中山大学 中山眼科中心 ZHONGSHAN OPHTHALMIC CENTER, SUN YAT-SEN UNIVERSITY

全文收录于 Lighthouse Scholar

眼科学报

官网：journal.gzzoc.org.cn



doi: 10.12419/25090101
View this article at: https://doi.org/10.12419/25090101

• 论 著 •

两种特殊光学设计框架眼镜对近视前期儿童近视控制效果的比较研究

陈丽珍[1,2,3]，孙 丽[1,2]

(1. 南方医科大学附属珠江医院, 广州 510280；2. 广州希玛林顺潮眼科医院, 广州 510060；
3. 深圳希玛林顺潮眼科医院, 深圳 518000)

文章亮点

1. 关键发现

• 非球面微透镜 (highly aspherical lenslets, HAL) 镜片的近视防控效果更好，近视发生率更低，部分患儿出现“逆转”现象。

2. 已知与发现

• 两种镜片[多区正向光学离焦 (defocus incorporated multiple segments, DIMS) 和 HAL]在已经近视的孩子中都有控制效果，但哪种更好存在争议。本研究发现在近视前期的孩子中，HAL 镜片比 DIMS 镜片的防控效果更好，尤其在延缓眼轴增长和降低近视发生率方面。

3. 意义与改变

• 近视防控的关口前移到近视前期阶段，本研究的结果为该阶段的临床决策提供了重要的循证依据。此外，部分患儿佩戴 HAL 镜片后出现眼轴缩短和屈光度回退，提示近视进展可能存在“可逆”空间，为未来探索近视逆转提供了新的研究方向。

[摘　要]　**目的：**比较多区正向光学离焦 (defocus incorporated multiple segments, DIMS) 与非球面微透镜 (highly aspherical lenslets, HAL) 镜片对近视前期儿童眼轴增长、屈光度进展及近视发生率的控制效果。**方法：**采用回顾性研究设计，纳入 2021 年 3 月—2025 年 5 月在深圳希玛林顺潮眼科医院佩戴 DIMS 或 HAL 镜片至少 12 个月的近视前期儿童 (6~14 岁)60 例 (60 眼)，按镜片类型分为 DIMS 组 (n=30) 和 HAL 组 (n=30)。收集并比较两组基线资料、眼轴年变化量、屈光度年变化量及终点近视发生率。组间比较采用 t 检验、秩和检验或 χ^2 检验；并采用多元线性回归控制混杂因素，辅以事后效能分析评估结果稳健性。**结果：**两组基线年龄、性别、眼轴及等效球镜度比较差异均无统计学意义 ($P > 0.05$)。随访后，HAL 组眼轴年增长量 (0.13 ± 0.19)mm/年低于 DIMS 组 (0.24 ± 0.14)mm/年，$P = 0.012$；多元回归分析显

收稿日期(Received): 2025-11-03; **修订日期(Revised):** 2025-12-21; **接收日期(Accepted):** 2026-02-14

通信作者(Corresponding author): 陈丽珍，Email: 5324929@qq.com

作者贡献声明: 1) 构思设计：陈丽珍，孙丽；2) 行政支持：陈丽珍；3) 提供研究材料：陈丽珍；4) 数据收集与汇总：陈丽珍，孙丽；5) 数据分析与解读：陈丽珍，孙丽；6) 稿件撰写：陈丽珍；7) 稿件最终修订与同意：所有作者

Contributions: Conception and design: CHEN Lizhen, SUN Li; Administrative support: CHEN Lizhen; Provision of study materials: CHEN Lizhen; Collection and assembly of data: CHEN Lizhen, SUN Li; Data analysis and interpretation: CHEN Lizhen, SUN Li; Manuscript writing: CHEN Lizhen; Final approval of manuscript: Both authors

电子全文

示，在控制混杂因素后，镜片类型仍是眼轴变化的独立预测因子 (B = −0.111，P = 0.016)。HAL 组近视发生率 (43.3%) 低于 DIMS 组 (70.0%，P = 0.037)。HAL 组中有 4 例 (13.3%) 出现眼轴缩短，3 例 (10.0%) 出现屈光回退，DIMS 组无此现象。两组屈光度年变化量差异有统计学意义 (P = 0.128)。**结论：**在近视前期儿童中，HAL 镜片较 DIMS 镜片能更有效延缓眼轴增长、降低近视发生率，部分患儿可出现眼轴缩短和屈光回退，提示 HAL 镜片或为近视前期儿童更具前景的光学干预选择。

[关键词] 近视前期；近视控制；多区正向光学离焦；非球面微透镜；儿童

[中图分类号] R778.1，R779.7 **[文献标志码]** A

引用本文: 陈丽珍, 孙丽. 两种特殊光学设计框架眼镜对近视前期儿童近视控制效果的比较研究[J]. 眼科学报, 2026, 41(7): 555-567. DOI: 10.12419/25090101.

Comparing the effectiveness of two types of optical defocus spectacle lens designs in controlling myopia among pre-myopic children: a retrospective study

CHEN Lizhen[1,2,3], SUN Li[1,2]

(1. Zhujiang Hospital of Southern Medical University, Guangzhou 510282, China; 2. C-MER (Guangzhou) Dennis Lam Eye Hospital, Guangzhou 510060, China; 3. C-MER (Shenzhen) Dennis Lam Eye Hospital, Shenzhen 518000, China)

Abstract **Objective**: To evaluate and compare the effectiveness of Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) lenses and Highly Aspherical Lenslets (HAL) lenses in controlling axial growth, refractive error progression, and the onset of myopia in pre-myopic children. **Methods**: This retrospective study included 60 pre-myopic children (60 eyes), aged between 6 and 14 years, who wore either DIMS or HAL lenses for a minimum of 12 months from March 2021 to May 2025. Based on the type of lenses they wore, the participants were split into two groups: the DIMS group (n = 30) and the HAL group (n = 30). We compared baseline characteristics, annual axial growth, annual change in refractive error, and the incidence of myopia at the end of follow-up period between the two groups. Appropriate statistical analyses were carried out, including independent-sample t-test, Mann-Whitney U test, or chi-square test. Multiple linear regression was used to account for potential confounding factors, and a post-hoc power analysis was performed to assess the reliability of the results. **Results**: There were no notable differences in baseline age, gender, axial length, or spherical equivalent refraction between the two groups (all $P > 0.05$). After the follow-up, the HAL group showed significantly less annual axial growth (0.13 ± 0.19 mm/year) compared to the DIMS group (0.24 ± 0.14 mm/year, P = 0.012). Multiple linear regression analysis revealed that, even after adjusting for confounding factors, the type of lens remained a significant independent predictor influencing annual axial growth (B = −0.111, P = 0.016). The incidence of myopia was also markedly lower in the HAL group (43.3%) than in the DIMS group (70.0%, P = 0.037). In the HAL group, 4 eyes (13.3%) showed axial shortening and 3 eyes (10.0%) exhibited refractive regression, while no such changes were observed in the DIMS group. There was no significant difference in the annual change in refractive error between the two groups (P = 0.128). **Conclusions**: Among pre-myopic children, HAL lenses proved to be more effective than DIMS lenses in slowing axial length growth and reducing the incidence of myopia. Some patients in the HAL group even experienced axial shortening and refractive regression, indicating that HAL lenses hold promise as a more effective optical intervention for pre-myopia.

Keywords　pre-myopia; myopia control; defocus incorporated multiple segments; highly aspherical lenslets; children

Cite this article as: CHEN Lizhen, SUN Li. Comparing the effectiveness of two types of optical defocus spectacle lens designs in controlling myopia among pre-myopic children: a retrospective study[J]. Yan Ke Xue Bao, 2026, 41(7): 555-567. DOI: 10.12419/25090101.

近视已成为全球最重要的公共卫生问题之一，尤其在东亚地区，其患病率在过去几十年中急剧上升，呈现高发病率、低龄化进展的严峻趋势。预计到 2050 年，全球将有近半数人口受到近视影响，其中高度近视患儿比例将大幅增加[1]。中国面临的压力尤为严峻。2022 年数据显示，中国儿童青少年总体近视率为 51.9%，其中在小学生中为 36.7%、在初中生中为 71.4%、在高中生中达 81.2%，高度近视比例更是高达 9.7%[2]。高度近视不仅是屈光不正，更是一种病理性眼病，其伴随的眼轴过度伸长会显著增加白内障、青光眼、视网膜脱离及黄斑病变等致盲性眼病的风险，给个人和社会带来沉重的负担[3]。

近视的发生与发展是遗传与环境因素共同作用的结果。在眼球发育过程中，持续的近距离工作等视觉行为可能导致视网膜产生错误的视觉信号，驱动眼轴代偿性过度增长，从而形成轴性近视。因此，干预的关键在于打破这一病理进程。当前近视控制的策略主要包括药物干预 (如低浓度阿托品) 和光学干预 (如角膜塑形镜、特殊设计框架眼镜、多焦点软性接触镜)[4-5]。其中，基于“近视性离焦”原理的光学干预手段[6]，因其非侵入性、易操作性和良好的安全性，日益受到临床医生、患儿及家属的青睐。

近年来，专为近视控制设计的框架眼镜技术取得了重要进展。其中，采用“微透镜”或“多区正向光学离焦”(defocus incorporated multiple segments, DIMS) 技术的镜片通过镜片上的微型透镜阵列使周边光线聚焦在视网膜前方，形成持续的近视性离焦信号，从而有效抑制眼轴增长，其有效性已得到随机对照试验的证实[7]。另一种较新的技术是“非球面微透镜”(highly aspherical lenslets, HAL) 设计，其采用非球面微透镜阵列，理论上可提供更连续、更均匀的周边离焦信号，从而可能在视网膜周边形成更稳定的近视性离焦区，进一步增强延缓眼轴生长的效果。初步研究显示，HAL 镜片在延缓儿童近视进展方面同样表现出良好效果[8]。

然而，尽管 DIMS 与 HAL 镜片在已近视儿童中的防控效果已得到较多验证，但近视防控的“关口”正在不断前移。近视前期 (通常定义为等效球镜度介于+0.75 ~ −0.50 D 之间)[9]被认为是干预的黄金窗口。在此阶段对儿童进行有效干预，延缓甚至预防其发展为真性近视，具有重大的临床意义[10]。尽管如此，当前针对这一特定人群的研究，特别是对上述两种主流光学干预技术进行直接比较的证据，仍相对匮乏。

目前，针对近视前期儿童的干预手段主要包括光学干预 (如 DIMS 镜片、HAL 镜片)、药物干预 (如低浓度阿托品) 以及重复低强度红光 (repeated low-level red light, RLRL) 疗法等。多项研究已证实，光学干预在延缓近视前期儿童眼轴增长方面具有显著效果[11-12]；低浓度阿托品也被证明可有效降低近视发生率[13-14]；而 RLRL 疗法则在短期内显示出良好的近视预防效果[15-16]。然而，该领域仍存在若干明显不足：首先，药物及 RLRL 疗法用于近视前期的效果存在争议[17-18]，其长期安全性、耐受性及停药后的反弹效应尚需更多证据。其次，在相对非侵入的光学干预范畴内，现有研究多聚焦于单一镜片的效果验证，缺乏不同光学设计在近视前期人群中的直接比较。因此，在此背景下，开展针对不同光学设计镜片的直接比较研究，具有重要的临床意义与科学价值。

因此，本研究旨在通过回顾性分析，直接比较佩戴 DIMS 镜片与 HAL 镜片的近视前期儿童在眼轴长度变化、屈光度进展及近视发生率等方面的差异，以评估二者在真实世界临床实践中的相对有效性，为临床医生在近视前期干预的方案选择上提供更具针对性的循证依据。

1　资料与方法

1.1　一般资料

本研究采用回顾性设计。对 2021 年 3 月—2025 年 5 月在深圳希玛林顺潮眼科医院就诊的近

视前期患儿进行连续筛查，通过检索医院电子病历系统，将此期间所有符合纳入与排除标准的患儿均纳入研究，最终纳入 60 例患儿 60 眼。本研究遵循《赫尔辛基宣言》原则，并获得南方医科大学珠江医院伦理委员会批准 (批件号：2025-KY-171)。由于本研究为回顾性分析，不涉及额外干预，且所有数据经过去标识化处理，伦理委员会批准豁免知情同意。

纳入标准：1) 年龄 6~14 岁；2) 等效球镜度 (spherical equivalent refraction, SER) ≤ +0.75 D 且> −0.50 D；3) 最佳矫正视力 (best corrected visual acuity, BCVA) ≥0.8；4) 佩戴 DIMS 或 HAL 框架眼镜，并且已连续佩戴至少 12 个月；5) 至少有 2 次眼轴和睫状肌麻痹电脑验光记录，间隔至少 12 个月。

排除标准：1) 入组前 3 个月和观察期间，使用除 DIMS/HAL 以外的任何近视控制的干预措施，例如阿托品滴眼液、角膜塑形镜、多焦点软性镜片、RLRL 等；2) 存在任何其他眼部疾病，如斜视、弱视、先天性白内障、青光眼、视网膜病变或其他眼部或全身异常。

患儿分组：患儿及家属在初始就诊时，结合自身意愿和实际情况所最终选择的镜片类型。佩戴 DIMS 镜片者为 DIMS 组，佩戴 HAL 镜片者为 HAL 组。

1.2 研究方法

1.2.1 眼科检查

患儿在入组前和随访时均进行完整的眼科检查，包括 BCVA、睫状肌麻痹验光、眼轴测量、裂隙灯检查和眼底检查。所有检查均由不了解本研究分组情况的资深验光师和技师完成。BCVA 采用国际标准对数视力表测量。眼轴使用光学生物测量仪 (IOLMaster700，德国蔡司) 测量，每眼重复测量 3 次取平均值。睫状肌麻痹验光使用电脑自动验光仪 (TonoRef II，日本 Nidek)。每次验光时，每只眼滴入复方托吡卡胺滴眼液 (美多丽，参天制药) 每 5 min 1 次，连续滴 3 次。最后一次滴眼 30 min 后，由经验丰富的验光师评估睫状肌麻痹的充分性。判定标准：瞳孔直径扩大至≥6 mm，并且对光反射消失。在确认达到此标准后进行验光。屈光度以等效球镜度表达，通过球镜度数加柱镜度数的 1/2 计算得出。

1.2.2 观察指标

1) 眼轴年变化量，根据基线和随访时的眼轴的差异除以随访时间计算[19]。计算方法如下：眼轴年变化量 (mm/年)=(随访眼轴 - 基线眼轴)/随访时间 (d)× 365。

2) 屈光度年变化量，根据基线和随访时的等效球镜度的差异除以随访时间计算。计算方法如下：屈光度年变化量 (D/年)=(随访屈光度 – 基线屈光度)/随访时间 (d)×365。

3) 近视发生率，即随访时 SER ≤ −0.50 D 的患儿数除以患儿总数×100%。

1.2.3 统计学分析

单眼符合入组条件，入组该眼；双眼同时符合入组条件，则入组右眼。使用 IBM SPSS Statistics 30(SPSS Inc.，Armonk，NY，USA) 分析检索到的数据。使用 Shapiro-Wilk 检验评估正态性。对于两组的基线特征，连续变量若服从正态分布，以均值 ± 标准差表示，非正态分布数据以中位数 (四分位数间距) 表示，分类变量则以频数及百分比表示。使用独立样本 t 检验对正态分布的连续变量进行比较，使用秩和检验 (Mann-Whitney U 检验) 对非正态分布的连续数据进行比较，使用 χ^2 检验对分类变量进行比较。对于随访时间与眼轴年变化量和屈光度年变化量之间的相关性，采用 Spearman 相关分析进行评估。使用多元线性回归分析，控制潜在混杂因素 (年龄、性别、随访时间、基线眼轴长度及基线等效球镜度) 对结果 (眼轴年变化量及屈光度年变化量) 的影响。使用 G*Power 3.1.9.6 进行事后效能分析以评估研究结果的稳健性。所有检验均为双侧检验，$P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患儿的基线对比

两组患儿入组时的年龄 (包括各年龄段分布)、性别、眼别、随访时间、眼轴、屈光度均无统计学意义 ($P > 0.05$)，见表 1。

2.2 两组的眼轴变化比较

使用 DIMS 镜片和 HAL 镜片超过 12 个月的患儿，眼轴平均年变化量分别为 (0.24 ± 0.14) mm 和 (0.12 ± 0.19) mm。HAL 组的眼轴增长比 DIMS 组慢，差异具有统计学意义 ($P < 0.05$)，见表 2。Spearman 相关性分析显示，随访时间与眼轴年变

表 1　两组患儿基线特征比较

Table 1　Comparison of baseline characteristics between two groups

基线特征	DIMS组(n=30)	HAL组(n=30)	统计量	P值
年龄/岁	9.75 ± 1.83	9.96 ± 1.69	t=−0.446	0.658
年龄分布[n(%)]			χ^2=0.274	0.601
< 10岁	19(63.3)	16(53.3)		
≥ 10岁	11(36.7)	14(46.7)		
性别[n(%)]			χ^2=0.287	0.592
男性	10(33.3)	12(40.0)		
女性	20(66.7)	18(60.0)		
眼别[n(%)]			χ^2=1.669	0.196
右眼	12(40.0)	17(56.7)		
左眼	18(60.0)	13(43.3)		
随访时间/年	1.43(1.05, 1.87)	1.18(1.00, 1.49)	Z=−1.760	0.078
眼轴/mm	23.78 ± 0.64	23.79 ± 0.82	t=−0.014	0.989
等效球镜/D	−0.20(−0.38, −0.04)	−0.20(−0.40, 0.18)	Z=−0.414	0.679

正态分布数据以均值 ± 标准差表示；非正态分布数据以中位数(四分位数间距)表示。

Normally distributed data are presented as mean ± standard deviation. Non-normally distributed data are presented as median (interquartile range).

化量之间均无相关性 (r_s = 0.03，P = 0.819)。多元线性回归分析显示，在控制了年龄、性别、随访时间、基线眼轴长度及基线等效球镜度后，镜片类型仍然是眼轴年变化量的显著负向预测因子 (B = −0.111，95% CI: −0.20 ~ −0.022，P = 0.016)。该回归模型的回归值 F 为 2.23，P = 0.054。模型的决定系数 (R^2) 为 0.20，调整后的决定系数 (Adjusted R^2) 为 0.11。

DIMS 组患儿眼轴年变化量在< 0.2 mm、0.2 ~ <0.4 mm(不含 0.4) 及≥ 0.4 mm 的数量分别是 12 例 (40.0%)、15 例 (50.0%) 和 3 例 (10.0%)。见 表 3。

没有患儿出现眼轴缩短的现象 (缩短超过 0.05 mm/年)。

HAL 组眼轴年变化量在< 0.2 mm、0.2 ~ <0.4 mm 及≥ 0.4 mm 的数量分别是 22 例 (73.3%)、4 例 (13.3%) 和 4 例 (13.3%)。见表 3。两组患者眼轴年变化量与基线年龄的分布关系见图 1。

其中，有 4 例 (13.3%) 患儿表现出眼轴缩短现象，缩短量分别为−0.05、−0.07、−0.10、−0.27 mm/年。相关患儿的个体数据轨迹见补充图 1。

表 2 两组眼轴及屈光度年变化量的比较

Table 2 Comparison of annual changes in axial length and refraction between two groups

参数	DIMS组	HAL组	平均值差值(95%置信区间)	*P*
眼轴年变化量/(mm/年)	0.24 ± 0.14	0.13 ± 0.19	0.11(0.03 ~ 0.20)	0.012
屈光度年变化量/(D/年)	−0.41 ± 0.34	−0.26 ± 0.41	−0.15(−0.34 ~ 0.04)	0.128

表 3 两组患儿眼轴年变化量的程度分布[*n*(%)]

Table 3 Distribution of annual axial elongation in two groups

分组	*n*	眼轴年变化量		
		< 0.2 mm/年	0.2 ~ < 0.4 mm/年	≥ 0.4 mm/年
DIMS组	30	12(40.0)	15(50.0)	3(10.0)
HAL组	30	22(73.3)	4(13.3)	4(13.3)

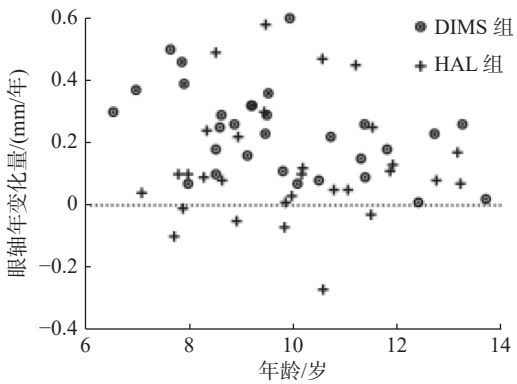


图 1 两组眼轴年变化量与基线年龄的分布

Figure 1 Distribution of annual axial elongation by baseline age in two groups

2.3 两组的屈光度变化比较

使用 DIMS 镜片和 HAL 镜片超过 12 个月的患儿，屈光度平均年变化量分别为 (−0.41 ± 0.34) D 和 (−0.26 ± 0.41) D。两组的屈光度变化差异无统计学意义 ($P > 0.05$)，见表 2。Spearman 相关性分析显示，随访时间与屈光度变化量之间均无相关性 ($r_s = 0.05$，$P = 0.967$)。

DIMS 组患儿屈光度年变化量在 > −0.25 D、> −0.75 ~ −0.25 D(不含−0.75 D) 及 ≤ −0.75 D 的数量分别是 11 例 (36.7%)、15 例 (50.0%) 和 4 例 (13.3%)，见表 4。

无患儿出现屈光回退 (屈光度年变化量 ≥ + 0.25 D) 的现象。

HAL 组患儿屈光度年变化量> −0.25 D、> −0.75 ~ −0.25 D 及 ≤ −0.75 D 的数量分别是 15 例 (50.0%)、11 例 (36.7%) 和 4 例 (13.3%)，见表 4。两组患儿屈光度年变化量与基线年龄的分布关系见图 2。

有 3 名 (10%) 患儿出现屈光回退的现象，回退量分别为+0.27、+0.36 及+0.63 D/年。相关患儿的个体数据轨迹见补充图 1。

2.4 两组近视发生率的比较

经过不少于 12 个月的随访，DIMS 组有 21 例 (70.0%) 患儿发展成为近视 (SER ≤ −0.5 D)，HAL 组有 13 例 (43.3%) 患儿发展成为近视，两组比较差异有统计学意义 ($P = 0.037$)。

3 讨论

本研究通过回顾性分析，对比了佩戴 DIMS 镜片与 HAL 镜片对近视前期儿童在眼轴增长、屈光度变化及近视发生率方面的治疗效果。主要研究结果显示，在不少于 12 个月的随访期内，HAL 组在延缓眼轴增长和控制近视发生率方面表现出优于 DIMS 组的优势，且部分患儿甚至出现了眼轴缩短和屈光回退的现象。

表 4　两组患儿屈光度年变化量的程度分布

Table 4　Distribution of annual SER progression in two groups

分组	*n*	屈光度年变化量[*n*(%)]		
		> −0.25 D/年	≤ −0.25 D且 > −0.75 D/年	≤ −0.75 D/年
DIMS组	30	11(36.7)	15(50.0)	4(13.3)
HAL组	30	15(50.0)	11(36.7)	4(13.3)

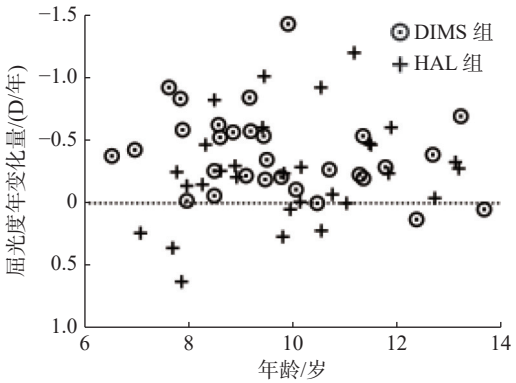


图 2　两组屈光度年变化量与基线年龄的分布

Figure 2　Distribution of annual SER progression by baseline age in two groups

3.1　主要发现解读: HAL 镜片展现出优势

本研究最重要的发现是 HAL 镜片在控制眼轴增长方面优于 DIMS 镜片。HAL 组的眼轴年增长量(0.13±0.19)mm/年，低于DIMS 组(0.24±0.14)mm/年(P = 0.012)。这一生物学指标上的差异直接转化为临床终点事件的差异：HAL 组的近视发生率(43.3%) 低于 DIMS 组 (70.0%)(P = 0.037)。这一结果有力提示，在近视前期这一关键窗口期进行干预，HAL 镜片可能比 DIMS 镜片提供更强的近视防控效力。

尤为值得注意的是，HAL 组中有 4 例 (13.3%) 患儿出现了眼轴缩短 (最大缩短量达 0.27 mm/年)，同时有 3 例 (10.0%) 患儿出现了屈光回退 (最大回退量达 0.63 D/年)。而在 DIMS 组中未观察到此类现象。Chun 等[20]的真实世界研究也报道了类似现象，约有 2.7%(13 例) 的 DIMS 佩戴者在超过 2 年的佩戴后出现了具有临床意义的眼轴缩短，即总变化为 (−0.13 ± 0.07)mm。相比之下，本研究在更短的随访期内，在 HAL 组中观察到更高比例的眼轴缩短，提示其光学设计可能在诱导“逆转”趋势方面更具潜力，其机制可能与 HAL 所提供的近视性离焦信号更强或更持续有关，但具体机制及效应的长期稳定性仍需进一步验证。

针对上述眼轴缩短与屈光回退现象，其潜在机制可从多角度进行探讨。首先，尽管本研究采用高重复性的 IOLMaster 700 进行眼轴测量，系统误差导致整体“缩短”的可能性较低，但仍不能完全排除个别测量的随机波动。其次，多项研究提示，光学干预可能引起脉络膜短期内增厚[21]，从而暂时性地影响眼轴测量值。例如，Bao 等[8]在 HAL 镜片研究中亦观察到脉络膜厚度增加。此外，杨叶等[22]发现儿童脉络膜血管指数的日节律幅度与屈光进展相关，提示眼轴及脉络膜状态存在生理性波动，不同时间点的测量可能捕捉到暂时性“缩短”。最后，HAL 镜片所提供的强化离焦信号可能通过调控脉络膜-巩膜信号通路，在眼球仍具有较高可塑性的近视前期阶段，诱导短期内的结构性回退[20]。综上，眼轴缩短可能是测量波动、生理节律与真实结构变化共同作用的结果。未来需结合更长期的随访、固定时间点的密集测量以及多模态影像指标 (如脉络膜厚度与血管指数)，进一步明确此类现象的稳定性与临床意义。

3.2　与既往研究的比较与分析: DIMS 镜片与 HAL 镜片

本研究发现在近视前期儿童中，HAL 镜片在延缓眼轴增长方面优于 DIMS 镜片，这一结论与近年来多项直接比较两种技术的真实世界研究及部分临床试验结果既存在一致性，也存在需深入探讨的差异。Guo 等[19]发表的一项大型回顾性队列研究 (n=257) 结果与本研究发现高度吻合，该研究报道 HAL 镜片使用者的年化眼轴增长 (0.17 mm) 低于 DIMS 使用者 (0.28 mm)，差异达 0.11 mm，同时屈光度进展也更慢 (−0.34 D *vs.* −0.63 D)，表明 HAL 在控制近视进展方面具有优势。然而，

Lembo 等[23]在欧洲儿童中进行的一项为期 2 年的回顾性研究则得出了不同的结论，该研究发现 DIMS 与 HAL 镜片在延缓屈光度进展 (2 年等效球镜度变化：−0.50 D *vs.* −0.63 D) 和眼轴增长 (0.29 mm *vs.* 0.32 mm) 方面比较差异无统计学意义，表明两种技术在特定人群中的疗效可能等效。这种差异可能源于研究人群的种族特性 (亚洲与欧洲)、基线特征或研究设计的不同。

值得注意的是，Gupta 等[24]发表的一项双盲随机对照试验，该研究将 DIMS 和 HAL 镜片进行直接比较，发现 1 年后 HAL 与 DIMS 在控制屈光度进展 (分别减少 0.36 D/年和 0.38 D/年) 和眼轴增长 (0.19 mm *vs.* 0.20 mm) 方面效果相当，两者间差异无统计学意义。这一结果提示，在严格控制的随机对照试验条件下，两种主流技术可能展现出相似的总体疗效。此外，多项真实世界研究[25-26]均一致证实，无论是 DIMS 还是 HAL 镜片，其控制效果均显著优于单光镜片，但二者之间的差异可能较小且在临床意义上不显著。Najji 等[26]基于法国近视队列的大样本真实世界研究甚至发现，HAL 组的近视进展略低于 DIMS 组 (差异 0.14 D)，但研究者认为该差异虽具有统计学意义，但临床意义有限。

综上所述，关于 DIMS 与 HAL 两种技术的优劣比较，当前证据尚存争议，可能受研究设计、人群特征、随访时间等因素影响。本研究在近视前期儿童中观察到 HAL 的优势，为这一领域的知识体系增添了重要证据，尤其提示了在近视预防阶段，HAL 技术可能具有独特价值。未来需要更多设计严谨、长期随访的多中心随机对照试验研究，以最终明确两种技术在不同人群和应用场景中的相对定位。

3.3 与既往研究的比较与分析：防控镜片在非近视患儿中的应用

本研究结果与近年来关于 HAL 技术在近视前期及非近视儿童中应用的多项研究结论高度吻合，进一步证实了该类光学干预措施在延缓眼轴增长方面的显著效果。Wang 等[11]的回顾性研究显示，佩戴平光 HAL 镜片的非近视儿童年化眼轴增长量从干预前的+0.44 mm/年显著降低至+0.13 mm/年，与本研究中 HAL 组观察到的 0.13 mm/年的眼轴年增长量极为接近，共同印证了 HAL 技术在近视前期干预中的巨大潜力。值得注意的是，Sun 等[12]的前瞻性队列研究不仅报告了 HAL 镜片在近视前期儿童中具有显著控制效果 (AL 增长：0.16 mm *vs* 0.30 mm)，还发现其效果在佩戴后的前 3 个月内最为显著，这为临床实践中早期评估干预效果提供了重要时间参考。

本研究发现的 HAL 镜片效果优于 DIMS 镜片的趋势，为近视前期干预策略的选择提供了新的循证依据。值得注意的是，Zhang 等[27]针对低度远视儿童的随机对照试验表明，HAL 镜片的效果与佩戴时间存在明显的剂量-效应关系 (每周佩戴超过 30 h 组效果显著)，强调了足量佩戴对于实现最佳防控效果的关键作用。然而，该研究在低度远视人群中未发现 HAL 与单光镜片在屈光度的年变化量上存在显著差异，这与本研究以及 Sun 等[12]的研究在近视前期人群中的发现有所不同，提示 HAL 的疗效可能因儿童的初始屈光状态 (远视、正视、近视前期) 而异，其背后的机制值得深入探究。

此外，近年多项研究计划[28-29]均致力于探索在学龄前儿童中通过光学 (如 DIMS) 或药物 (低浓度阿托品) 干预预防近视的可行性，这反映了近视防控“关口前移”至近视前期乃至非近视儿童已成为国际共识。本研究与此类前沿探索方向一致，共同构成了一个完整的证据链：即对于尚未发生近视但存在风险的儿童，主动进行光学干预是一种有效且可行的策略。综上所述，本研究与近期多项高质量研究共同表明，HAL 技术作为一种非侵入性的光学干预手段，在近视前期儿童中展现出显著且一致的延缓眼轴增长效果，为其在近视预防领域的临床应用提供了强有力的支持。

3.4 眼轴与屈光度结果的不完全一致性

一个值得注意的发现是，尽管两组在眼轴变化上存在显著差异，但屈光度的年变化量却无统计学差异 (P = 0.128)。这种不一致性在近视研究中并非个例[30]。可能的原因：1) 测量误差：睫状肌麻痹验光虽为标准方法，但仍可能存在细微的测量误差，尤其是在儿童配合度方面。眼轴长度由 IOL Master 测量，其精确度可达微米级，受主观影响更小，通常被视为更客观、敏感的指标[31]。2) 晶状体的代偿作用：儿童眼轴增长的同时，晶状体的屈光力会通过“代偿性变薄”来部分抵消轴

性近视的进展[32]。这种代偿效应在个体间存在差异，可能导致眼轴变化与屈光度变化不完全同步。HAL 镜片可能通过更强的离焦信号，更有效地抑制了眼轴的增长，但晶状体的代偿性变化可能“掩盖”了这部分优势在屈光度上的完全体现。

3.5　研究的创新性、重要性及展望

本研究的核心创新在于率先于近视前期这一关键防控窗口，对目前两种主流的离焦型框架眼镜技术 DIMS 与 HAL 进行了直接比较。尽管已有研究多聚焦于已发生近视的儿童[19, 23, 24]，其结论仍存争议；另亦有研究关注 HAL 在非近视儿童中的预防作用[11-12]，或有试验计划探讨 DIMS 用于学龄前儿童[28]，但迄今仍缺乏在近视前期人群中直接对比这两种镜片防控效果的研究。本研究填补了这一空白，明确显示在近视前期儿童中，HAL 镜片在延缓眼轴增长和降低近视发生率方面显著优于 DIMS 镜片。

该发现具有重要的临床与公共卫生意义。它不仅提示在近视防控“关口前移”的过程中，光学干预策略应趋于精细化，也表明 HAL 技术可能为近视前期儿童提供更优的干预选择，从而更有效推迟或预防近视发病。部分参与者中观察到的眼轴缩短和屈光回退现象，进一步为近视可逆性干预提供了新的探索线索。

基于以上结果，本研究为近视前期儿童的临床管理提供了循证依据。下一步应推进前瞻性随机对照试验，验证 HAL 与 DIMS 的因果效应，并开展其与低浓度阿托品、RLRL 等疗法的综合比较；同时延长随访时间，评估长期疗效、安全性及“逆转”现象的稳定性；深入机制研究，整合周边屈光[33]与脉络膜厚度[21]等指标，揭示 HAL 光学设计的优势机制；最终建立基于生物标志物或临床特征的预测模型，推动近视前期干预向精准化、个体化方向发展。

3.6　研究的局限性

本研究存在若干局限性。首先，尽管本研究采用了连续入组的方式以最大程度减少选择偏倚，但回顾性设计本身仍无法完全避免信息偏倚 (如病历记录不完整或不规范)。其次，样本量较小 (每组 30 眼)，统计效能约为 69.7%，略低于通常认可的 80% 标准，可能影响对细微差异的检测能力；同时，受试者年龄跨度较大 (6~14 岁)，尽管基线年龄分布无显著差异，但不同年龄段儿童的用眼模式与近视自然进展速度存在差异，本研究未能进行年龄分层分析，未来需更大样本以验证结论在各年龄亚组中的普适性。第三，未能客观监测并记录患儿的镜片每日佩戴时间，而佩戴依从性可能是影响离焦镜片控制效果的关键因素之一，若两组镜片佩戴时间存在差异，则可能对结果解释造成偏倚。第四，随访时间不完全一致 (虽差异无统计学意义)，可能对年化指标的计算引入轻微误差。最后，镜片的选择并非随机化，尽管两组基线特征无差异，但可能存在未知的混杂因素。

综上所述，本研究表明在近视前期儿童中，佩戴 HAL 镜片在延缓眼轴增长及降低近视发生率方面优于 DIMS 镜片，展现出更强的近视控制效力。尤为值得关注的是，部分佩戴 HAL 镜片的受试者出现了眼轴缩短与屈光回退的现象，这为近视防控提供了新的启示。尽管两种镜片在延缓屈光度进展方面的差异未达到统计学意义，但更为客观精确的眼轴测量结果明确了 HAL 镜片的优势。综上所述，对于处于近视前期的儿童，HAL 镜片可能是一种更具前景的光学干预选择。鉴于本研究的样本量限制，这一结论的稳健性尚待更大样本的研究进一步验证。

声明

在本作品的准备过程中，作者使用了 DeepSeek 进行文字润色。使用此工具后，作者根据需要对内容进行了审查和编辑，并对出版物的内容承担全部责任。

利益冲突　所有作者均声明不存在利益冲突。

开放获取声明

本文适用于知识共享许可协议 (Creative Commons)，允许第三方用户按照署名 (BY)-非商业性使用 (NC)-禁止演绎 (ND)(CC BY-NC-ND) 的方式共享，即允许第三方对本刊发表的文章进行复制、发行、展览、表演、放映、广播或通过信息网络向公众传播，但在这些过程中必须保留作者署名、仅限于非商业性目的、不得进行演绎创作。

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[J]. Ophthalmology, 2016, 123(5): 1036-1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.
2. 中国中西医结合学会, 中华中医药学会, 中华医学会. 儿童青少年近视中西医结合诊疗指南[J]. 中华眼科杂志, 2024, 60(1): 13-34. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20231025-00184.
   Chinese Association of Integration Medicine, China Association of Chinese Medicine, Chinese Medical Association. Guide to diagnosis and treatment of myopia in children and adolescents with integrated traditional Chinese and western medicine[J]. Chin J Ophthalmol, 2024, 60(1): 13-34. DOI: 10.3760/cma.j.cn112142-20231025-00184.
3. 中华医学会眼科学分会眼视光学组, 中国医师协会眼科医师分会眼视光专业委员会, 中国非公立医疗机构协会眼科专业委员会视光学组, 等. 近视管理白皮书 (2022)[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2022, 24(9): 641-648. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20220812-00321.
   Optometry Group of Ophthalmology Branch of Chinese Medical Association, Ophthalmology and Optometry Committee of Ophthalmologist Association of Chinese Doctor Association, Ophthalmology and Optometry Group of Ophthalmologic Committee of Chinese Non-Government Medical Institutions Association, et al. Expert Consensus on Myopia Management White Paper (2022)[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2022, 24(9): 641-648. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20220812-00321.
4. Zhang G, Jiang J, Qu C. Myopia prevention and control in children: a systematic review and network meta-analysis[J]. Eye, 2023, 37(16): 3461-3469. DOI: 10.1038/s41433-023-02534-8.
5. 中华医学会眼科学分会眼视光学组, 中国医师协会眼科医师分会眼视光专业委员会, 中国非公立医疗机构协会眼科专业委员会视光学组. 近视管理白皮书 (2025)[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志 (中英文), 2025, 27(7): 481-489. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20250401-00110.
   Optometry Group of Ophthalmology Branch of Chinese Medical Association, Ophthalmology and Optometry Committee of Ophthalmologist Association of Chinese Doctor Association, Ophthalmology and Optometry Group of Ophthalmologic Committee of Chinese Non-Government Medical Institutions Association. Expert Consensus on Myopia Management White Paper (2025)[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2025, 27(7): 481-489. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20250401-00110.
6. 陈浩曦, 申笛, 才俊, 等. 周边离焦设计框架眼镜在近视防控中的进展[J]. 国际眼科杂志, 2024, 24(8): 1275-1279. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.8.18.
   Chen HX, Shen D, Cai J, et al. Progress of peripheral defocus design framework eyeglasses in myopia control[J]. Int Eye Sci, 2024, 24(8): 1275-1279. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.8.18.
7. Lam CSY, Tang WC, Tse DY, et al. Defocus Incorporated Multiple Segments (DIMS) spectacle lenses slow myopia progression: a 2-year randomised clinical trial[J]. Br J Ophthalmol, 2020, 104(3): 363-368. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2018-313739.
8. Bao J, Yang A, Huang Y, et al. One-year myopia control efficacy of spectacle lenses with aspherical lenslets[J]. Br J Ophthalmol, 2022, 106(8): 1171-1176. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2020-318367.
9. Flitcroft DI, He M, Jonas JB, et al. IMI–defining and classifying myopia: a proposed set of standards for clinical and epidemiologic studies[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2019, 60(3): M20. DOI: 10.1167/iovs.18-25957.
10. Chen Y, Tan C, Foo LL, et al. Development and validation of a model to predict who will develop myopia in the following year as a criterion to define premyopia[J]. Asia Pac J Ophthalmol, 2023, 12(1): 38-43. DOI: 10.1097/APO.0000000000000591.
11. Wang L, Wong YL, Drobe B, et al. Effectiveness of spectacle lenses with highly aspherical lenslets in slowing axial elongation among non-myopic children[J]. Clin Exp Optom, 2025: 1-7. DOI: 10.1080/08164622.2025.2502527.
12. Sun A, Li X, Zhu P, et al. Real-world efficacy of Plano lenses with highly aspherical lenslets in children with pre-myopia: a prospective cohort study[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2025, 45(6): 1468-1474. DOI: 10.1111/opo.13535.
13. 于世傲, 吕勇, 王卫群, 等. 0.01% 阿托品滴眼液预防儿童近视发生的随机双盲对照试验[J]. 中华实验眼科杂志, 2022, 40(6): 533-540. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20210821-00470.
   Yu SA, Lyu Y, Wang WQ, et al. Effects of 0.01% atropine eye drops on the prevention of myopia onset among schoolchildren: A randomized, double-blind, controlled trial[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2022, 40(6): 533-540. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20210821-00470.
14. Lee SH, Tseng BY, Wang JH, et al. Efficacy and safety of low-dose atropine on myopia prevention in premyopic children: systematic review and meta-analysis[J]. J Clin Med, 2024, 13(5): 1506. DOI: 10.3390/jcm13051506.
15. Liu G, Rong H, Liu Y, et al. Effectiveness of repeated low-level red

light in myopia prevention and myopia control[J]. Br J Ophthalmol, 2024, 108(9): 1299-1305. DOI: 10.1136/bjo-2023-324260.

16. He X, Wang J, Zhu Z, et al. Effect of repeated low-level red light on myopia prevention among children in China with premyopia: a randomized clinical trial[J]. JAMA Netw Open, 2023, 6(4): e239612. DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2023.9612.

17. 《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)[J]. 中华实验眼科杂志, 2022, 40(7): 599-603. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20220616-00279.
Expert workgroup of expert consensus on repeated low-level red-light as an alternative treatment for childhood myopia (2022). Expert consensus on repeated low-level red-light as an alternative treatment for childhood myopia (2022)[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2022, 40(7): 599-603. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20220616-00279.

18. 中华医学会眼科学分会眼视光学组, 中国医师协会眼科医师分会眼视光专业委员会. 低浓度阿托品滴眼液在儿童青少年近视防控中的应用专家共识 (2024)[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2024, 26(9): 641-648. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20240802-00262.
Optometry Group of Ophthalmology Branch of Chinese Medical Association, Ophthalmology and Optometry Committee of Ophthalmologist Association of Chinese Doctor Association. Expert Consensus on Application of Low-Concentration Atropine Eye Drops in the Prevention and Control of Myopia in Children and Adolescents (2024)[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2024, 26(9): 641-648. DOI: 10.3760/cma.j.cn115909-20240802-00262.

19. Guo H, Li X, Zhang X, et al. Comparing the effects of highly aspherical lenslets versus defocus incorporated multiple segment spectacle lenses on myopia control[J]. Sci Rep, 2023, 13(1): 3048. DOI: 10.1038/s41598-023-30157-2.

20. Chun RKM, Wong KYQ, Lam CSY, et al. Real-world outcomes of Defocus Incorporated Multiple Segments lenses on retarding axial elongation in myopic children and adolescents[J]. Front Med, 2025, 11: 1416286. DOI: 10.3389/fmed.2024.1416286.

21. 张尚珠, 王佳薇, 席瑞洁, 等. 不同近视防控手段对脉络膜影响的研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2025, 25(1): 70-75. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.1.13.
Zhang SZ, Wang JW, Xi RJ, et al. Research progress on the effects of different myopia prevention and control methods on choroid[J]. Int Eye Sci, 2025, 25(1): 70-75. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.1.13.

22. 杨叶, 林志阳, 周子微, 等. 儿童脉络膜血管指数日节律幅度与等效球镜度数及眼轴变化的相关性研究[J]. 国际眼科杂志, 2025, 25(5): 858-862. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.5.30.
Yang Y, Lin ZY, Zhou ZW, et al. Association between the diurnal rhythm amplitude of choroidal blood flow index and the progression of spherical equivalent and axial length in children[J]. Int Eye Sci, 2025, 25(5): 858-862. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.5.30.

23. Lembo A, Schiavetti I, Serafino M, et al. Comparison of the performance of myopia control in European children and adolescents with defocus incorporated multiple segments (DIMS) and highly aspherical lenslets (HAL) spectacles[J]. BMJ Paediatr Open, 2024, 8(1): e003187. DOI: 10.1136/bmjpo-2024-003187.

24. Gupta V, Saxena R, Dhiman R, et al. Comparative evaluation of different (peripheral defocus based) spectacle designs in preventing myopia progression: a double-blinded randomised clinical trial[J]. Ophthalmic Physiol Opt, 2025, 45(6): 1505-1511. DOI: 10.1111/opo.13548.

25. Yang B, Liu L, Cho P. Effectiveness of orthokeratology and myopia control spectacles in a real-world setting in China[J]. Cont Lens Anterior Eye, 2024, 47(3): 102167. DOI: 10.1016/j.clae.2024.102167.

26. Najji R, Bullimore M, Resnikoff S, et al. The real-world effectiveness of defocus incorporated multiple segments and highly aspherical lenslets on myopia control: a longitudinal study from the French myopia cohort[J]. BMJ Open Ophthalmol, 2025, 10(1): e002142. DOI: 10.1136/bmjophth-2025-002142.

27. Zhang Z, Zeng L, Gu D, et al. Spectacle lenses with highly aspherical lenslets for slowing axial elongation and refractive change in low-hyperopic Chinese children: a randomized controlled trial[J]. Am J Ophthalmol, 2025, 269: 60-68. DOI: 10.1016/j.ajo.2024.08.020.

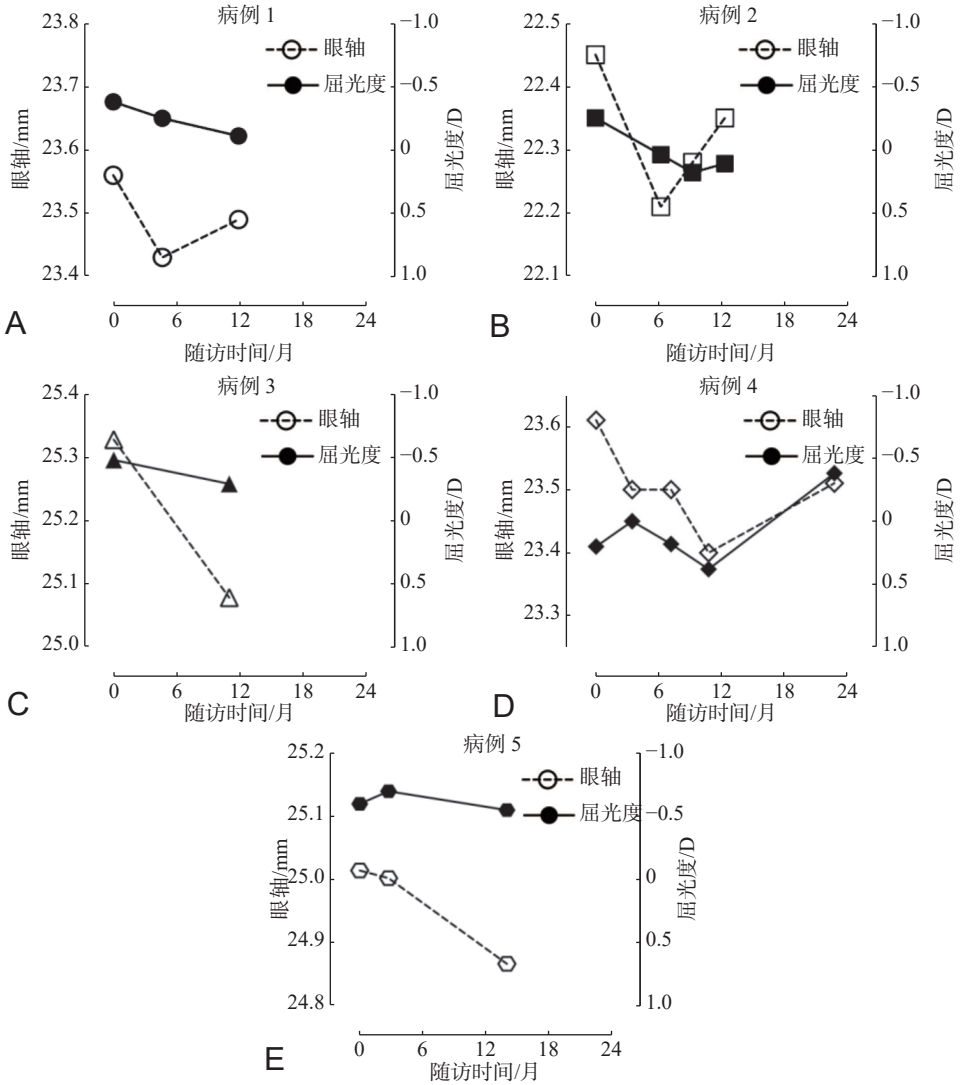
28. Yang HY, Tsai DC, Yang YC, et al. Efficacy of defocus incorporated multiple segments (DIMS) lenses and low-dose atropine on retarding myopic shift among premyopic preschoolers: Protocol for a prospective, multicenter, randomized controlled trial[J]. PLoS One, 2024, 19(12): e0312935. DOI: 10.1371/journal.pone.0312935.

29. Shen L, He W, Yang W, et al. Effect of wearing peripheral focus-out glasses on emmetropization in Chinese children aged 6-8 years: study protocol for a 2-year randomized controlled

intervention trial[J]. Trials, 2023, 24(1): 746. DOI: 10.1186/s13063-023-07799-8.

30. 陈琛, 杨砚亭, 刘光明, 等. 不同光学离焦镜片控制儿童近视进展的临床效果分析[J]. 南通大学学报 (医学版), 2024, 44(6): 544-546,565. DOI: 10.16424/j.cnki.cn32-1807/r.2024.06.009.
Chen C, Yang YT, Liu GM, et al. Clinical effect analysis of different optical defocus lenses in controlling myopia progression in children[J]. J Nantong Univ (Med Sci), 2024, 44(6): 544-546,565. DOI: 10.16424/j.cnki.cn32-1807/r.2024.06.009.
31. Santodomingo-Rubido J, Mallen EAH, Gilmartin B, et al. A new non-contact optical device for ocular biometry[J]. Br J Ophthalmol, 2002, 86(4): 458-462. DOI: 10.1136/bjo.86.4.458.
32. Mutti DO, Jordan LA, Zadnik K. Predicting the onset of myopia in children: results from the CLEERE study[J]. BMC Ophthalmol, 2021, 21(1): 279. DOI: 10.1186/s12886-021-02036-9.
33. 朱杰, 李涛. 周边屈光度在儿童青少年近视发生发展中的作用研究进展[J]. 中国眼耳鼻喉科杂志, 2024, 24(3): 220-223. DOI: 10.14166/j.issn.1671-2420.2024.03.013.
Zhu J, Li T. Advance in effect of peripheral refraction on the development and progression of myopia in children[J]. Chin J Ophthalmol Otorhinolaryngol, 2024, 24(3): 220-223. DOI: 10.14166/j.issn.1671-2420.2024.03.013.

(责任编委: 王丽丽; 编辑: 殷秋霞)



补充图 1　HAL 组中出现眼轴缩短及屈光回退的 5 例患儿的个体数据轨迹

Supplementary Figure 1　Individual data trajectories of the 5 patients exhibiting axial shortening and refractive regression in the HAL group

本图展示了 HAL 组中 5 例出现眼轴缩短和 (或) 屈光回退现象的近视前期儿童的个体数据轨迹。图中分别呈现了每例患儿 (病例 1~5) 的基线及随访终点 (或含随访期间) 的眼轴长度与等效球镜度变化情况。具体数据：A. 病例 1，女性，9.8 岁，HAL 组，眼轴年变化量−0.07 mm/年；屈光度年变化量+0.27 D/年；B. 病例 2，女性，7.7 岁，HAL 组。眼轴年变化量−0.10 mm/年；屈光度年变化量+0.36 D/年；C. 病例 3，男性，10.6 岁，HAL 组，眼轴年变化量−0.27 mm/年；屈光度年变化量+0.22 D/年；D. 病例 4，女性，8.9 岁，HAL 组，眼轴年变化量−0.05 mm/年；屈光度年变化量−0.30 D/年；E. 病例 5，男性，7.9 岁，HAL 组，眼轴年变化量−0.01 mm/年；屈光度年变化量+0.63 D/年。

This figure shows the individual data trajectories of the 5 pre-myopic children in the HAL group who exhibited axial shortening and/or refractive regression. For each patient (Case 1-5), the figure presents the changes in AL and SER from baseline to the final follow-up visit (including intermediate follow-ups where available). Detailed data are as follows: (A) Case 1, female, 9.8 years old, HAL group, annual axial elongation: −0.07 mm/year; annual refractive change: +0.27 D/year. (B) Case 2, female, 7.7 years old, HAL group, annual axial elongation: −0.10 mm/year; annual refractive change: +0.36 D/year. (C) Case 3, male, 10.6 years old, HAL group, annual axial elongation: −0.27 mm/year; annual refractive change: +0.22 D/year. (D) Case 4, female, 8.9 years old, HAL group, annual axial elongation: −0.05 mm/year; annual refractive change: −0.30 D/year. (E) Case 5, male, 7.9 years old, HAL group, annual axial elongation: −0.01 mm/year; annual refractive change: +0.63 D/year.