基于潜类别增长混合模型的儿童青少年近视数字化综合干预效果的异质性与影响因素分析

宋毓雯[1]，王梓彤[1,2,3]，岳琳[1]，潘杰[1,4]

1.四川大学华西公共卫生学院 / 华西第四医院，四川 成都 610041；2.国家卫生健康委统计信息中心；
3.四川大学健康城市发展研究中心 / 西部农村卫生发展研究中心；
4.主动健康与食品营养安全四川省重点实验室，四川 成都 610041

摘要：目的　分析儿童青少年数字化综合近视防控干预实施前后学生视力发展特征，探讨视力发展轨迹差异原因，为儿童青少年精准近视防控提供依据。**方法**　基于试点小学 2020 级和 2021 级学生以月为单位视力监测数据和问卷调查数据，采用潜类别增长混合模型识别视力发展轨迹类型；通过 χ^2 检验和多分类逻辑回归分析不同轨迹组在各种特征间的分布差异和影响因素。**结果**　数字化综合干预实施后，学生视力下降趋势较干预前整体放缓。轨迹建模识别出四类不同的视力发展轨迹：轨迹组 A，低基线下降减缓型；轨迹组 B，高基线下降减缓型；轨迹组 C，稳定良好型；轨迹组 D，加速下降型。相较轨迹组 C，男生进入轨迹组 A（*OR*=0.509，95%*CI*：0.285～0.907，*P*=0.022）、轨迹组 D（*OR*=0.585，95%*CI*：0.365～0.939，*P*=0.026）的可能性更低，同时年级、遗传因素、家庭视力健康教育、户外活动时长和在家阅读学习时灯光模式都是进入不同轨迹的影响因素。**结论**　数字化综合干预下的学生视力发展存在异质性，应针对特定影响因素开展个性化干预以提升干预效果。

关键词：儿童青少年；数字化综合近视防控；视力发展轨迹

中图分类号：R179　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1003-8507（2026）17-3137-07

DOI：10.20043/j.cnki.MPM.202604366

Heterogeneity and influencing factors analysis of the effect of digital comprehensive intervention for myopia in children and adolescents based on the latent class growth mixture model

SONG Yu-wen*, WANG Zi-tong, YUE Lin, PAN Jie

West China School of Public Health/West China Fourth Hospital, Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610041, China

Abstract: Objective To analyze the characteristics of students' vision development before and after the implementation of digital comprehensive myopia prevention and control intervention in children and adolescents, and to explore the reasons for the differences in vision development trajectories, so as to provide a basis for the prevention and control of myopia in children and adolescents. **Methods** Based on the monthly vision monitoring data and questionnaire survey data of students enrolled in 2020 and 2021 at the pilot primary school, the latent class growth mixture model was used to identify the type of vision development trajectory. The distribution differences and influencing factors between different trajectory groups were analyzed by χ^2 test and multinomial logistic regression. **Results** After the implementation of digital comprehensive intervention, the downward trend of students' overall visual acuity slowed down compared to the period before the intervention. Trajectory modeling identified four different types of vision development trajectories: Group A, low baseline with slowed decline. Group B, high baseline with slowed decline. Group C, stable and good. Group D, accelerated decline. Compared to Group C, boys were less likely to enter Group A (*OR*=0.509, 95% *CI*: 0.285-0.907, *P*=0.022) or Group D (*OR*=0.585, 95% *CI*: 0.365-0.939, *P*=0.026), while grade, genetic factors, family vision health education, duration of outdoor activities, and lighting conditions during reading and studying at home were all influencing factors for entering different trajectories. **Conclusion** There is heterogeneity in students' vision development under the digital comprehensive intervention, and personalized intervention should be carried out according to specific influencing factors to improve the intervention effect.

Keywords: Children and adolescents; Digital comprehensive intervention; Visual acuity development trajectories

基金项目：国家科技重大专项课题（政策与管理研究）（2024ZD0523902）；四川大学华西公共卫生学院 / 华西第四医院健康新质生产力研究所课题项目（HN240302B）

作者简介：宋毓雯（2004—），女，本科在读，研究方向：流行病统计学

通信作者：岳琳，E-mail：yuelin998@scu.edu.cn

近视，是影响我国儿童青少年群体的重大公共卫生问题。近年来，我国儿童青少年的总体近视率居高不下，并呈现着高发化、低龄化、重度化的趋势[1]，2022年我国儿童青少年总体近视率达 51.9%，其中小学生近视率为 36.7%[2]。有研究预测，2050 年中国儿童青少年总体近视率将达 61.3%，高度近视率达 17.6%[3]。有研究发现儿童青少年较早发生近视会使度数加深速度加快[4]。并且，高度近视并发症具有致盲性和不可逆性[5]。因此，早期、科学、持续的干预是保护儿童青少年眼健康的重要途径。

目前，数智技术正驱动卫生健康体系与工作方式发生重大变革[6]，数字化技术为近视防控提供了新思路，部分通过采集多元大数据，构建风险预测模型[7]。也有通过应用程序干预行为[8]，虚拟现实设备模拟环境[9]等，推动近视防控从普适性向精准转变。

尽管证据显示数字化防控策略整体奏效[10]，但评价多聚焦于群体平均效应，对同一干预下不同个体的视力发展差异关注有限。整合型数字化综合干预在中国真实学校场景中的实践数据仍较匮乏，尤其缺乏对其响应模式分化及影响因素的深入分析。

并且，当前针对儿童青少年视力数据的分析多采用横断面研究设计，探讨近视患病率、类型等及其与性别、城乡、年龄等因素的关联[11]；纵向分析则多关注年度测量数据，对长时间高频率测量数据利用不足[12]。此外，轨迹建模在近视领域多用于描述其自然进展轨迹[13]或治疗依从性变化[14]，鲜少被用于分析真实学校场景中干预前后视力发展轨迹的分化模式与群体异质性。因此，本研究以小学学生为研究对象，基于该集群长期高频的视力监测数据，创新性地构建分段潜类别增长模型，描述数字化综合干预实施前后学生视力发展的轨迹特征及影响因素，为识别不同响应模式、实现精准干预提供依据。

1　资料与方法

1.1　研究对象与干预手段　本研究以成都市某小学 2020 级和 2021 级共 620 名学生为研究对象，采用 2022 年 1 月—2025 年 6 月的纵向重复测量视力数据。裸眼视力检测由经过统一培训的校医在标准化条件（如距离、光照等）下使用 GB 11533 标准对数视力表及配套智能设备完成，并定期校准以控制误差。学生左右眼裸眼视力及检测日期及时上传至数据监测平台，该工作已纳入学校日常管理，不存在长期失访情况。

纳入标准：（1）学生无严重眼部疾病或屈光手术史；（2）自愿参与并签署知情同意书；（3）学生未因中途退学或其余特殊原因失访。

本研究自 2023 年 6 月启动，构建了“环境改善 – 数字护眼 – 家校联动”三维防控体系，主要包括：（1）优化教室照明、推广“无电子白板”课堂及远眺等护眼措施；（2）每日眼部锻炼，佩戴蓝光护目镜观看护眼视频；（3）针对传统防控措施视力数据“只采不用”、抓不住假性近视窗口期及干预管理乏力等问题，开发了数字化近视防控平台。该平台建立动态视力数据管理系统，集成家长、教师、校园三端，采集校内视力检测结果及家庭用眼行为、光照环境等多维数据，为每位学生构建动态眼健康档案。通过风险评估模型建立“预警池”，重点干预视力下降明显的学生，形成“筛查 – 预警 – 干预 – 反馈”闭环管理。

本研究涉及数据收集已通过四川大学华西公共卫生学院 / 华西第四医院伦理委员会批准通过（批号：Gwll2024179）。所有数据均在匿名化处理后用于分析。

1.2　问卷调查　为评估数字化综合干预后的视力健康相关行为，研究者于 2024 年 10 月向 2020 级和 2021 级学生家长发放电子问卷。使用干预较长时间后的行为数据，有助于反映当前重点人群特征与问题，支持精准干预。问卷内容涵盖家庭遗传、户外活动、睡眠、饮食及家庭教育情况。

1.3　数据处理与模型选择

1.3.1　数据库构建与变量处理　将原始视力数据通过 MySQL 导入 Excel 构建分析数据库。定义双眼裸眼视力中的较低值为“较差眼裸眼视力”，以学号为唯一识别码将多次检测数据整理为纵向数据。为满足分段潜类别增长混合模型构建要求，纳入分析的学生需在干预前后至少各有一次视力测量数据，因此排除 52 名学生，最终纳入试点小学 2020 级 305 名学生和 2021 级 263 名学生。

将视力数据与问卷数据匹配后，约 8%（n=48）的样本问卷数据完全缺失，考虑仅根据个人信息其进行插补的可靠性欠佳，为降低偏倚，予以直接排除，最终纳入 520 名学生进行差异性分析及多分类逻辑回归分析。

以 2022 年 6 月 1 日为基线构建以月份为单位的时间变量，以 2023 年 6 月 1 日（干预开始时点）为节点构建分段时间变量 time1（干预前时间）与 time2（干预后时间），以捕捉干预前后视力变化趋势差异。变量处理及模型构建在 R Studio 和 Stata16.0 完成。

1.3.2　模型构建与拟合策略　为探究儿童青少年视力发展轨迹的潜在异质性，本研究以“较差眼裸眼视力”（简称视力）为结局变量，基于上述纵向数据构建潜类别增长混合模型（latent class growth mixture model, LGMM），分析其时间维度上的潜在异质性特

征及转折趋势。共有 568 名学生，8 683 个测量点纳入建模。使用 R 语言的 lcmm 包进行模型拟合，以较差眼裸眼视力为因变量，time1 与 time2 为固定效应，并纳入随机效应项。模型表示：

$$y=\beta_0+\beta_1 time_1+\beta_2 time_2+\varepsilon$$

其中 y 为较差眼裸眼视力，β_0 为基线视力截距，β_1 表示干预前视力变化斜率，β_2 表示干预后视力变化斜率，ε 为随机误差项。

依次拟合 2～5 个轨迹组数，并计算贝叶斯信息准则（Bayesian information criterion，BIC）、赤池信息准则（Akaike information criterion，AIC）、样本量调整 BIC（sample-size adjusted BIC，SABIC）、对数似然值（log likelihood，loglik）、熵、最小类比例（minimum class proportion，min_prop）、平均后验概率（average posterior probability，AvePP）与 bootstrap 似然比检验（bootstrap likelihood ratio test，BLRT）来评估模型拟合度。经多次拟合，综合 BIC、AIC、SABIC 值最小且熵＞0.8、各组比例≥10% 和 AvePP＞0.8 作为可接受标准确定最佳组数[15]。

同时，输出各潜在类别的后验概率，并基于模型预测值绘制各轨迹组的平均视力变化曲线及其 95% 置信区间。

1.4　*差异性分析*　以轨迹类别为分组变量，构建各轨迹组与各特征变量的交叉列联表。采用 Pearson χ^2 检验比较不同轨迹组在分类变量上的构成比差异；当理论频数不满足 χ^2 检验适用条件时，则改用 Fisher 精确检验。

1.5　*多分类逻辑回归分析*　本研究采用多分类逻辑回归模，以轨迹组别为因变量（多分类变量），以性别、年级、行为特征等为自变量，选择视力发展轨迹的稳定良好组（即轨迹组 C）为参照。分析各自变量在不同轨迹组相对于参照组的 *OR* 值及其置信区间，并计算 *P* 值。所有统计检验均为双侧检验，检验水准 α=0.05。

2　结　果

2.1　*描述性分析结果*　表 1 展示了 2020 级和 2021 级学生每年 6 月的平均裸眼视力和标准差。自 2023 年 6 月实施数字化综合干预后，学生视力整体下降趋势较干预前减缓，部分时间点存在短期波动，见图 1。干预前，2020 级学生平均视力一年内下降 0.215；2021 级学生下降 0.243。而干预实施后两年内，2020 级学生平均视力仅下降 0.020，2021 级学生仅下降 0.014。

表 1　分年级视力变化情况（$\bar{x}\pm s$）

Table 1　Changes in vision by grade level（$\bar{x}\pm s$）

年级（级）	较差眼裸眼视力			
	2022 年 6 月	2023 年 6 月	2024 年 6 月	2025 年 6 月
2020	5.027 ± 0.296	4.812 ± 0.239	4.790 ± 0.381	4.792 ± 0.367
2021	5.152 ± 0.187	4.909 ± 0.169	4.959 ± 0.311	4.895 ± 0.336

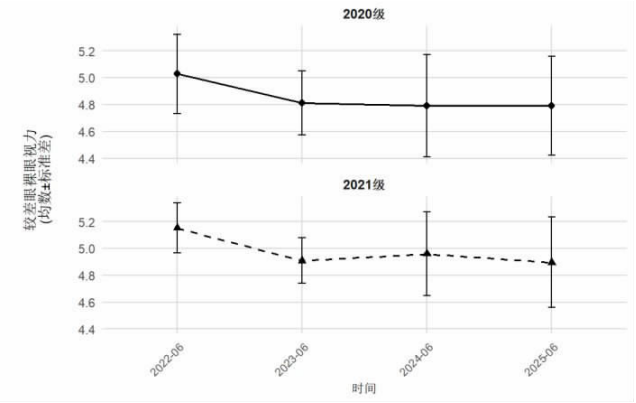

图 1　2020 级和 2021 级学生每年较差眼裸眼视力

Figure 1　Annual uncorrected visual acuity of the worse eye among students enrolled in 2020 and 2021

2.2　轨迹建模结果

2.2.1　*潜在轨迹类别特征*　模型结果显示，当潜在类别数为 4 类时，BIC、AIC、SABIC 值均为所有模型中最小（BIC=−8 544.518；AIC=−8 653.115；SABIC=−8 623.881），此时对数似然值最大（loglik=4 351.557）、平均后验概率为 0.907、最小比例群组占比 17.93%，且 bootstrap 似然比检验 *P* 值小于 0.05，表明 4 类模型在拟合优度与简约性之间取得了最佳平衡且符合基本要求。因此，确定四类别模型为最优模型。

最佳模型的拟合轨迹见图 2，每种轨迹各具特征：轨迹组 A 的基线视力最低，干预后视力下降速度放缓；轨迹组 B 基线视力良好，但干预前视力下降速度较快，干预后降速放缓；轨迹组 C 视力始终保持在 5.2 左右；轨迹组 D 干预前视力轻度下降，干预后视力下降速度加快。各轨迹组的构成比依次为 17.93%、20.21%、27.24%、34.62%。

2.3　*差异性分析结果*　轨迹组特征描述与单因素分析结果见表 2。不同视力发展轨迹组的学生在年级（χ^2= 29.188，P＜0.001）、遗传因素（χ^2=29.761，P＜0.001）、家庭视力健康教育频率（χ^2=14.632，P＜0.050）、在家阅读学习时灯光模式（χ^2=17.491，P＜0.050）等方面的差异有统计学意义。

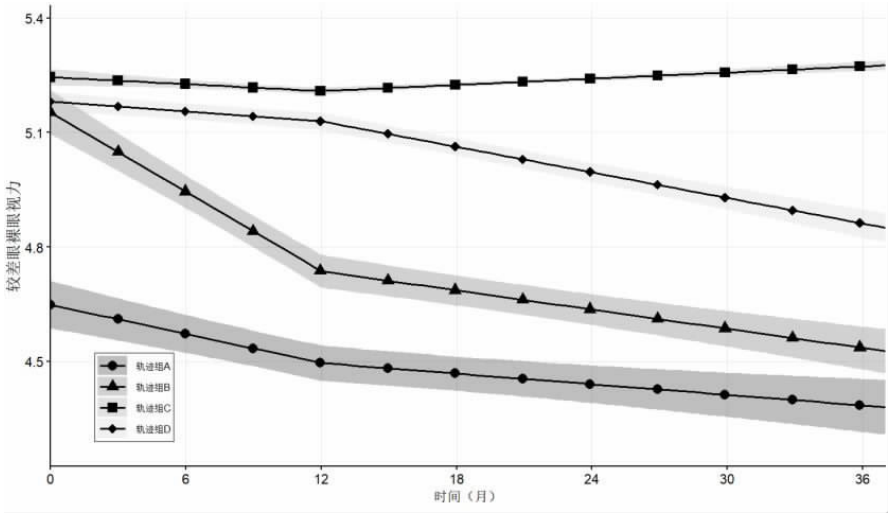

图 2　轨迹建模结果

Figure 2　Trajectory modeling results

性别、睡眠时长、户外活动次数、每次户外活动时长、每日电子产品使用时间以及食用花青素食物频率等在不同视力轨迹组间的分布差异无统计学意义。

表 2　轨迹组的差异性分析结果[n(%)]

Table 2　Results of the analysis of differences among trajectory groups [n(%)]

	轨迹组				χ^2 值	P 值
	A	B	C	D		
性别						
女	45(19.65)	50(21.83)	47(20.52)	87(37.99)	7.690	0.053
男	47(16.15)	57(19.59)	91(31.27)	96(32.99)		
年级(级)						
2020	69(25.09)	63(22.91)	65(23.64)	78(28.36)	29.188	<0.001
2021	23(9.39)	44(17.96)	73(29.80)	105(42.86)		
遗传因素						
父母亲都不近视	18(9.73)	24(12.97)	63(34.05)	80(43.24)	29.761	<0.001
双亲至少有一方近视	74(22.09)	83(24.78)	75(22.39)	103(30.75)		
家庭视力健康教育						
极少	15(15.96)	12(12.77)	36(38.30)	31(32.98)	14.632	0.023
有时	28(17.83)	30(19.11)	33(21.02)	66(42.04)		
经常	49(18.22)	65(24.16)	69(25.65)	86(31.97)		
睡眠时长(h)						
<8	23(20.72)	25(22.52)	27(24.32)	36(32.43)	1.557	0.669
≥8	69(16.87)	82(20.05)	111(27.14)	147(35.94)		
户外活动次数(次 / 周)						
≤2	60(17.29)	69(19.88)	96(27.67)	122(35.16)	0.838	0.840
≥3	32(18.50)	38(21.97)	42(24.28)	61(35.26)		
次均户外活动时长(h)						
<1	22(13.75)	41(25.62)	35(21.88)	62(38.75)	10.155	0.118
1 ~ 2	48(18.32)	53(20.23)	75(28.63)	86(32.82)		
>2	22(22.45)	13(13.27)	28(28.57)	35(35.71)		
在家阅读、学习时灯光模式						
只开顶灯	4(16.67)	3(12.50)	12(50.00)	5(20.83)	17.491	0.008
只开台灯	5(6.58)	15(19.74)	27(35.53)	29(38.16)		
顶灯、台灯同时开	83(19.76)	89(21.19)	99(23.57)	149(35.48)		
每日电子产品使用时长(h)						
<0.5	60(16.81)	77(21.57)	96(26.89)	124(34.73)	5.244	0.513
0.5 ~ 1	24(17.65)	28(20.59)	36(26.47)	48(35.29)		
>1	8(29.63)	2(7.41)	6(22.22)	11(40.74)		
食用花青素食物的频率						
几乎不吃	54(16.93)	67(21.00)	91(28.53)	107(33.54)	2.213	0.529
≥1 次 / 周	38(18.91)	40(19.90)	47(23.38)	76(37.81)		

2.4　多分类逻辑回归分析结果　多分类 logistic 回归模型分析结果见表 3。以轨迹组 C 为参照，男生进入轨迹组 A（*OR*=0.509，*P*=0.022）、轨迹组 D（*OR*=0.585，*P*=0.026）的风险显著低于女生。与 2020 级相比，2021 级学生进入轨迹组 A（*OR*=0.282，*P*<0.001）的可能性显著更低。有遗传因素的学生进入轨迹组 A（*OR*=3.444，*P*<0.001）、轨迹组 B（*OR*=2.614，*P*=0.001）的概率更高。此外，有时进行以及经常进行家庭视力健康教育、次均户外活动时长<1 h 是学生归入轨迹组 B 的危险因素；而有时进行家庭视力健康教育以及在家阅读学习时同时开顶灯和台灯是进入轨迹组 D 的危险因素。

睡眠时长是否大于 8 h，户外活动次数是否大于 2 次 / 周，每日电子产品使用时长是否大于 30 min，每周是否至少食用 1 次花青素食物对进入不同轨迹组无显著影响。

表 3　多分类逻辑回归模型结果

Table 3　Multivariable logistic regression analysis

自变量		轨迹组 C（对照）	轨迹组 A		轨迹组 B		轨迹组 D	
			OR（95% *CI*）	*P* 值	*OR*（95% *CI*）	*P* 值	*OR*（95% *CI*）	*P* 值
性别	女（对照）	—	—	—	—	—	—	—
	男		0.509（0.285 ~ 0.907）	0.022	0.608（0.352 ~ 1.048）	0.073	0.585（0.365 ~ 0.939）	0.026
年级	2020 级（对照）		—	—	—	—	—	—
	2021 级		0.282（0.153 ~ 0.518）	<0.001	0.601（0.351 ~ 1.030）	0.064	1.242（0.780 ~ 1.978）	0.362
遗传因素	双亲都不近视（对照）		—	—	—	—	—	—
	双亲至少一方近视		3.444（1.787 ~ 6.637）	<0.001	2.614（1.447 ~ 4.720）	0.001	1.002（0.626 ~ 1.604）	0.993
家庭视力健康教育	极少（对照）		—	—	—	—	—	—
	有时		1.456（0.617 ~ 3.438）	0.391	2.619（1.105 ~ 6.211）	0.029	2.411（1.231 ~ 4.721）	0.010
	经常		1.077（0.485 ~ 2.388）	0.856	2.697（1.207 ~ 6.026）	0.016	1.392（0.742 ~ 2.611）	0.303
睡眠时长（h）	<8（对照）		—	—	—	—	—	—
	≥8		0.772（0.385 ~ 1.547）	0.466	0.840（0.432 ~ 1.632）	0.607	1.046（0.579 ~ 1.890）	0.881
户外活动次数	≤2（对照）		—	—	—	—	—	—
（次 / 周）	≥3		1.158（0.624 ~ 2.150）	0.642	1.030（0.578 ~ 1.836）	0.920	1.058（0.638 ~ 1.756）	0.827
次均户外活动时长	<1（对照）		—	—	—	—	—	—
（h）	1 ~ 2		1.030（0.507 ~ 2.089）	0.936	0.524（0.281 ~ 0.977）	0.042	0.657（0.377 ~ 1.146）	0.139
	>2		1.200（0.509 ~ 2.829）	0.677	0.318（0.135 ~ 0.744）	0.008	0.654（0.326 ~ 1.311）	0.231
在家阅读学习时	只开顶灯（对照）		—	—	—	—	—	—
灯光模式	只开台灯		0.568（0.119 ~ 2.724）	0.480	2.159（0.491 ~ 9.490）	0.308	2.533（0.759 ~ 8.454）	0.131
	顶灯、台灯同时开		2.407（0.683 ~ 8.480）	0.172	2.864（0.735 ~ 11.158）	0.130	3.363（1.108 ~ 10.208）	0.032
每日电子产品使用	<0.5（对照）		—	—	—	—	—	—
时长（h）	0.5 ~ 1		1.005（0.524 ~ 1.927）	0.989	0.843（0.459 ~ 1.549）	0.582	0.995（0.587 ~ 1.687）	0.986
	>1		2.943（0.879 ~ 9.845）	0.080	0.410（0.076 ~ 2.212）	0.300	1.597（0.548 ~ 4.652）	0.391
食用花青素食物的	几乎不吃（对照）		—	—	—	—	—	—
频率	≥1 次 / 周		1.124（0.618 ~ 2.044）	0.702	1.071（0.608 ~ 1.886）	0.813	1.381（0.849 ~ 2.246）	0.194

3　讨　论

本研究结果表明，数字化综合干预实施后，学生视力下降趋势呈现减缓特征。干预前后的视力发展轨迹存在异质性，轨迹建模识别出四种视力发展轨迹类型。年级、遗传因素、家庭视力健康教育频率以及在家阅读学习时灯光模式等因素与学生进入不同视力轨迹组的风险显著相关。

本研究结果与国内外相关研究结果总体一致。基于中国、日本及欧美国家的系统评价表明，增加户外活动时间[16]、规范用眼行为[17]、实施健康教育及数字化管理等综合措施[18]，可有效减缓近视进展。尽管本研究未设置平行对照组，无法完全排除自然发育等因素的干扰，但该因素对各组学生的影响方向是一致的。并且对比发现：相较于自然状态下学生视力下降随年级的升高而加速[19]的趋势而言，本研究干预实施后大部分学生视力下降趋势得到一定控制，进一步支持数字化综合干预在近视防控中的积极作用。

本研究基于分段线性潜类别增长模型识别出的

四类视力发展轨迹，与已有研究发现儿童青少年视力进展存在“分层”“分型”特征的结论一致[20]。轨迹组 A 代表早期就已近视的儿童，其生物学易感性强或既有不良用眼累积效应明显，除数字化综合干预外，应联合角膜塑形镜与低浓度阿托品等医学手段[21]，通过家校医联合阻断视力持续恶化。相较轨迹组 C，有遗传因素、女性及高年级学生更易进入组 A。遗传因素可能影响眼轴发育、角膜曲率[18]等；性别差异可能与女生近距离用眼负担更大或青春期发育时间差异对眼轴生长速度的影响有关[22]，但女生对干预依从性更高可能部分减缓下降；高年级则由于学业负担加重，各视力保护因素均受影响。

轨迹组 B 的影响因素有户外活动不足。户外高照度光线可刺激视网膜多巴胺释放，抑制眼轴过度生长[23]；同时减少近距离用眼，提供远距离视觉刺激，有助于维持正常的视觉发育。该组学生干预后视力快速下降得到遏制，说明家校联合数字化综合干预效果理想，建议维持当前强度。

更高的家庭健康教育频率以及在家阅读学习时使用“顶灯 + 台灯”组合灯光模式与进入轨迹组 D 的风险正相关，与多数文献相悖。可能原因在于问卷采集于监测中后期，这种关联更可能是家庭应对行为，即长期视力监测数据使家长注意到孩子视力情况恶劣，因此更频繁地开展健康教育以及改善照明。值得注意的是，尽管家长行为层面给出积极评价，但问卷调查显示其近视认知普遍不足，这种“高行为报告 – 低认知水平” 的悖论可能正是社会期望偏差的体现：家长为维持“尽责”形象而报告符合社会期待的态度与行为，而非真实状况[24]。

轨迹组 D 则在干预后反而出现了更快的视力恶化趋势，需要重点关注，应进一步开展机制探查和多靶点干预，以明确其干预抵抗特征，制定个体化方案以逆转不良趋势。

本研究存在一定局限性，一是研究对象来自单一学校，结论不宜直接推广至全国；二是研究无法完全排除疫情及霍桑效应的影响，问卷调查结果可能受到回忆偏倚或报告偏倚的影响。部分影响近视发生发展的因素未能纳入模型，存在残余混杂。本研究直接排除了约 8%的样本，可能存在选择偏倚，效应估计需谨慎解读。本研究在干预前对学生视力的观测次数有限，且受模型收敛性限制采用一次项线性轨迹，一定程度上影响了干预前趋势的精细刻画能力及模型拟合精度。

利益冲突声明　本研究不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Wang JY, Ying GS, Fu XJ, et al. Prevalence of myopia and vision impairment in school students in Eastern China [J]. BMC Ophthalmology, 2020, 20(1): 2.

[2] 佚名. 近视防治指南（2024 年版）[J]. 眼科新进展，2024，44（8）：589–591.
Anonym. Guidelines for myopia prevention and treatment (2024 Edition)[J]. Advances in Ophthalmology, 2024, 44 (8): 589–591.(In Chinese)

[3] Pan W, Saw SM, Wong TY, et al. Prevalence and temporal trends in myopia and high myopia children in China: a systematic review and meta–analysis with projections from 2020 to 2050 [J]. The Lancet Regional Health – Western Pacific, 2025, 55: 101484.

[4] Li SM, Wei S, Atchison DA,et al.Annual incidences and progressions of myopia and high myopia in Chinese schoolchildren based on a 5–Year cohort study [J]. Investigative Ophthalmology & Visual Science, 2022, 63(1): 8.

[5] Wong TY, Ferreira A, Hughes R, et al. Epidemiology and disease burden of pathologic myopia and myopic choroidal neovascularization: an evidence–based systematic review [J]. American Journal of Ophthalmology, 2014, 157(1): 9–25.e12.

[6] 潘杰，张田丰，张雨萌，等. 数智驱动医疗卫生服务体系高质量发展：发展机制与实施路径 [J]. 四川大学学报（医学版），2024，55（5）：1055–1062.
Pan J, Zhang TF, Zhang YM, et al. Digital intelligence drives the High–Quality development of the healthcare service system: development mechanisms and implementation pathway[J]. Journal of Sichuan University(Medical Sciences), 2024, 55(5): 1055–1062.(In Chinese)

[7] Zuo HY, Huang BY, He J, et al.Machine learning approaches in high myopia: systematic review and Meta–Analysis [J]. Journal of Medical Internet Research, 2025, 27: e57644.

[8] Li Q, Guo L, Zhang JY, et al. Effect of School–Based family health education via social media on children's myopia and parents' awareness: a randomized clinical trial [J]. JAMA Ophthalmology, 2021, 139(11): 1165–1172.

[9] Kubota R, Joshi NR, Fitzgerald TJ, et al. Biometric and refractive changes following the monocular application of peripheral myopic defocus using a novel augmented–reality optical system in adults[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 11875.

[10] Li RY, Zhang KW, Li SM,et al.Implementing a digital comprehensive myopia prevention and control strategy for children and adolescents in China: a cost–effectiveness analysis [J]. The Lancet Regional Health – Western Pacific, 2023, 38: 100837.

[11] 卜倩，李玉芳，朱立清，等. 新疆叶城县维吾尔族儿童青少年散光分布特征及其影响因素 [J]. 中国斜视与小儿眼科杂志，2025，33（2）：27–28，35–37.
Bu Q, Li YF, Zhu LQ, et al. Distribution characteristics and influencing factors of astigmatism in Uyghur children and adolescents in Yecheng County,Xinjiang [J]. Chinese Journal of Strabismus & Pediatric Ophthalmology, 2025, 33(2): 27–28, 35–37. (In Chinese)

[12] Xu LJ, Li HJ, Li F, et al. Investigating the trajectories of poor vision in children and adolescents in Wuhan, China from 2016 to 2019: prospective cohort study [J]. JMIR Public Health and Surveillance, 2025, 11: e53028.

[13] Duan C, Feng F, Liu L, et al. Group-Based trajectory modeling to identify factors influencing the development of myopia in patients receiving orthokeratology [J]. International Journal of General Medicine, 2022, 15: 4151-4162.

[14] 白国欣,曹明聪,李海月,等. 近视儿童青少年角膜塑形镜配戴依从性纵向轨迹分析 [J]. 中国学校卫生,2025,46(5):728-731, 736.
Bai GX, Cao MC, Li HY, et al. Longitudinal trajectory analysis of orthokeratology lens wearing adherence in myopic children and adolescents [J]. Chinese Journal of School Health, 2025, 46 (5): 728-731, 736.(In Chinese)

[15] Nagin DS. Group-based trajectory modeling: an overview [J]. Annals of Nutrition and Metabolism, 2014, 65(2/3): 205-210.

[16] Kido A, Miyake M, Watanabe N. Interventions to increase time spent outdoors for preventing incidence and progression of myopia in children [J]. The Cochrane Database of Systematic Reviews, 2024, 6 (6): CD013549.

[17] Hu YY, Yu MK, Han XT, et al.Behavioral intervention with Eye-Use monitoring to delay myopia onset and progression in children: a cluster randomized trial[J]. Ophthalmology, 2025, 132(6): 701-712.

[18] Xie S, He L, Xie X, et al. Effects of genetic factors and visual behaviors on interventions for myopia prevention and control in children: a systematic review and meta-analysis [J]. Translational Pediatrics, 2025, 14(7): 1602-1615.

[19] Tricard D, Marillet S, Ingrand P, et al. Progression of myopia in children and teenagers: a nationwide longitudinal study [J]. British Journal of Ophthalmology, 2022, 106(8): 1104-1109.

[20] Li YZ, Guo 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): 2500.

[21] Spillmann L. Stopping the rise of myopia in Asia[J]. Graefes Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology, 2020, 258 (5): 943-959.

[22] He T, Yin L, Zheng QQ, et al. Survey on pattern of myopia in school children in Hangzhou after the COVID-19 pandemic: a school-based vision screening study [J]. BMC Public Health, 2024, 24(1): 1850.

[23] Karouta C, Thomson K, Morgan I, et al. Light inhibits Lens-Induced myopia through an Intensity-Dependent dopaminergic mechanism[J]. Ophthalmol Sci, 2025, 5(5): 100779.

[24] Tian Y, Yu Y. Knowledge, attitude and practice towards myopia among parents of primary school students: a cross-sectional study[J]. BMJ Open, 2025, 15(3): e093565.

收稿日期:2026-04-23

(上接第 3136 页)

Economics Research, 2025, 42(3): 63-66.(In Chinese)

[13] 江靖雯,丁明峰,张嘉文,等. 基于倾向性评分匹配法甘肃省油田企业职工睡眠障碍影响因素分析 [J]. 现代预防医学,2023,50(23):4266-4272.
Jiang JW, Ding MF, Zhang JW, et al. Analysis of influencing factors of sleep disorder among staff and workers in oil field enterprises in Gansu Province based on propensity score matching method [J]. Modern Preventive Medicine, 2023, 50(23): 4266-4272.(In Chinese)

[14] Tang J, Yuan J, Wang H, et al. Evaluation of the disease burden of nosocomial infection among inpatients in a cancer hospital based on propensity score matching [J]. Front Public Health, 2025, 13: 1572558.

[15] 钟晓,肖丽华,吴庆飞,等. 基于倾向性评分匹配及广义线性模型的医院感染经济损失研究 [J]. 中华医院感染学杂志,2020,30(1):130-134.
Zhong X, Xiao LH, Wu QF, et al. Research of economic loss due to nosocomial infection based on propensity score matching and generalized linear model[J]. Chinese Journal of Nosocomiology, 2020, 30(1): 130-134.(In Chinese)

[16] 李媛媛,徐慧,程松,等. 基于倾向性评分匹配及广义线性模型的出血性脑卒中医院感染经济负担研究[J]. 中国感染控制杂志,2024,23(7):819-825.
Li YY, Xu H, Cheng S, et al. Study of economic burden of healthcare-associated infection caused by hemorrhagic stroke based on propensity score matching and generalized linear model [J]. Chinese Journal of Infection Control, 2024, 23 (7): 819-825. (In Chinese)

[17] 吉丹霞. 三级公立医院绩效考核背景下手术患者并发症探析[J]. 河南医学高等专科学校学报,2024,36(3):364-367.
Ji DX. Complications of surgical patients under the background of performance appraisal in tertiary public hospitals [J]. Journal of Henan Medical College for Staff and Workers, 2024, 36(3): 364-367. (In Chinese)

[18] 李耿霖,宋文铸,赖悦园,等. 基于神经网络的术后并发症风险预测模型研究进展[J]. 中国现代医药杂志,2022,24(5):92-96.
Li GL, Song WZ, Lai YY, et al. Research progress of risk prediction model for postoperative complications based on neural network [J]. Modern Medicine Journal of China, 2022, 24(5): 92-96.(In Chinese)

[19] 吴业帆,谭文莉,万玲,等. 医疗风险预警系统对武汉市某儿童专科医院术后并发症的干预效果评价 [J]. 医学与社会,2020,33(4):93-97.
Wu YF, Tan WL, Wan L, et al. Evaluation of intervention effect of medical risk warning system on postoperative complications in a children's hospital in wuhan [J]. Medicine and Society, 2020, 33(4): 93-97.(In Chinese)

收稿日期:2026-01-22