

角膜塑形镜延缓近视的作用机制研究进展

高丽丽^{1*}, 汪洋合^{1,2*}, 李若彤¹, 包宇声¹, 黄小娟¹, 岳红云¹

引用: 高丽丽, 汪洋合, 李若彤, 等. 角膜塑形镜延缓近视的作用机制研究进展. 国际眼科杂志, 2026, 26(11): 1967–1972.

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目 (No.25JRRA422); 甘肃省卫生健康委员会基金资助项目 (No.GSWSKY2024–27); 中央高校基本科研专项 (No.31920260114)

作者单位: ¹(730050) 中国甘肃省兰州市, 中国人民解放军联勤保障部队第九四〇医院眼科; ²(730030) 中国甘肃省兰州市, 西北民族大学医学部

*: 高丽丽和汪洋合对本文贡献一致。

作者简介: 高丽丽, 本科, 眼视光初级技师, 研究方向: 眼视光学、眼屈光; 汪洋合, 在读硕士研究生, 研究方向: 眼视光学、眼屈光。

通讯作者: 岳红云, 博士, 主任医师, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 眼视光学、视觉加工特征与神经机制、青光神经修复研究. yhyophthalmologist@163.com

收稿日期: 2026–05–29 修回日期: 2026–09–14

摘要

近年来, 全球近视患病率持续攀升, 近视在我国呈普遍化、低龄化、严重化趋势, 高度近视严重危害青少年眼健康。角膜塑形镜是目前临床延缓近视进展的有效手段之一, 但其确切的作用机制目前尚未完全阐明。文章围绕学界提出的多种假说, 综述了周边视网膜离焦、脉络膜厚度与血流、高阶像差、调节及生物力学等因素在角膜塑形镜近视防控中发挥的作用。其中, 角膜塑形镜通过逆几何设计使周边视网膜形成近视性离焦, 是其延缓眼轴增长的核心机制; 戴镜后脉络膜增厚、血流灌注增加, 可改善视网膜外层营养供应并抑制巩膜重塑; 球差、彗差等高阶像差增加, 可扩大景深、减少调节滞后; 调节功能的改善及角膜生物力学的改变亦协同发挥作用。各机制之间相互关联、层层递进, 共同抑制眼轴增长。文章旨在为深入理解角膜塑形镜的作用机制提供理论依据, 并为角膜塑形镜的个体化验配、镜片优化设计及后续近视防控研究提供临床参考。

关键词: 角膜塑形镜; 周边视网膜离焦; 脉络膜血流; 高阶像差; 调节; 生物力学

DOI:10.3980/j.issn.1672–5123.2026.11.17

Research progress on the mechanism of orthokeratology lenses in delaying myopia progression

Gao Lili^{1*}, Wang Yanghe^{1,2*}, Li Ruotong¹, Bao Yusheng¹, Huang Xiaojuan¹, Yue Hongyun¹

Foundation items: Natural Science Foundation of Gansu Province (No.25JRRA422); Gansu Health Commission Fund Support Project (No. GSWSKY2024–27); Fundamental Research Funds for the Central Universities (No.31920260114)

¹Department of Ophthalmology, the 940th Hospital of Joint Logistic Support Force of Chinese People's Liberation Army, Lanzhou 730050, Gansu Province, China; ²Medical Department of Northwest Minzu University, Lanzhou 730030, Gansu Province, China

* Co-first authors: Gao Lili and Wang Yanghe

Correspondence to: Yue Hongyun. Department of Ophthalmology, the 940th Hospital of Joint Logistic Support Force of Chinese People's Liberation Army, Lanzhou 730050, Gansu Province, China. yhyophthalmologist@163.com

Received: 2026–05–29 Accepted: 2026–09–14

Abstract

• In recent years, the global prevalence of myopia has continued to rise. In China, myopia shows a trend toward widespread prevalence, earlier onset, and greater severity, and high myopia poses a serious threat to adolescent ocular health. Orthokeratology is currently one of the most effective clinical interventions for slowing myopia progression, yet its exact mechanisms of action have not been fully elucidated. Focusing on the various hypotheses proposed in the literature, this review summarizes the role of peripheral retinal defocus, choroidal thickness and blood flow, higher-order aberrations, accommodation, and biomechanics in myopia control with orthokeratology lenses. Specifically, the induction of peripheral myopic defocus through the reverse-geometry design of orthokeratology lenses constitutes the core mechanism by which axial elongation is slowed. After lens wear, choroidal thickening and increased blood perfusion improve the nutritional supply to the outer retina and inhibit scleral remodeling. Increases in higher-order aberrations, such as spherical aberration and coma, expand the depth of focus and reduce accommodative lag. Improvements in accommodative function and alterations in corneal biomechanics also act synergistically. These mechanisms are interrelated and act in a cascading manner to jointly inhibit axial elongation. This review aims to provide a theoretical basis for a deeper understanding of the mechanisms of orthokeratology lenses and to offer clinical references for individualized lens fitting, optimized lens design, and future research on myopia prevention and control.

• KEYWORDS: orthokeratology lens; peripheral retinal defocus; choroidal blood flow; higher-order aberrations; accommodation; biomechanics

Citation: Gao LL, Wang YH, Li RT, et al. Research progress on the mechanism of orthokeratology lenses in delaying myopia progression. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026, 26(11): 1967–1972.

0 引言

青少年近视患病率持续攀升已成为全球重大的公共卫生问题^[1]。近视在我国呈现出普遍化、低龄化、严重化的发展趋势,预计到2050年我国青少年近视患病率将上升至84%^[2]。近视(尤其是高度近视)与多种并发症风险升高密切相关,如白内障、视网膜脱离、青光眼、脉络膜新生血管等,这些疾病严重威胁视觉健康,后期可能引发不可逆的视力损害甚至导致失明^[3]。因此,采取有效的近视防控手段降低近视患病率、延缓近视进展非常重要。

角膜塑形镜已被证实是延缓近视进展的有效干预手段^[4]。这种非手术方式通过夜间配戴逆几何设计的硬性接触镜,暂时性改变角膜形态,从而矫正屈光不正^[5]。多项研究表明,与传统框架眼镜或软性接触镜相比,角膜塑形镜不仅能改善日间裸眼视力,还能显著降低近视进展速度^[4,6]。然而,角膜塑形镜减缓近视进展的确切机制尚不明确,大部分学者认为与戴镜后形成的周边视网膜近视性离焦有关,但其他机制如脉络膜厚度与血流调控、高阶像差的改变、调节功能及生物力学等也在发挥作用。本文旨在系统梳理角膜塑形镜的相关作用机制,为角膜塑形镜在临床近视防控中的应用提供理论支撑与科学依据。

1 周边视网膜离焦

1.1 周边视网膜离焦的生理基础 近视是遗传与环境因素共同作用的结果,目前关于近视进展机制被广泛认可的理论聚焦于周边视网膜的屈光状态,即“周边视网膜离焦”^[7]。周边视网膜离焦又称“周边视网膜屈光”,指黄斑中心凹以外的周边视网膜的离焦状态或屈光状态;“离焦”即成像焦点不在视网膜上,光学焦点偏离视网膜平面的程度即光学离焦量。焦点落在视网膜前为周边近视性离焦,落在视网膜后为周边远视性离焦。

周边视网膜的离焦状态影响眼球的生长发育。Smith等^[8]研究发现,人为诱导灵长类动物形成视网膜周边远视性离焦后,实验动物的眼轴显著增长、近视度数明显加深;相反诱导周边近视性离焦后,眼轴增长受到明显抑制。另有研究表明,近视患者的周边视网膜存在相对远视性离焦,而远视与正视则无此现象^[9];在近视发病前2 a,近视高危儿童的周边远视性离焦程度就已高于正视儿童^[10]。这为周边离焦在近视控制中的应用提供了重要理论依据,也解释了传统框架眼镜矫正近视后近视仍进展的原因:框架眼镜仅矫正中心屈光不正,无法改善甚至可能加重周边远视性离焦。

1.2 角膜塑形镜的周边视网膜离焦效应 角膜塑形镜可以改变周边视网膜离焦,该效应被认为是其延缓近视进展的核心机制^[11]。现代角膜塑形镜由中央基弧(BC)、反转弧(RC)、定位弧(AC)和周边弧(PC)四部分组成。中央基弧曲率略平于角膜中央曲率,夜间配戴时可压平角膜中央区域;反转弧曲率显著陡于角膜中央曲率,镜片与角膜之间形成泪液腔;定位弧与角膜旁中央区域贴合,保证镜片配戴的稳定性;周边弧则用于引导泪液流动,减少角膜损伤^[12]。这种“中央平坦、周边陡峭”的逆几何设计,使角膜中央被压平后,中心光线可准确聚焦于视网膜黄斑中心凹,实现日间裸眼视力矫正;而角膜周边部因反转弧的作用相对陡峭,使周边光线聚焦于视网膜前方,形成持续的近视性离焦,从而起到延缓眼轴增长的作用。Charman等^[13]首次提出角膜塑形镜引起的角膜前表面重塑会改变周边屈光分布。Queirós等^[14-15]验证了该结论,

并指出视网膜偏心度在20°以内的中央区域,屈光状态向远视方向偏移;偏心度为25°时,等效球镜度数无变化;偏心度超过25°时,等效球镜度数则向近视方向偏移。尽管多焦点软性接触镜与多点离焦框架镜同样能够诱导周边近视性离焦,但二者的离焦量相对固定、分布范围较为局限;角膜塑形镜则通过重塑角膜形态形成连续梯度式离焦,作用范围更广,这是其区别于前两者的独特优势^[16-18]。

多项临床随机对照试验为角膜塑形镜通过周边视网膜离焦机制实现近视控制提供了证据支持。魏士飞等^[19]和Ni等^[20]分别对配戴角膜塑形镜的青少年进行了为期6、12 mo的随访观察,发现角膜塑形镜组的眼轴长度变化量低于框架眼镜组,其周边视网膜近视性离焦量明显高于框架眼镜组。Li等^[21]研究发现,配戴角膜塑形镜后,眼轴增长较慢组的近视性离焦量比眼轴增长较快组的近视性离焦量更大,且眼轴生长速率与偏心15°-45°、30°、45°的视网膜周边屈光度呈正相关,进一步阐明了周边离焦在近视控制中的关键作用。此外,患者瞳孔直径越大,角膜塑形镜控制近视效果越好^[22-23],其原因是更大的瞳孔能使更多光线投射至视网膜周边,从而增强角膜塑形镜诱导的周边近视性离焦效应。

综上,诱发周边视网膜产生近视性离焦是角膜塑形镜近视控制、延缓眼轴增长的主要机制。然而,临床中部分患者戴镜后即使能形成充足的周边近视性离焦,近视控制效果仍不理想,这提示角膜塑形镜疗效还受其他因素影响。研究发现,配戴年龄越小、基础近视度数越低者眼轴增长越快^[24-25];残余散光≥1.00 D会削弱离焦信号,使眼轴显著增长^[26]。当光学区直径过大或镜片偏位时,周边正屈光力环远离瞳孔中心,离焦信号减弱,控制效果也随之下降^[27]。父母双方高度近视及随访不规律、配戴不足等遗传与依从性因素,同样与眼轴快速增长密切相关^[25]。这种个体化差异为开展角膜塑形镜近视管理提供了新视角:临床应结合患者基线特征优化镜片设计,加强随访与依从性管理,并对高风险儿童及时考虑联合干预。

2 脉络膜厚度与血流灌注

2.1 角膜塑形镜对脉络膜厚度的影响 脉络膜是位于视网膜与巩膜之间的血管层,主要向视网膜外层提供氧气及营养物质,同时具有光吸收与眼内温度调节等功能。越来越多研究表明,脉络膜还通过参与眼轴生长的调控,在眼球正视化过程中发挥重要作用,对近视的发生发展具有潜在影响^[28-29]。

近视青少年配戴角膜塑形镜后脉络膜厚度显著增加,这可能是角膜塑形镜近视控制的另一重要机制^[30-32]。Kuo等^[30]比较了阿托品、角膜塑形镜与离焦软性接触镜对东亚人群脉络膜厚度的影响,结果显示角膜塑形镜组的脉络膜厚度显著大于其他两组。张丹凤等^[33]在对比配戴角膜塑形镜和单焦点框架眼镜3 mo后发现,角膜塑形镜组的脉络膜厚度明显增加,脉络膜厚度变化与眼轴变化呈负相关。Wang等^[34]研究发现,角膜塑形镜可使近视度数更高眼(较对侧眼近视至少高1.50 D)的脉络膜厚度显著增加(25±20 μm),且其变化与眼轴变化呈负相关。值得注意的是,角膜塑形镜干预后,后极部不同区域脉络膜增厚变化并不一致,而是呈现鼻颞不对称改变,即颞侧脉络膜增厚更为明显^[35]。对应于厚度变化,近视进展时脉络膜形态会向长椭圆形演变,而角膜塑形镜则可以对抗脉络

膜向长椭圆形演变的趋势^[36]。

角膜塑形镜相关的区域性脉络膜增厚被推测与戴镜后形成的周边视网膜近视性离焦有关。研究表明诱导性离焦会影响脉络膜厚度,即近视性离焦导致脉络膜增厚,进而减缓眼轴生长,而远视性离焦则产生相反的效果^[37-38]。角膜塑形镜造成鼻、颞侧脉络膜厚度的差异,一种可能的解释是颞侧脉络膜对离焦信号更为敏感^[35];另一种解释与解剖学因素有关,脉络膜血管分布本身具有非对称性,鼻侧脉络膜血管密度偏低,同时视神经从眼球鼻侧入眼,会对鼻侧脉络膜的形变产生机械约束^[39]。脉络膜增厚能够改善视网膜外层营养供应,加强视网膜对离焦信号的感知和传递能力,进而抑制巩膜重塑,延缓眼轴增长,形成“离焦-脉络膜增厚-近视控制”的正向调控循环。

2.2 角膜塑形镜与脉络膜血流灌注的关联 随着眼底血管成像技术的进步和对脉络膜关注度的提升,脉络膜血流与近视进展的相关研究成为当前近视防控领域的热点。动物实验发现,增加脉络膜血流灌注可减轻巩膜缺氧,进而抑制近视发生发展^[38];而减少血流灌注则可诱发巩膜缺氧,促使巩膜成纤维细胞向肌成纤维细胞转分化,最终诱导近视发生^[40]。临床研究表明,配戴角膜塑形镜后脉络膜血流灌注的各项指标会发生不同程度的改变,如脉络膜血管管腔面积扩大、脉络膜毛细血管密度增加等^[33,41]。这些变化与眼轴增长抑制效应之间存在密切关联,提示脉络膜血流灌注在近视进展中发挥着重要中介作用。张丹凤等^[33]研究发现,近视青少年配戴角膜塑形镜3 mo后黄斑区脉络膜毛细血管密度变化量高于对照组(角膜塑形镜组 0.02 ± 0.03 ;对照组 0.00 ± 0.02),并指出角膜塑形镜可能是通过重塑角膜形态调控脉络膜血流灌注来介导脉络膜增厚,进而延缓近视。Liu等^[41]则探讨了1 a角膜塑形镜治疗期间儿童脉络膜血管的动态变化,发现角膜塑形镜在延缓眼轴增长的同时,伴随着脉络膜血管管腔内容和基质成分的增加,且该变化在中、大血管层更为明显。

由此可见,脉络膜血流灌注增加可直接导致脉络膜增厚,改善视网膜营养供应,修复受损的视网膜功能,抑制近视相关信号的传递;同时减少视网膜代谢废物堆积,减轻视网膜氧化应激损伤,进一步保护视网膜功能,延缓近视进展。未来脉络膜血流灌注有望成为近视防控极具潜力的作用靶点,它既可作为近视发生的即时预测指标,也可作为长期观测的生物学标志物。

3 高阶像差

近年来,有研究认为角膜塑形镜能够延缓眼轴增长与其所致的高阶像差增加有关^[42-44]。高阶像差指传统球柱镜对离焦和散光进行最佳矫正后仍残留的光学像差,它会显著影响视网膜成像质量、眼的调节反应以及入射瞳孔不同区域的相对焦平面位置。动物和人类研究表明,眼生长受视觉体验的影响,视网膜成像质量下降会导致可预测的眼轴生长变化^[42]。高阶像差对于近视控制有效的原因可能为:增加的像差提供了一种视觉信号,例如降低视网膜周边对比度等,从而减缓了眼球的生长;同时,高阶像差通过增加景深和减少睫状肌调节,降低了调节过程中由睫状体和晶状体产生的机械张力,减轻了脉络膜等结构的轴向牵拉作用,从而延缓眼轴增长^[45]。

角膜塑形镜可促使角膜形成“中央平坦、周边环形陡峭”的扁椭圆形形态,这种形态能够诱导高阶像差增加,尤其是球差和彗差^[46-48]。Hiraoka等^[49]研究发现,全眼波

前像差中球差与彗差的增加均与眼轴延长呈负相关,且彗差的相关性最强($r=-0.461, P=0.0003$),其次为离焦变化($r=-0.427, P=0.001$)。孙笑笑等^[50]的研究结果显示,近视性屈光参差儿童双眼配戴角膜塑形镜后,近视度数较高眼的角膜高阶像差增加量大于对侧眼、眼轴长度增加量小于对侧眼,进一步验证了高阶像差在角膜塑形镜近视控制中发挥着重要作用。然而, Santodomingo-Rubido等^[48]研究表明,欧洲儿童配戴角膜塑形镜3、24 mo后,角膜高阶像差变化与眼轴增长之间无显著相关性。这一差异可能与各研究测量的像差层面(全眼或角膜)以及研究设计、随访时长和人群特征不同有关。

高阶像差的测量结果受多种因素的影响。球差的变化程度与角膜塑形镜的设计参数密切相关,Tang等^[51]比较了不同后表面光学区直径(BOZD)对角膜塑形镜疗效的影响,发现5 mm BOZD组相比6 mm BOZD组产生了更大的球差,同时获得了更好的近视控制效果。因此,通过优化镜片设计,主动调控球差的改变量,或将成为提高角膜塑形镜近视控制效果的新策略。镜片偏心则是影响彗差变化的重要因素,Xue等^[52]的研究发现,角膜塑形镜的偏心会导致彗差的特定变化模式,其中水平彗差的变化与镜片偏心程度显著相关($r\approx0.4, P<0.05$)。值得注意的是,一定程度的镜片偏心是临床上难以完全避免的现象,甚至会通过改变周边视网膜离焦模式而有助于近视控制。

4 调节功能

当今社会,阅读、学习、使用电子产品等长时间近距离用眼行为,已成为人们日常生活的主流方式,这些行为也被认为是导致近视发生与发展的关键因素。调节功能在近距离工作中发挥着重要作用,眼睛通过睫状肌-晶状体系统改变屈光力,使近处物体的物像准确聚焦于视网膜上,从而获得清晰视力。大量临床研究表明,调节功能异常与近视的发生及发展密切相关。配戴角膜塑形镜后,患者调节功能的相关参数会发生改变,如调节滞后降低^[53-54]、调节幅度(AMP)提高^[55]、调节灵敏度增加^[56]、正相对调节(PRA)增加^[57]、调节性集合与调节的比值(AC/A)降低^[58]等。这些变化与眼轴增长抑制率呈正相关,说明双眼调节功能的改变可能是角膜塑形镜实现近视控制的重要协同机制,配戴角膜塑形镜后调节参数变化的关键研究发现综合总结见表1。

5 生物力学

角膜塑形镜通过逆几何设计,结合眼睑压力与眼内压的动态平衡对角膜施加机械作用力,使曲率较角膜中央平坦的基弧区产生正压、曲率较角膜中央陡峭的反转弧区形成负压吸引,共同构成驱动角膜形态改变的力学来源^[59]。在机械应力作用下,角膜上皮发生可逆重塑:中央受压区上皮变薄,上皮细胞向周边迁移并代偿性堆积,形成“中央平坦、周边陡峭”的形态改变^[60]。角膜上皮厚度的再分布是角膜塑形镜屈光力改变的核心组织学基础:中央角膜曲率降低,使物体成像焦点后移至视网膜,从而矫正近视,提高裸眼视力。这一过程同时伴随角膜整体生物力学属性的变化。Lam等^[61]发现,长期配戴角膜塑形镜的患者角膜滞后量(CH)与角膜阻力因子(CRF)会显著下降,而角膜刚度保持稳定、切向模量呈上升趋势。Zhang等^[62]采用Corvis ST动态观察显示,戴镜后变形幅度比、综合半径及角膜生物力学指数等参数虽发生改变,但校正中央角膜

表 1 配戴角膜塑形镜后调节参数变化的关键研究发现

调节参数	作者(年份)	研究概要	调节参数的变化	主要结论
调节滞后	Han 等 ^[53] (2018)	比较配戴角膜塑形镜、多焦点框架镜与普通框架镜 1 a 后调节反应变化	塑形镜组与多焦点框架镜组的调节滞后量显著降低,且塑形镜组的改善效果最明显	角膜塑形镜可通过影响调节反应延缓近视进展
	Batres 等 ^[54] (2024)	评估配戴角膜塑形镜 1 a 及停戴 1 mo 后调节功能变化	戴镜期间调节滞后降低	角膜塑形镜可改变调节反应
AMP	宋艳霞等 ^[55] (2025)	探究配戴不同近视防控眼镜 1 a 后调节功能变化	塑形镜组 AMP 明显提高,周边离焦框架镜 AMP 无变化	AMP 提高与角膜塑形镜近视控制相关
调节灵敏度	Yang 等 ^[56] (2018)	探讨角膜塑形镜对近视儿童调节功能的影响	戴镜 1-6 mo 内,调节灵敏度等显著提升	调节功能改善可能是角膜塑形镜延缓眼轴增长的重要机制
PRA	谷峰等 ^[57] (2021)	观察配戴角膜塑形镜前后调节参数的变化	戴镜后 PRA 显著提高	配戴角膜塑形镜后 PRA 提高是减少调节滞后、减缓眼轴增长的核心环节
AC/A	丁磊等 ^[58] (2019)	比较配戴角膜塑形镜与框架镜前后 AC/A 变化	塑形镜组患者 AC/A 明显降低	降低高 AC/A 有助于控制近视发展

厚度与角膜曲率后组间差异多随之消失,提示上述变化主要继发于塑形所致的厚度再分布,而非角膜固有材料性质的改变。更为重要的是,基线角膜生物力学参数与近视控制效果密切相关:基线最大形变幅度(DA)与 2 a 眼轴增长显著正相关,联合年龄与基线眼轴长度可较好预测低中度近视儿童的眼轴进展^[63]。

此外,有限元分析也为角膜塑形镜的生物力学机制研究提供了重要工具。Meng 等^[64]通过 ABAQUS 全眼球有限元模型证实:角膜塑形镜的应力可经角膜传导至睫状体区域,使睫状肌-晶状体复合体前部张力升高、后部张力降低,最终引发睫状肌松弛与晶状体增厚,进而实现眼轴短期缩短(平均 0.028 mm/wk)。这与既往的临床研究结果一致^[65],并且这些形态变化在停戴角膜塑形镜后会逐渐恢复到原始状态。

6 角膜塑形镜各机制间的相互关联

角膜塑形镜的多种作用机制并非彼此独立,而是相互关联、协同发挥作用。在光学层面,角膜塑形镜重塑角膜形态时,既改变周边屈光分布诱导周边视网膜形成近视性离焦,又同步增加高阶像差。其中,球差的增加可扩大景深、降低调节需求,从而减少调节滞后^[66]。Ding 等^[67]发现,戴镜后调节滞后减小与球差增加相伴出现,停戴后二者的变化显著相关,说明高阶像差与调节功能密切相关、共同参与近视控制。同时,调节滞后的降低又减少了近距离用眼时的远视性离焦,与周边近视性离焦机制互补,进一步抑制眼轴增长^[68]。在信号传导层面,周边近视性离焦作为上游信号,可经视网膜-脉络膜通路发挥作用。近视性离焦能增加脉络膜血流与厚度,改善巩膜供氧、抑制巩膜重塑;增厚的脉络膜又反过来增强视网膜营养供应和对离焦信号的感知,形成“离焦-脉络膜增厚-巩膜抑制”的正向循环。综上所述,角膜塑形镜各作用机制之间既存在层层递进关系,又存在反馈调节,最终共同抑制眼轴生长。因此,近视控制不应局限于单一机制,而应从多机制协同的整体视角进行疗效评估与个体化干预。

7 小结

角膜塑形镜是目前临床常用且有效的近视控制方法之一,周边视网膜离焦是其延缓近视进展的核心机制。同

时,脉络膜厚度的改变及血流灌注调控、高阶像差改变、调节功能改善以及生物力学的改变等多种机制可能协同参与,共同介导近视防控作用。然而,角膜塑形镜的近视防控仍存在以下局限:(1)各作用机制之间的因果关系及相对贡献尚未完全阐明;(2)近视防控效果受瞳孔直径、光学区设计及镜片偏心等光学参数,以及配戴年龄、基础近视度数、残余散光、遗传背景、配戴依从性等个体因素的多重影响;(3)个体疗效差异目前仍缺乏确切的预测指标。因此,医师在验配时应根据患者的具体情况制定个体化方案,方能取得更理想的控制效果。此外,配戴过程中可能出现配适不良、角膜上皮损伤乃至感染等问题,规范的配戴指导与规律随访是保障长期安全使用的关键。

未来需在深入阐明作用机制的基础上,重点围绕以下几个方面展开研究:(1)依托光学相干断层扫描血管成像(OCTA)等无创影像技术,建立脉络膜厚度与血流参数的标准化生物标志物体系;(2)结合基线角膜生物力学参数与有限元模型优化镜片设计,实现角膜塑形镜的个体化定制;(3)充分利用人工智能在大数据分析 with 个性化医疗方面的优势,整合角膜地形图、屈光参数等多模态数据,推动精准验配与全流程智能化近视管理;(4)通过多中心随机对照试验评估联合低浓度阿托品、增加户外活动等策略的叠加效应,并延长随访周期以评价长期疗效、停戴反弹效应与安全性。

随着角膜塑形镜作用机制的深入研究和人工智能与多模态数据技术的应用,未来角膜塑形镜的近视防控将迈向更加精准化与个体化的新阶段,为青少年近视防控提供更加坚实的科学依据与临床支撑。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。
作者贡献声明: 高丽丽、汪洋合论文选题与修改,初稿撰写;李若彤、包宇声、黄小娟文献检索,数据分析;岳红云选题指导,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] Pan W, Morgan I, Flitcroft I, et al. The need to address the myopia pandemic: summary report of the global myopia public health summit 2024. Glob Health Res Policy, 2025,10(1):45.

- [2] 慕璟玉, 王雁, 杨依宁, 等. 近视的流行病学、病因学与发病机制研究现状. 眼科新进展, 2021,41(11):1089–1096.
- [3] Shah R, Vlasak N, Evans BJW. High myopia: Reviews of myopia control strategies and myopia complications. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2024,44(6):1248–1260.
- [4] Bullimore MA, Liu M. Efficacy of the Euclid orthokeratology lens in slowing axial elongation. *Cont Lens Anterior Eye*, 2023,46(5):101875.
- [5] Sartor L, Hunter DS, Vo ML, et al. Benefits and risks of orthokeratology treatment: a systematic review and meta-analysis. *Int Ophthalmol*, 2024,44(1):239.
- [6] Jakobsen TM, Høeg KB, Møller F. Myopia control with orthokeratology lenses. A 3-year follow-up study including a cross-over design: Clinical study of Near-sightedness; Treatment with Orthokeratology Lenses 2 (CONTROL2 study). *Acta Ophthalmol*, 2025, 103(2):186–195.
- [7] Choi KY, Leung TW, Chan HH. Size of living space as a moderator for central and peripheral refractions in children. *Sci Rep*, 2023, 13(1):10797.
- [8] Smith EL 3rd, Kee CS, Ramamirtham R, et al. Peripheral vision can influence eye growth and refractive development in infant monkeys. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2005,46(11):3965–3972.
- [9] Kang P, Swarbrick H. Peripheral refraction in myopic children wearing orthokeratology and gas-permeable lenses. *Optom Vis Sci*, 2011,88(4):476–482.
- [10] Pan CW, Ramamurthy D, Saw SM. Worldwide prevalence and risk factors for myopia. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2012,32(1):3–16.
- [11] Nti AN, Berntsen DA. Optical changes and visual performance with orthokeratology. *Clin Exp Optom*, 2020,103(1):44–54.
- [12] Swarbrick HA. Orthokeratology review and update. *Clin Exp Optom*, 2006,89(3):124–143.
- [13] Charman WN, Mountford J, Atchison DA, et al. Peripheral refraction in orthokeratology patients. *Optom Vis Sci*, 2006, 83(9):641–648.
- [14] Queirós A, González-Méijome JM, Jorge J, et al. Peripheral refraction in myopic patients after orthokeratology. *Optom Vis Sci*, 2010, 87(5):323–329.
- [15] Queirós A, Amorim-de-Sousa A, Lopes-Ferreira D, et al. Relative peripheral refraction across 4 meridians after orthokeratology and LASIK surgery. *Eye Vis (Lond)*, 2018,5:12.
- [16] Huang YY, Li X, Ding CL, et al. Comparison of peripheral refraction and higher-order aberrations between orthokeratology and multifocal soft contact lens designed with highly addition. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2022,260(5):1755–1762.
- [17] 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.
- [18] Tomiyama ES, Berntsen DA, Richdale K. Peripheral refraction with toric orthokeratology and soft toric multifocal contact lenses in myopic astigmatic eyes. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2022,63(8):10.
- [19] 魏士飞, 李仕明, 孙芸芸, 等. 配戴角膜塑形镜和框架眼镜对近视儿童周边屈光度影响的随机对照临床试验. 中华实验眼科杂志, 2017,35(10):930–935.
- [20] Ni NJ, Ma FY, Wu XM, et al. Novel application of multispectral refraction topography in the observation of myopic control effect by orthokeratology lens in adolescents. *World J Clin Cases*, 2021,9(30):8985–8998.
- [21] Li T, Chen ZY, She M, et al. Relative peripheral refraction in myopic children wearing orthokeratology lenses using a novel multispectral refraction topographer. *Clin Exp Optom*, 2023, 106(7):746–751.
- [22] Ai X, Zhang XH, Wang RX, et al. Baseline ocular biometrics in children with orthokeratology-induced axial length reduction or elongation. *BMC Ophthalmol*, 2025,25(1):498.
- [23] Guo YJ, Zhang MX, Tong YT, et al. Impact of pupil and defocus ring intersection area on retinal defocus. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2024, 44(2):472–480.
- [24] Wang BJ, Naidu RK, Qu XM. Factors related to axial length elongation and myopia progression in orthokeratology practice. *PLoS One*, 2017,12(4):e0175913.
- [25] Deng YQ, Li XW, Zhao MW, et al. Critical factors to predict efficacy of orthokeratology in inhibiting axial elongation in myopic children. *BMC Ophthalmol*, 2025,25(1):433.
- [26] Lin J, An DX, Lu Y, et al. Significant ocular residual astigmatism reduces the effect of orthokeratology lenses in controlling myopia. *Sci Rep*, 2026,16:7319.
- [27] Lin WP, Li N, Gu TP, et al. The treatment zone size and its decentration influence axial elongation in children with orthokeratology treatment. *BMC Ophthalmol*, 2021,21(1):362.
- [28] Liu YL, Wang LJ, Xu YY, et al. The influence of the choroid on the onset and development of myopia: from perspectives of choroidal thickness and blood flow. *Acta Ophthalmol*, 2021,99(7):730–738.
- [29] Chiang ST, Phillips JR, Backhouse S. Effect of retinal image defocus on the thickness of the human choroid. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2015,35(4):405–413.
- [30] Kuo HT, Tseng H, Huang YC, et al. Effects of atropine, orthokeratology lenses, defocus contact lenses, and Defocus Incorporated Multiple Segments spectacle lenses on choroidal thickness. *J Formos Med Assoc*, 2025.
- [31] Xiao J, Pan XH, Hou CT, et al. Changes in subfoveal choroidal thickness after orthokeratology in myopic children: a systematic review and meta-analysis. *Curr Eye Res*, 2024,49(7):683–690.
- [32] Zhang RP, Zhuang SQ, Zhou YM, et al. Associations between choroidal thickness and rate of axial elongation in orthokeratology lens users. *Photodiagn Photodyn Ther*, 2025,51:104450.
- [33] 张丹凤, 王平, 蔡劲锋, 等. 近视青少年配戴角膜塑形镜前后脉络膜生物参数的变化. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2024, 26(3):180–185.
- [34] Wang JL, Vincent SJ, Liu LQ, et al. Subfoveal choroidal thickness and axial length changes with orthokeratology in bilateral anisomyopia. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2025,45(5):1049–1055.
- [35] Jin WQ, Huang SH, Jiang J, et al. Short term effect of choroid thickness in the horizontal meridian detected by spectral domain optical coherence tomography in myopic children after orthokeratology. *Int J Ophthalmol*, 2018,11(6):991–996.
- [36] Xu SS, Wang MY, Lin SJ, et al. Long-term effect of orthokeratology on choroidal thickness and choroidal contour in myopic children. *Br J Ophthalmol*, 2024,108(8):1067–1074.
- [37] Read SA, Fuss JA, Vincent SJ, et al. Choroidal changes in human myopia: insights from optical coherence tomography imaging. *Clin Exp Optom*, 2019,102(3):270–285.
- [38] Zhou X, Zhang S, Zhang GY, et al. Increased choroidal blood perfusion can inhibit form deprivation myopia in guinea pigs. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020,61(13):25.
- [39] Malhotra A, Minja FJ, Crum A, et al. Ocular anatomy and cross-sectional imaging of the eye. *Semin Ultrasound CT MR*, 2011,32(1):2–13.
- [40] Zhou X, Zhang S, Yang F, et al. Decreased choroidal blood perfusion induces myopia in guinea pigs. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021,62(15):30.
- [41] Liu MQ, Huang J, Xie Z, et al. Dynamic changes of choroidal vasculature and its association with myopia control efficacy in children during 1-year orthokeratology treatment. *Cont Lens Anterior Eye*, 2025, 48(1):102314.

[42] Lau JK, Vincent SJ, Collins MJ, et al. Ocular higher - order aberrations and axial eye growth in young Hong Kong children. *Sci Rep*, 2018,8(1):6726.

[43] Lau JK, Vincent SJ, Cheung SW, et al. Higher-order aberrations and axial elongation in myopic children treated with orthokeratology. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2020,61(2):22.

[44] Kim J, Lim DH, Han SH, et al. Predictive factors associated with axial length growth and myopia progression in orthokeratology. *PLoS One*, 2019,14(6):e0218140.

[45] Hiraoka T, Kotsuka J, Kakita T, et al. Relationship between higher-order wavefront aberrations and natural progression of myopia in schoolchildren. *Sci Rep*, 2017,7(1):7876.

[46] Lian Y, Shen MX, Huang SH, et al. Corneal reshaping and wavefront aberrations during overnight orthokeratology. *Eye Contact Lens*, 2014,40(3):161-168.

[47] Berntsen DA, Barr JT, Mitchell GL. The effect of overnight contact lens corneal reshaping on higher-order aberrations and best-corrected visual acuity. *Optom Vis Sci*, 2005,82(6):490-497.

[48] Santodomingo - Rubido J, Villa - Collar C, Gilmartin B, et al. Short-and long-term changes in corneal aberrations and axial length induced by orthokeratology in children are not correlated. *Eye Contact Lens*, 2017,43(6):358-363.

[49] Hiraoka T, Kakita T, Okamoto F, et al. Influence of ocular wavefront aberrations on axial length elongation in myopic children treated with overnight orthokeratology. *Ophthalmology*, 2015,122(1):93-100.

[50] 孙笑笑, 张钰, 陈跃国. 角膜塑形镜诱导角膜高阶像差改变与控制儿童近视性屈光参差的相关性研究. *中华眼科杂志*, 2022, 58(4):250-258.

[51] Tang WT, Luo XN, Zhao WJ, et al. One-year results for myopia control of orthokeratology with different back optic zone diameters: a randomized trial using a novel multispectral -based topographer. *Int J Ophthalmol*, 2024,17(2):324-330.

[52] Xue MS, Lin ZH, Wu HR, et al. Two-dimensional peripheral refraction and higher - order wavefront aberrations induced by orthokeratology lenses decentration. *Transl Vis Sci Technol*, 2023, 12(10):8.

[53] Han XX, Xu DJ, Ge WZ, et al. A comparison of the effects of orthokeratology lens, medcall lens, and ordinary frame glasses on the accommodative response in myopic children. *Eye Contact Lens*, 2018, 44(4):268-271.

[54] Batres L, Valdes-Soria G, Romaguera M, et al. Accommodation response and spherical aberration during 1-Year of orthokeratology lens wear and after discontinuation. *Cont Lens Anterior Eye*, 2024, 47(3):102133.

[55] 宋艳霞, 赵敬聪, 杨晓格, 等. 不同近视防控眼镜配戴后对调节功能的影响分析. *中国斜视与小儿眼科杂志*, 2025, 33(3): 22-24,39.

[56] Yang Y, Wang L, Li P, et al. Accommodation function comparison following use of contact lens for orthokeratology and spectacle use in myopic children: a prospective controlled trial. *Int J Ophthalmol*, 2018, 11(7):1234-1238.

[57] 谷峰, 徐艳春, 张福生, 等. 近视青少年配戴角膜塑形镜前后调节参数变化. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2021, 23(3): 199-204.

[58] 丁磊, 张清生, 王华德, 等. 角膜塑形镜对低度近视调节幅度和调节性集合与调节比值影响. *中华眼外伤职业病眼病杂志*, 2019, 41(8):612-616.

[59] Peng EX, Chen QO, Ning GM. Corneal biomechanical response in orthokeratology: a finite element model based on squeeze - film force. *Cont Lens Anterior Eye*, 2025,49(2):102615.

[60] Sánchez - García A, Ariza MA, Büchler P, et al. Structural changes associated to orthokeratology: a systematic review. *Cont Lens Anterior Eye*, 2021,44(4):101371.

[61] Lam AKC, Hon Y, Leung SYY, et al. Association between long-term orthokeratology responses and corneal biomechanics. *Sci Rep*, 2019,9(1):12566.

[62] Zhang PP, Wu JF, Jiang J, et al. Evaluation of changes in corneal biomechanics after orthokeratology using Corvis ST. *Cont Lens Anterior Eye*, 2024,47(1):102100.

[63] Xiang KD, Chen J, Zhao WC, et al. Changes of corneal biomechanics in children using orthokeratology and their roles in predicting axial length progression - a prospective 2-year study. *Acta Ophthalmol*, 2023,101(7):755-765.

[64] Meng ZY, Yang L, Zhou P. Analysis of axial shortening induced by orthokeratology lenses and its mechanical mechanisms. *PLoS One*, 2025,20(5):e0323546.

[65] Cheung SW, Cho P. Long-term effect of orthokeratology on the anterior segment length. *Cont Lens Anterior Eye*, 2016,39(4):262-265.

[66] Hughes RP, Vincent SJ, Read SA, et al. Higher order aberrations, refractive error development and myopia control: a review. *Clin Exp Optom*, 2020,103(1):68-85.

[67] Ding CL, Chen YY, Li X, et al. The associations of accommodation and aberrations in myopia control with orthokeratology. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2022,42(2):327-334.

[68] Prousalis E, Haidich AB, Tzamalís A, et al. The role of accommodative function in myopic development: a review. *Semin Ophthalmol*, 2022,37(4):455-461.