良好依从性使其成为中低度近视儿童, 特别是低龄或眼部敏感人群的重要干预选择。



2.2 药物干预的突破

2.2.1 低浓度阿托品滴眼液 近年来低浓度(0.01%–0.05%)阿托品在治疗近视中的疗效得到普遍认可,阿托品是一种非选择性的M受体阻断剂,通过与M受体结合,达到放松睫状肌、缓解痉挛,进而控制眼轴增长的作用。目前普遍认为:阿托品主要通过三种机制来抑制眼轴增长<sup>[34]</sup>:(1)干扰神经递质等激素的释放,影响视网膜上信号的传导,进而抑制眼轴的增长;(2)作用于巩膜及视网膜上的毒蕈碱受体,抑制眼轴增长;(3)作用于巩膜的成纤维细胞,使巩膜成纤维细胞增厚,改变巩膜形态,限制眼轴的增长。高浓度阿托品在延缓近视进展方面效果显著,然而,几乎所有使用高浓度阿托品的参与者都出现了畏光和近视力模糊的问题,这些不良反应使得患者在使用过程中的不适感较高,进而导致其接受度低、长期使用困难。此外,停药后近视反弹的可能大<sup>[35]</sup>。相比之下,低浓度阿托品也可减缓近视进展和眼轴增长,其使用的不良反应发生率<sup>[36]</sup>,仅少数儿童可能出现过敏性结膜炎等轻微不适,患者使用时的不适感较少,接受度较高。且低浓度阿托品停药后的反弹效应相对较小,这使其在长期治疗中更具优势<sup>[37]</sup>。有研究发现应用0.01%的阿托品可有效控制屈光度的增加,控制眼轴增长,且不良反应较小,值得临床推广<sup>[38–39]</sup>。也有研究认为大部分儿童在长期使用低浓度阿托品后可造成调节灵敏度降低,引起视疲劳<sup>[40–41]</sup>。因此,如何更安全的使用阿托品降低其不良反应仍需深入探索。

2.2.2 新型靶向药物 研究者在近视模型中发现,多巴胺和多巴胺激动剂(左旋多巴、ADTN、阿扑吗啡等)具有抑制近视雏鸡屈光度降低和眼轴延长的作用<sup>[42]</sup>。目前,受到广泛关注并重点研究的多巴胺激动剂有7-甲基黄嘌呤(7-MX)和左旋多巴(L-DOPA)。前者是多种甲基黄嘌呤(可可碱、茶碱和咖啡因)的代谢产物,天然存在于可可果实中,也是人体组织和体液中常见的嘌呤碱成分。7-MX是一种新型的首创口服药物,主要针对近视适应证,能激活视网膜D2受体,促进多巴胺释放,Ⅱ期临床试验显示其可减缓眼轴增长<sup>[43]</sup>。自2009年以来仅在丹麦权威药房进行临床使用,该项用于控制近视进展候选产品已在丹麦超过1 171名儿童使用,人体使用已有超过12 a的历史<sup>[44]</sup>。该近视口服疗法候选资产已完成临床前开发,目前在丹麦完成了2期临床试验,正在启动全球3期临床研究,平均而言,每天服用1 000 mg 7-MX的11岁儿童在未来6 a内近视度数控制在–1.43 D,而如果不治疗,近视度数将达到–2.27 D。在上述以丹麦近视儿童为样本的研究中,口服7-MX与阻止近视进展和减缓眼轴伸长相关<sup>[45]</sup>。作为防控EOM的长期服用药物,目前仅7-MX这一新分子药物在临床前和临床研究中均被发现有效且无毒。如后续全球性三期临床试验开展顺利,这类一流的分子药物将改变近视治疗尤其是对于EOM群体治疗的前景。也有研究表明,抗缺氧药物红景天苷和芒柄花黄素通过抑制巩膜缺氧信号通路(HIF-1 $\alpha$ )可干预近视进展,两种药物对正常屈光发育并未产生不良影响,研究系统揭示了巩膜缺氧与近视形成之间的分子联系,为进一步筛选抗巩膜缺氧药物,选择性控制近视进展而不影响青少年眼球发育奠定了基础<sup>[46–47]</sup>。

2.3 手术治疗的探索 屈光手术适用于成年后近视度数稳定(通常1–2 a内变化 $\leq$ 50度)的人群,主要目的是通过改变角膜形态或植入人工晶体来矫正已有的屈光不正(近视、散光等)而非阻止近视的进展,更不适用于早发性近视的防控。仅在一些特殊情况下,例如因屈光参差、斜视、近视、远视等导致的儿童弱视,屈光手术可被考虑作为治疗手段<sup>[48]</sup>。

2.4 主要诊疗方法的效果对比与联合应用分析 临床上,选择近视防控方案需综合考量患者的年龄、近视程度、进展速度、眼部条件、生活习惯及经济状况。光学矫正与药物干预各有侧重:对于进展迅速、活跃好动且能规范护理的儿童,角膜塑形镜(OK镜)是优选方案<sup>[24]</sup>。注重安全卫生、散光较低儿童则更适合配戴多焦点软性角膜接触镜(MFSCCL)<sup>[26]</sup>。而不适宜或不愿配戴接触镜的患儿,低浓度阿托品(如0.01%)则提供了有效替代,但需注意可能存在畏光、视近模糊及停药反弹等局限性<sup>[36]</sup>。此外,对于注重安全性、配戴依从性与非侵入性的中低度近视儿童,周边离焦型框架镜(PDSL)可作为理想的干预选择。近年来,新型口服多巴胺激动剂7-MX在Ⅱ期临床试验中展现出潜力,可改善依从性并延缓进展,但此药品尚未上市,长期安全性与有效性仍需验证。同时需明确的是,屈光手术旨在矫正已稳定的屈光不正,无法控制近视进展。

3 EOM 综合防控策略的创新

3.1 高危人群筛查与防控策略 高危人群筛查是EOM防控的核心环节,有研究指出基于基因风险评分(PRS)和家族史等筛查方法可对高风险EOM群体实施强化监测。建议临床实践中优先关注遗传性高风险及远视储备不足儿童,结合多维度数据制定个性化EOM患者防控方案。此外,在制定任何医疗方案的同时,必须强调行为干预的基础性作用。确保每日1 h以上的户外活动、管理用眼距离与时间、优化照明环境等措施,被证实能有效延缓近视发生与发展<sup>[49–50]</sup>。

3.2 智能监测与数据采集设备 随着互联网的发展,无线通信技术与传感器技术也随之迅速发展,应用各种智能监测设备改善儿童青少年用眼不良习惯愈发普及。通过智能手环、桌面传感器、可穿戴式眼动仪等数字化设备可实时追踪用眼距离、了解用眼时长及环境光照强度,家长也可通过相应APP管理儿童使用屏幕的时间。其核心价值在于实现“早筛、早管、早控”。智能监测设备也正从单一数据采集向“精准预测–主动干预–全流程管理”的智能化体系演进,未来有望在5–10 a内实现全面覆盖,成为近视防控的核心支柱<sup>[51]</sup>。

3.3 学校–家庭–医院联动防控 EOM的防控需要学校、家庭和医院三方的紧密合作,共同为儿童青少年的视力健康保驾护航。建立信息共享与沟通平台,实时掌握近视发展动态。协同干预与管理,定期评估与反馈,及时调整并制定个性化防控方案。当前仍存在家庭认知偏差(如戴镜会加重近视的误区)、医疗资源分布不均等问题,需打破三方壁垒,通过科学干预降低“可避免盲”发生率。

4 总结与未来方向

本文梳理了EOM在致病机制、光学矫正、药物干预及手术治疗等方面的研究进展。当前研究表明,该领域的研究正从单一疗法向整合多维度数据的防控体系演进。未

来的研究可能聚焦于以下几个方向,以进一步优化早发性近视的诊疗策略:(1)从临床参数转向多模态数据融合。构建整合遗传、影像、临床与行为数据的风险预测模型,是实现早期识别和个体化干预的关键。例如,基于多中心队列数据开发的多模态算法,已被证明能有效识别近视快速进展的高风险个体<sup>[52]</sup>。未来的关键方向在于利用更大样本的多中心队列数据,验证现有模型(如DeepMyopia)的普适性,并致力于开发适用于基层场景的简化筛查工具,以解决医疗资源不均的挑战。(2)干预过程的智能化闭环管理,这有赖于可穿戴设备与算法模型的协同发展。可穿戴设备为连续监测用眼行为提供了技术可能<sup>[51]</sup>,而如何利用这些实时数据动态调整干预方案,是实现真正个性化管理的重要步骤。近期研究已开始探索基于智能手机App的行为反馈机制在近视防控中的应用潜力,这为构建低成本、高依从性的智能管理闭环提供了可能。(3)防控实践的系统化,推动建立全域联动的综合体系。未来工作的另一个重点在于探索如何将上述技术进步整合到“医院-学校-家庭”网络中,并评估其成本效益。例如,设计基于学校的筛查项目与基于家庭的数字疗法相结合的综合干预模式,评估其长期效果和可行性。同时,伴随这些新技术应用所产生的数据安全与医学伦理问题也需同步建立相应的规范与标准。

本文创新性的系统构建了EOM从单一治疗向综合管理演进的分析框架。与既往多聚焦于常规干预措施的联合应用不同<sup>[53]</sup>,本综述重点针对多模态数据融合与智能化联合疗法这两大前沿方向,通过深入探讨7-MX等新型靶向药物及数字化健康管理系统的潜力,为EOM防控策略提供了新思路。同时,本文进一步突破了单一疗法或机制的局限<sup>[43]</sup>。整合遗传机制、新型药物、光学矫正技术与数字化管理于统一框架,系统阐释其协同作用机制,从而构建“精准预防-动态监测-个性化干预”闭环管理体系,为该模式向临床实践转化提供了理论依据。

**利益冲突声明:**本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:**任娇娇论文选题与修改,初稿撰写;宋瑞瑞、高芮雯文献检索;杨默迟选题指导,论文修改及审阅。所有作者均阅读并同意最终的文本。

#### 参考文献

[1] Hoang QV, Flitcroft I, Rizzieri N. Can we predict which high myopes will develop pathological myopia? *Ophthalmic Physiologic Optic*, 2025,45(4):906-910.

[2] 余琼武,张萍,周善璧,等.不同阅读距离的调节准确度与早发性近视眼的相关性. *中华眼科杂志*, 2016,52(7):520-524.

[3] 蒋世华,朱政,任盈盈,等.中国儿童青少年近视患病率及影响因素的Meta分析. *中国全科医学*, 2025,28(24):3043-3052.

[4] Pärssinen O, Kauppinen M, Viljanen A. The progression of myopia from its onset at age 8-12 to adulthood and the influence of heredity and external factors on myopic progression. A 23-year follow-up study. *Acta Ophthalmol*, 2014,92(8):730-739.

[5] 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.

[6] 冯卓堃,马雅,金子兵.近视发生和发展的遗传学研究进展. *中华实验眼科杂志*, 2023,41(9):931-938.

[7] 盛迅伦.重视早发性高度近视的遗传学诊断. *中华实验眼科杂*

志, 2022,40(3):193-198.

[8] 井云,李清波,吴仲英.《高度近视防控专家共识(2023)》解读(上). *中国眼镜科技杂志*, 2023(11):108-111.

[9] Hysi PG, Inc A, Choquet H, et al. Meta-analysis of 542,934 subjects of European ancestry identifies new genes and mechanisms predisposing to refractive error and myopia. *Nat Genet*, 2020,52(4):401-407.

[10] Németh J, Tapasztó B, Aclimandos WA, et al. Update and guidance on management of myopia. European Society of Ophthalmology in cooperation with International Myopia Institute. *Eur J Ophthalmol*, 2021,31(3):853-883.

[11] 廖莹,兰长骏.高度近视眼全基因组关联研究的进展. *中华眼科杂志*, 2016,52(10):794-800.

[12] 芮雪,任英华,杨尚英,等.伴有早发性高度近视的遗传性眼病基因型与表型研究. *中华实验眼科杂志*, 2023,41(7):662-674.

[13] Tkatchenko AV, Tkatchenko TV, Guggenheim JA, et al. APLP2 regulates refractive error and myopia development in mice and humans. *PLoS Genet*, 2015,11(8):e1005432.

[14] 田甜,朱煌.MMP-2与近视关系的研究进展. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2014,16(8):510-512.

[15] 张瑞雪,蒋文君,毕宏生,等.近视与调节力关系的研究进展. *眼科新进展*, 2020,40(9):893-895,900.

[16] Ha A, Kim YK, Baek SU, et al. Longitudinal changes of circumpapillary retinal nerve fiber layer thickness profile during childhood myopia progression. *Sci Rep*, 2022,12(1):2555.

[17] Chen CY, Huang EJ, Kuo CN, et al. The relationship between age, axial length and retinal nerve fiber layer thickness in the normal elderly population in Taiwan: The Chiayi eye study in Taiwan. *PLoS One*, 2018,13(3):e0194116.

[18] Marinescu M, Dascalescu D, Constantin M, et al. Corneal biomechanical properties in myopic and emmetropic children. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*, 2023,27(8):3580-3589.

[19] Lu LL, Hu XJ, Yang Y, et al. Correlation of myopia onset and progression with corneal biomechanical parameters in children. *World J Clin Cases*, 2022,10(5):1548-1556.

[20] 杨铮,雷方,周瑞雅,等.眼压在儿童不同程度近视和眼轴变化中的作用. *中华实验眼科杂志*, 2016,34(7):635-638.

[21] Wan K, Yau HT, Cheung SW, et al. Corneal thickness changes in myopic children during and after short-term orthokeratology lens wear. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2021,41(4):757-767.

[22] Hu XX, Wang ZX, Sun BX, et al. Orthokeratology for myopia control: a three-year longitudinal study on axial length modulation influenced by baseline age and spherical equivalent. *BMC Ophthalmol*, 2025,25(1):466.

[23] Gifford KL, Gifford P, Hendicott PL, et al. Stability of peripheral refraction changes in orthokeratology for myopia. *Cont Lens Anterior Eye*, 2020,43(1):44-53.

[24] 张棣,姜波.角膜塑形镜和0.01%阿托品滴眼液治疗近视学龄儿童的有效性和安全性比较研究. *临床眼科杂志*, 2022,30(4):293-297.

[25] 郭寅,刘立洲,彭丽,等.角膜塑形镜去片裸眼视力底下的影响因素及近视控制效果. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2018,20(12):743-748.

[26] 刘杨,李梦迪,李丽华,等.高度近视儿童青少年配戴多焦点软性接触镜延缓近视进展的有效性研究. *眼科新进展*, 2023,43(5):388-392.

[27] Jiang DD, Zhao CP, Ding WZ, et al. The role of peripheral retinal defocus in myopia progression. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 2024,60(6):541-546.

[28] 程静,秦爱姣,陈斯敏,等.多区正向光学离焦眼镜对青少年近视的控制效果. *国际眼科杂志*, 2025,25(7):1067-1072.

[29] Lam CSY, Tang WC, Tse DY, et al. Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol*, 2020, 104 ( 3 ): 363-368.

[30] 李秀红, 符爱存, 姬娜, 等. 多区正向设计离焦框架眼镜与角膜塑形镜对儿童近视的延缓效果比较. *中华实验眼科杂志*, 2024, 42 ( 4 ): 339-346.

[31] Xu SS, Li ZY, Zhao WC, et al. Effect of atropine, orthokeratology and combined treatments for myopia control: a 2 - year stratified randomised clinical trial. *Br J Ophthalmol*, 2023, 107 ( 12 ): 1812-1817.

[32] Lam CSY, Tang WC, Zhang HY, et al. Long-term myopia control effect and safety in children wearing DIMS spectacle lenses for 6 years. *Sci Rep*, 2023, 13 ( 1 ): 5475.

[33] Fatimah M, Agarkar S, Narayanan A. Impact of defocus incorporated multiple segments ( DIMS ) spectacle lenses for myopia control on quality of life of the children: a qualitative study. *BMJ Open Ophthalmol*, 2024, 9 ( 1 ): e001562.

[34] 李双莲, 邓燕, 熊伟伟, 等. 0.01%阿托品滴眼液延缓不同程度近视的疗效及安全性. *南昌大学学报(医学版)*, 2021, 61 ( 4 ): 55-58.

[35] Wang XY, Zhang LY, Gan JH, et al. Effectiveness of various atropine concentrations in myopia control for Asian children: a network meta-analysis. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1503536.

[36] Cui C, Li XJ, Lyu Y, et al. Safety and efficacy of 0.02% and 0.01% atropine on controlling myopia progression: a 2-year clinical trial. *Sci Rep*, 2021, 11: 22267.

[37] Jawaid I, Saunders K, Hammond CJ, et al. Low concentration atropine and myopia: a narrative review of the evidence for United Kingdom based practitioners. *Eye (Lond)*, 2024, 38 ( 3 ): 434-441.

[38] 荣军博, 符爱存, 吕勇, 等. 0.01%阿托品滴眼液控制学龄儿童近视发展的疗效. *中华实验眼科杂志*, 2020, 38 ( 6 ): 494-498.

[39] 符爱存, 荣军博, 王卫群, 等. 0.01%与0.02%阿托品滴眼液对青少年近视控制效果的随机对照研究. *中华实验眼科杂志*, 2022, 40 ( 3 ): 253-259.

[40] Zadnik K, Schulman E, Flitcroft I, et al. Efficacy and safety of 0.01% and 0.02% atropine for the treatment of pediatric myopia progression over 3 years: a randomized clinical trial. *JAMA Ophthalmol*, 2023, 141 ( 10 ): 990-999.

[41] 张艳玲, 查屹, 邢丽娟, 等. 0.01%低浓度阿托品滴眼液对近视儿童调节功能和视疲劳的影响研究. *中国斜视与小儿眼科杂志*, 2021, 29 ( 3 ): 7-10.

[42] Thomson K, Karouta C, Ashby R. Form-deprivation and lens-induced myopia are similarly affected by pharmacological manipulation of the dopaminergic system in chicks. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020, 61 ( 12 ): 4.

[43] Lai L, Trier K, Cui DM. Role of 7-methylxanthine in myopia prevention and control: a mini-review. *Int J Ophthalmol*, 2023, 16 ( 6 ): 969-976.

[44] Liu H, Schaeffel F, Trier K, et al. Effects of 7-methylxanthine on deprivation myopia and retinal dopamine release in chickens. *Ophthalmic Res*, 2020, 63 ( 3 ): 347-357.

[45] Trier K, Cui DM, Ribel-Madsen S, et al. Oral administration of caffeine metabolite 7-methylxanthine is associated with slowed myopia progression in Danish children. *Br J Ophthalmol*, 2023, 107 ( 10 ): 1538-1544.

[46] Wu H, Chen W, Zhao F, et al. Scleral hypoxia is a target for myopia control. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 2018, 115 ( 30 ): E7091-E7100.

[47] Figueroa AG, Boyd BM, Christensen CA, et al. Levodopa positively affects neovascular age-related macular degeneration. *Am J Med*, 2021, 134 ( 1 ): 122-128.e3.

[48] Urban B, Bakunowicz-Łazarczyk A. Refractive surgery in myopic children. *J Clin Med*, 2024, 13 ( 15 ): 4311.

[49] 樊泽民, 刘立京, 张伟, 等. 教育部落实《综合防控儿童青少年近视实施方案》进展综述. *中国学校卫生*, 2019, 40 ( 10 ): 1449-1452.

[50] 梁明玥, 徐渴, 孙志颖, 等. 天津市中小学生视屏行为对视力不良的影响. *中国慢性病预防与控制*, 2022, 30 ( 4 ): 265-268, 272.

[51] 专家组人工智能在近视防治中的应用专家共识, 国际转化医学会眼科学专委会, 中国医药教育协会眼科影像与智能医疗分会, 等. 人工智能在近视防治中的应用专家共识 ( 2024 ). *中华实验眼科杂志*, 2024, 42 ( 8 ): 689-697.

[52] Qi ZY, Li TY, Chen J, et al. A deep learning system for myopia onset prediction and intervention effectiveness evaluation in children. *NPJ Digit Med*, 2024, 7 ( 1 ): 206.

[53] 曾国燕, 崔金鹏, 彭成江. 0.005%阿托品滴眼液联合角膜塑形镜控制青少年低度近视的可行性和民族差异性. *国际眼科杂志*, 2024, 24 ( 2 ): 315-319.