

基于群体轨迹建模的上海市3~16岁儿童青少年眼轴生长影响因素研究

王玉林[△] 薛锦花 张 怡 龚定宏

(上海市浦东新区沪东社区卫生服务中心 上海 200129)

【摘要】 目的 基于群体轨迹模型(group-based trajectory model, GBTM)探讨上海市3~16岁儿童青少年眼轴生长轨迹的异质性及其影响因素。方法 通过整群抽样纳入2013—2023年上海市城区与城郊地区1 285名3~16岁儿童青少年的3次及以上眼轴测量数据,分析眼轴、等效球镜、裸眼视力、角膜曲率等指标。随后,通过构建GBTM,依据赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)、贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC)、熵值及亚组占比筛选最优分组,并比较组间差异。结果 根据轨迹模型将儿童青少年眼轴生长轨迹分为4个亚组:轻度型(10.3%)、稳定型(12.4%)、渐进型(22.6%)和快速进展型(54.8%)。快速进展型儿童青少年眼轴增速显著,且男孩占比更高(58.38% vs 41.62%, $P=0.001$),裸眼视力(4.16 ± 0.33)及等效球镜[(-4.85 ± 2.23) D]均显著劣于其他组($P<0.001$);稳定型组垂直曲率[H: (43.04 ± 1.11) D, V: (44.67 ± 1.34) D]显著高于快速进展型[H: (41.59 ± 1.36) D, V: (43.23 ± 1.61) D]。结论 上海市3~16岁儿童青少年半数以上眼轴生长呈快速增长趋势,性别与角膜曲率是重要影响因素。

【关键词】 群体轨迹建模; 眼轴长度; 视力; 儿童青少年; 近视防控

【中图分类号】 R778.1 **【文献标志码】** A **doi:** 10.3969/j.issn.1672-8467.2026.04.012

Factors influencing axial growth of eyes among children and adolescents aged 3–16 in Shanghai based on population trajectory modeling

WANG Yu-lin[△], XUE Jin-hua, ZHANG Yi, GONG Ding-hong

(Hudong Community Health Service Center, Pudong New Area, Shanghai 200129, China)

【Abstract】 Objective To investigate the heterogeneity of ocular axial length growth trajectories and its influencing factors among children and adolescents aged 3–16 in Shanghai, based on the group-based trajectory model (GBTM). **Methods** Through cluster sampling, three or more ocular axial length measurement data of 1 285 children from urban and suburban areas of Shanghai between 2013 and 2023 were included. Indicators including axial length, spherical equivalent, uncorrected visual acuity and corneal curvature were analyzed. Optimal grouping was determined by establishing the GBTM model based on Akaike information criterion (AIC), Bayesian information criterion (BIC), entropy value and subgroup proportion, and intergroup differences were subsequently compared. **Results** The trajectory model classified children's ocular axial length growth trajectories into four subgroups: the mild type (10.3%), the stable type (12.4%), the progressive type (22.6%), and the rapid progression type (54.8%). Children and adolescents in the rapid progression type exhibited significantly faster ocular axial length growth, with a higher proportion of males (58.38% vs 41.62%, $P=0.001$). Their uncorrected visual acuity

上海市浦东新区卫生健康委优秀医学青年项目(PWRq2021-32)

[△]Corresponding author E-mail: wangyulinaa@126.com

网络首发时间:2026-06-16 09:13:51 网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/31.1885.R.20260615.1522.002>

(4.16 ± 0.33) and spherical equivalent refraction [(-4.85 ± 2.23) D] were significantly worse than those in other groups ($P < 0.001$). The horizontal and vertical curvature values in the stable type [H: (43.04 ± 1.11) D, V: (44.67 ± 1.34) D] were significantly higher than those in the rapid progression type [H: (41.59 ± 1.36) D, V: (43.23 ± 1.61) D]. **Conclusion** More than half of the children and adolescents aged 3–16 in Shanghai showed a rapid progression trend in ocular axial length, with gender and corneal curvature being important influencing factors.

【Key words】 group trajectory modeling; axial length; vision; children and adolescents; myopia prevention and control

* This work was supported by the Excellent Medical Youth Project of Pudong New Area Health Commission, Shanghai (PWRq2021-32).

多项研究数据揭示,全球近视的发病率呈现出显著增长趋势,其中亚洲地区尤为突出,中国是近视高发国家,儿童青少年近视问题已成为我国公共卫生领域的重大挑战^[1-2]。据预测,到2050年,全球近一半的人口将遭受近视问题的困扰^[2]。儿童视力健康问题已逐渐演变为公共卫生领域的一项重大挑战^[3]。近视不仅影响儿童的视力,还可能对其学业表现、日常生活以及未来发展产生重大影响^[4]。上海作为我国经济发达城市,儿童青少年近视问题尤为严峻,不仅近视患病率高,且发病年龄早,一项针对上海市910 245名4~14岁儿童的调查显示,近视和高度近视的患病率为32.9%和4.2%^[5]。

近视的发生和发展与眼球的轴向长度密切相关^[6],控制眼轴长度增长是儿童青少年近视管理的关键目标^[7]。当前针对眼轴生长规律的研究存在一定局限性,部分研究年龄范围较窄,主要关注6~9岁群体,忽略了3~6岁低龄儿童及10~16岁青春群体,难以全面反映整个儿童青少年阶段眼轴的变化特征^[8]。

群体轨迹模型(group-based trajectory model, GBTM)是分析纵向数据的有效统计方法,可识别具有相似发展轨迹的群体,有助于精准定位眼轴生长的高风险人群^[9]。本研究通过GBTM分析,系统探究3~16岁上海户籍儿童青少年眼轴生长模式的关键驱动因素,创新性地提出基于轨迹分型的分级防控策略,为构建精细化近视防控体系提供理论依据与实践支撑。

资料和方法

一般资料 本研究为回顾性队列研究,采用整群抽样方法,抽取上海市城区(潍坊社区)和城郊

(沪东社区)2地17所幼儿园、9所小学、9所中学的儿童青少年为调查对象。数据来源于上海市学生屈光发育监测系统2013—2023年的视力监测数据,选取具有3次及以上完整眼轴测量数据的1 285名3~16岁儿童青少年进行分析。本研究已通过上海市浦东新区沪东社区卫生服务中心伦理委员会审查(批准号:[2023]浦沪伦审第04号),上海市学生屈光发育监测系统原始数据采集时已通过群体性知情同意(家长签署《儿童屈光监测知情同意书》)。

裸眼视力检查 由社区卫生服务中心眼科和公共卫生科的眼病防治医师按照上海市学校屈光检查规范开展裸眼视力检查。采用对数视力表5米距离进行检查,检查方法符合GB/T11533—2011的要求,佩戴镜者先行裸眼视力检查,再行戴镜视力检查。对于任何一眼生活视力低于0.8的学生经主观验光并记录最佳矫正视力。

屈光度检查 屈光检查采用免散瞳状态下电脑自动验光仪进行检查,仪器自动测量3次,记录检查结果的平均值。屈光度用等效球镜度(spherical equivalent, SE)表示, $SE = \text{球镜度} + 1/2 \text{柱镜度}$ 。任何2次测量差异不能超过0.5 D,否则重新测量。

眼轴长度测量 使用眼轴测量仪采集双眼眼轴数据,每眼连续测量3次取平均值,任何2次测量差异超过0.02 mm则再次重复测量,多次测量无数据或者差异较大者均做备注记录。

统计学方法 上海市学生屈光发育监测系统内儿童青少年均有唯一身份识别码(identity number, ID),数据通过ID进行去重校验,确保1 285名研究对象无重复纳入情况,测量数据均与唯一ID关联,保障个体轨迹追踪的准确性。使用GBTM依据不同年龄的学生随访期间眼轴长度的变化趋势对研究对象进行归类。以年龄为自变量,眼轴长度

为因变量构建 GBTM,分别模拟将研究对象分为不同亚组时眼轴长度的变化轨迹。综合考虑赤池信息准则(Akaike information criterion, AIC)、贝叶斯信息准则(Bayesian information criterion, BIC)和熵值,其中 AIC 越小越好, BIC 越小越好,熵值 >0.7 表明模型分类精度较好,以及各组人数占比需大于 5%,直至选出最优模型即将研究对象按左眼眼轴长度发展轨迹分为 4 个亚组(轻度型、稳定型、渐进型、快速进展型)时模型拟合效果最佳组。正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,组间比较采用独立样本 t 检验和方差分析。非正态分布的数据以[M(Q1, Q3)]表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 秩和检验和 Kruskal-Wallis H 秩和检验。计数资料以 n (%)表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。使用 R 4.20 软件进行分析。所有统计检验均

采用双侧检验, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结果

GBTM 分析 本研究共纳入 1 285 名拥有 3 次及以上左眼眼轴测量数据的儿童青少年,组间性别及年龄构成比的差异无统计学意义($P>0.05$),可视为来自同一总体。综合 AIC、BIC、熵值及各组人数占比等指标,分为 4 个亚组时, AIC、BIC 数值最低,熵值 $=0.752>0.7$,模型分类精度较好。4 个亚组构成比依次为 10.3%、12.4%、22.6%、54.8%,所有亚组占比均 $>5\%$,模型拟合最优,因此将研究对象按左眼眼轴长度发展轨迹分为 4 个亚组时模型拟合效果最佳,各模型拟合参数见表 1。

表 1 模型拟合结果
Tab 1 Model fitting results

Number of subgroups	AIC	BIC	LogLikelihood	Entropy	Category_1_Proportion	Category_2_Proportion	Category_3_Proportion	Category_4_Proportion	Category_5_Proportion	Category_6_Proportion
1	12 970.741	12 995.803	-6 481.371	0.616	1					
2	11 376.712	11 426.836	-5 680.356	0.817	0.742	0.258				
3	10 502.191	10 577.375	-5 239.095	0.713	0.151	0.18	0.669			
4	8 882.033	8 988.544	-4 424.016	0.752	0.103	0.124	0.226	0.548		
5	8 540.728	8 672.301	-4 249.364	0.431	0.058	0.065	0.121	0.251	0.507	
6	7 905.608	8 062.242	-3 927.804	0.513	0.053	0.062	0.119	0.045	0.282	0.439
7	7 775.837	7 945.002	-3 860.918	0.14	0.047	0.146	0.051	0.303	0.065	0.389

AIC: Akaike information criterion; BIC: Bayesian information criterion; Log Likelihood: Log-likelihood value; Entropy: Entropy value; Category Proportion: Proportion of participants in the subgroup.

4 个亚组中,左眼眼轴长度发展轨迹类别划分为“类别 1”($n=132$, 10.3%)、“类别 2”($n=159$, 12.4%)、“类别 3”($n=290$, 22.6%)以及“类别 4”($n=704$, 54.8%)。“类别 1”与“类别 2”的眼轴长度伴随年龄的增长呈现出较为平稳的发展态势,且“类别 1”的眼轴长度总体上高于“类别 2”,分别将其命名为“轻度型”与“稳定型”。“类别 3”的眼轴长度随着年龄的增长而逐步缓慢增加,“类别 4”的眼轴长度随年龄增长呈现出较为快速的的增长趋势,分别将二者命名为“渐进型”与“快速进展型”,如图 1。

不同左眼眼轴长度发展轨迹模型亚组的比较 不同左眼眼轴长度发展轨迹模型亚组的比较如表 2 所示。结果表明,快速进展亚组中男性构成比显著高于女性,4 组间性别构成差异具有统计学意义($\chi^2=15.72$, $P=0.001$)。不同组别的裸眼视力存在显著差异($H=1\ 309.80$, $P<0.001$)。稳定型的裸眼视

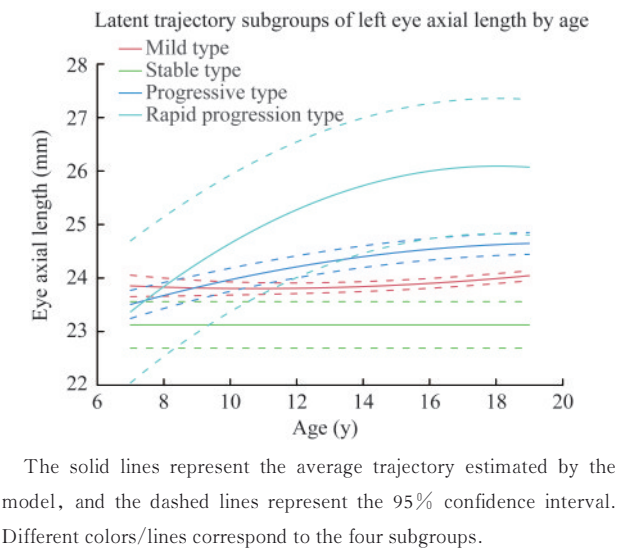


图 1 左眼眼轴不同亚组轨迹模型曲线
Fig 1 Trajectory curves of left eye axial length in different subgroups

力最高,快速进展型的裸眼视力最低。右眼眼轴和左眼眼轴在不同组别之间均存在显著差异($H=2\,213.10, P<0.001$),且快速进展型的眼轴长度最长,稳定型的眼轴长度最短,表明调查对象左右眼眼轴长度发展较为一致。等效球镜在不同类别之间存在显著差异($H=1\,919.20, P<0.001$)。快速进展型的等效球镜绝对值最大,稳定型的等效球镜绝对值最小,表明不同眼轴发展类别之间在近视程度上有明显差异。快速进展型的轴位散光与其他类

别之间存在显著差异($P<0.001$),且散光程度高于其他组别,但其他3组之间的轴位散光差异并无统计学意义。水平方向角膜曲率($H=644.85, P<0.001$)和垂直方向角膜曲率($H=405.71, P<0.001$)在不同类别之间存在显著差异。稳定型的角膜曲率最大,快速进展型的角膜曲率最小,但渐进型和稳定型的水平方向角膜曲率差异并无统计学意义。

表2 不同左眼眼轴长度发展轨迹模型亚组的比较

Tab 2 Comparison of subgroups in the left axial length development trajectory model [x̄±s or n(%)]							
Variable	Overall (n=1 285)	Subgroups of left eye axial length				Statistic	P
		Mild type (n=132)	Stable type (n=159)	Progressive type (n=290)	Rapid progression type (n=704)		
Age (y)	16.29±1.19	16.41±1.03	16.32±1.25	16.28±1.14	16.27±1.22	F=1.65	0.176
Gender							
Male	691 (53.77)	69 (52.27)	69 (43.40)	142 (48.97)	411 (58.38)	χ²=15.72	0.001
Female	594 (46.23)	63 (47.73)	90 (56.60)	148 (51.03)	293 (41.62)		
Right axial length (mm)	25.31±1.21	24.25±0.66 ^a	23.69±0.84 ⁽¹⁾	24.89±0.61 ⁽¹⁾	26.05±0.91 ⁽¹⁾	H=2 213.10	< 0.001
Left axial length (mm)	25.15±1.29	23.94±0.18 ^a	23.07±0.59 ⁽¹⁾	24.62±0.27 ⁽¹⁾	26.06±0.85 ⁽¹⁾	H=3 072.80	< 0.001
Spherical equivalent (D)	-3.35±2.63	-1.47±1.27 ^a	-0.13±1.53 ⁽¹⁾	-2.32±1.61 ⁽¹⁾	-4.85±2.23 ⁽¹⁾	H=1 919.20	< 0.001
Astigmatism axis(°)	111.64±74.80	102.70±73.89 ⁽¹⁾	103.00±76.95 ⁽¹⁾	105.95±75.19 ⁽¹⁾	117.60±73.82 ^a	H=35.62	< 0.001
Horizontal corneal curvature (D)	42.05±1.42	42.87±1.18 ^a	43.04±1.11	42.27±1.30 ⁽¹⁾	41.59±1.36 ⁽¹⁾	H=644.85	< 0.001
Vertical corneal curvature (D)	43.62±1.63	44.28±1.46 ^a	44.67±1.34 ⁽¹⁾	43.72±1.52 ⁽¹⁾	43.23±1.61 ⁽¹⁾	H=405.71	< 0.001

P-values of pairwise comparisons in Kruskal-Wallis rank sum test: ⁽¹⁾P<0.001; ^aRepresents the reference group for pairwise comparisons. F: One-way ANOVA; χ²: Chi-square test; H: Kruskal-Wallis rank sum test. Uncorrected visual acuity, spherical equivalent, astigmatism axis, horizontal corneal curvature, and vertical corneal curvature are all measured from the left eye.

讨 论

本研究通过GBTM模型,首次系统识别上海市3~16岁儿童青少年人群的眼轴纵向生长轨迹并划分出4种生长亚型,证实儿童青少年眼轴发育存在群体异质性。4种轨迹亚型在眼轴增长速率、屈光发育水平、角膜形态特征及性别构成方面均存在明显组间差异,其中性别与角膜曲率是影响眼轴生长轨迹异质性的主要因素。本研究结果显示,眼轴快速进展亚型占比达54.8%,提示本地区超半数儿童青少年存在眼轴过快增长趋势,该分布特征与上海地区儿童青少年整体近视高发的流行病学现状^[5]高度吻合。上海市嘉定区一项横断面研究纳入的8 267名儿童中近视患病率高达52.2%^[10];上海市浦东新区一项针对7至9岁儿童的横断面研究纳入的

1 722名儿童中近视患病率达25.6%^[11]。多项研究表明,眼轴长度与近视的发生和发展密切相关^[12],如果儿童的眼轴长度增长过快,意味着他们有更高风险发展为近视,尤其是学龄儿童^[3]。然而,既往研究多聚焦于眼轴长度与近视的相关性验证,而本研究的核心创新在于通过轨迹分型精准定位高风险人群,为制定可操作的公共卫生干预策略,提供科学依据,弥补了传统研究在防控实践指导方面的不足。

目前研究认为眼轴长度是决定屈光状态的关键因素之一^[13]。近视,尤其是儿童近视,与眼轴的过度生长密切相关^[14]。本研究发现,眼轴长度与等效球镜呈显著负相关($H=1919.20, P<0.001$),从人群层面进一步证实了眼轴长度增长是近视发展的核心机制。值得注意的是,快速进展型组裸眼视力最低(4.16 ± 0.33)、等效球镜绝对值最大 $[(-4.85\pm$

2.23) D],提示此类儿童青少年可能更早进入高度近视阶段。相关研究表明高度近视人群的眼底病变发生风险更高^[15],因此该类儿童青少年需纳入长期重点随访人群,尽早开展干预管理,延缓眼轴病理理性增长。

关于近视的性别差异,目前的研究结果并不完全一致。波兰的一项研究发现,学龄儿童近视进展中可能存在性别差异^[16];我国一项前瞻性队列研究发现,一年级非近视儿童等效球镜度轨迹与性别独立相关^[17]。伊朗的一项城市居民研究未发现明显的性别差异^[18]。本研究发现,在快速进展型中,男孩(58.38%)的比例显著高于女孩(41.62%)。这种差异可能与以下因素相关:上海地区儿童青少年中男孩的户外活动时间普遍低于女孩,而户外活动不足是近视进展的重要危险因素^[8];男孩近距离用眼(如电子产品使用、课业学习)强度可能更高^[19];性别相关的遗传因素可能影响眼轴生长速率^[17]。上述研究的地区差异提示近视防控需结合本地人群特征制定策略,上海地区应重点关注儿童和青少年中男孩的眼轴监测与干预。

本研究显示,稳定型组的角膜曲率显著高于快速进展型,支持角膜-眼轴代偿假说^[20],即角膜曲率的改变能够在一定程度上抵消眼轴长度的异常,进而降低屈光不正的程度。这一发现提示在近视防控中可联合角膜形态与眼轴监测,提供个性化干预,对角膜曲率偏低的儿童青少年(尤其是快速进展型)需提前干预,以防止近视发生风险。

此外,眼轴长度随年龄增长呈规律性增长。3~6岁是眼轴快速增长的关键期,儿童青少年眼轴生长一般在18岁趋于稳定,但个体差异较大^[21]。本研究发现3~16岁群体的眼轴长度仍呈持续增长趋势,其中快速进展型在10~14岁增长速率最快,提示该年龄段是近视防控的黄金窗口期,需加大干预力度。

多项研究表明,了解影响眼轴长度增长的风险因素,并采取相应的干预措施,对控制儿童青少年近视至关重要^[22-23]。本研究分析了上海市儿童眼轴生长的异质性轨迹及其相关因素,揭示了性别和角膜形态差异对眼轴长度生长模式的影响。本研究发现男孩的眼轴长度普遍长于女孩,且眼轴长度与近视风险密切相关。这些发现为后续进一步研究眼轴生长与近视之间的因果关系奠定了基础。对

快速进展型儿童,尤其是男孩,需加强屈光监测频率,必要时应采用角膜塑形镜^[24]或低浓度阿托品^[25]等干预手段。此外,应当结合角膜曲率与眼轴数据,建立基于轨迹类型的干预框架,具体参考建议如下。(1)分级监测:对快速进展型人群每6个月进行一次眼轴及角膜曲率监测;渐进型人群每年监测1次;稳定型和轻度型人群每2年监测一次。(2)个性化干预:对快速进展型人群,在排除禁忌证后可采用角膜塑形镜^[20]或低浓度阿托品^[21]等干预手段;对所有群体均应强化健康宣教,增加户外活动时间^[8]、控制近距离用眼强度^[19]。(3)社区防控:社区卫生服务中心可建立儿童青少年眼轴发育健康档案,结合学校体检数据实现轨迹动态追踪,针对高风险群体开展家庭干预指导。

本研究存在以下局限性:研究抽样局限于上海市城区与城郊,代表性有限,外推时需谨慎;研究仅基于3次及以上测量数据建模,可能低估眼轴增长的长期波动性;由于数据限制,户外活动时间^[8]、近距离用眼强度^[19]等已知近视风险因素未被纳入分析,可能影响轨迹分组的结果。

综上所述,上海市3~16岁儿童青少年眼轴生长存在轨迹异质性,超半数个体呈现眼轴快速增长模式。性别与角膜曲率是影响眼轴生长轨迹异质性的主要因素。建议针对高风险儿童青少年加强屈光监测并联合角膜参数制定个性化干预策略,但需进一步纳入环境因素验证结果的普适性。

作者贡献声明 王玉林 研究设计,数据收集和分析,论文撰写和修订。薛锦花 论文修订。张怡 数据收集,质量控制。龚定宏 质量控制,论文修订。

利益冲突声明 所有作者均声明不存在利益冲突。

参 考 文 献

- [1] Cristina AP. Prevention and public awareness of myopia[J]. *Acta Ophthalmol*, 2024, 102(2): 215-222.
- [2] Chia A, Chua B, Tan D. Interventions to slow myopia progression in children: an update [J]. *Curr Opin Ophthalmol*, 2022, 33(3): 201-208.
- [3] Zhao J, Yu Y, Li Y, et al. Development and validation of predictive models for myopia onset and progression using

- extensive 15-year refractive data in children and adolescents [J]. *J Transl Med*, 2024, 22: 801.
- [4] Thamizhisai M, Sivagami P, Vinoth K, *et al.* Influence of sociodemographic factors on parental awareness, attitude and practices in pediatric eye health: a questionnaire based study[J]. *Int J Curr Eye Res*, 2022, 11(3): 24568.
- [5] He X, Sankaridurg P, Xu S, *et al.* Prevalence of myopia and high myopia, and the association with education: Shanghai Child and Adolescent Large-scale Eye Study (SCALE): a cross-sectional study [J]. *BMJ Open*, 2021, 11 (12) : e048450.
- [6] Syena D, Ani I. Association of axial length and myopia degree: a retrospective study[J]. *Sriwijaya J Ophthalmol*, 2022, 7(2): 67-72.
- [7] Ju Z, Li ZZ, Chen ZW, *et al.* Comparison of the clinical efficacy of orthokeratology and 0.01% atropine for retardation of myopia progression in myopic children [J]. *Contact Lens Anterior Eye*, 2023, 46(2): 101689.
- [8] He X, Sankaridurg P, Wang JJ, *et al.* Time outdoors in reducing myopia [J]. *Ophthalmology*, 2022, 129 (8) : 867-875.
- [9] Du CY, Fan F, Li LJ, *et al.* Group-based trajectory modeling to identify factors influencing the development of myopia in patients receiving orthokeratology [J]. *Int J Gen Med*, 2022, 15: 4151-4162.
- [10] Ma YH, Qu XM, Zhu XD, *et al.* Age-specific prevalence of visual impairment and refractive error in children aged 3-10 years in Shanghai, China [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2016, 57(14): 6188-6196.
- [11] Peng C, Zhang XH, Zhou W, *et al.* Prevalence and related factors of children myopia in Pudong New Area, Shanghai: a cross-sectional study [J]. *BMJ Open*, 2023, 13 (12) : e075689.
- [12] Ma WH, Bernard J, Mioux F, *et al.* Axial length: an underestimated endophenotype of myopia [J]. *Med Hypotheses*, 2010, 75(3): 267-270.
- [13] Ma WH, Bernard J, Mioux F, *et al.* Axial length of myopia: a review of current research [J]. *Ophthalmologica*, 2010, 225(3): 127-134.
- [14] Joshi I, Mishra R, Prasan RA. Importance of axial length measurement in routine clinical practice [J]. *ECS Transactions*, 2022, 107(1): 10373-10383.
- [15] Zhang S, Chen YP, Li ZX, *et al.* Axial elongation trajectories in Chinese children and adults with high myopia [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2024, 142(2): 187-195.
- [16] Czepita M, Czepita D, Safranow K. Role of gender in the prevalence of myopia among Polish schoolchildren [J]. *J Ophthalmol*, 2019, 2019: 1-4.
- [17] Li YZ, Gan L, Zhang JY, *et al.* Trajectories of spherical equivalent refraction from grades 1 to 4 in Chinese children [J]. *BMC Public Health*, 2023, 23(1): 1-10.
- [18] Ostadimoghaddam H, Fotouhi A, Hashemi H, *et al.* Prevalence of the refractive errors by age and gender: the Mashhad eye study of Iran [J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2011, 39(8): 743-751.
- [19] Li MQ, Wang YY, Li HE, *et al.* Differences in choroidal responses to near work between myopic children and young adults [J]. *Eye Vis (Lond)*, 2024, 11(1): 42.
- [20] 李雪静, 王洋, 吴亚楠, 等. 近视及散光眼角膜前后表面像差分布与代偿机制研究 [J]. *中华眼科杂志*, 2016, 52(10): 750-755.
- [21] 中华预防医学会公共卫生眼科分会. 中国学龄儿童眼球远视储备、眼轴长度, 角膜曲率参考区间及相关遗传因素专家共识 (2022 年) [J]. *中华眼科杂志*, 2022, 58(2): 96-102.
- [22] Yu YZ, Chen H, Zhang Z, *et al.* Risk factors for rapid axial length growth in a prospective cohort study of 3-year to 9-year-old Chinese children [J]. *Br J Ophthalmol*, 2025, 109 (1): 101-108.
- [23] Tideman JWL, Poulsen JR, van der Velden WS, *et al.* Environmental risk factors can reduce axial length elongation and myopia incidence in 6- to 9-year-old children [J]. *Ophthalmology*, 2019, 126(1): 127-136.
- [24] Wang BJ, Naresh KR, Qian XM. Factors related to axial length elongation and myopia progression in orthokeratology practice [J]. *PLoS One*, 2017, 12(4): e0175689.
- [25] Huang Z, Chen XF, He T, *et al.* Synergistic effects of defocus-incorporated multiple segments and atropine in slowing the progression of myopia [J]. *Sci Rep*, 2022, 12 (1): 22311.

(收稿日期: 2025-07-17; 编辑: 张秀峰)