

基于随机森林模型分析儿童不同类型离焦眼镜近视防控效果与影响因素

蒋艳良, 覃 冬

引用: 蒋艳良, 覃冬. 基于随机森林模型分析儿童不同类型离焦眼镜近视防控效果与影响因素. 国际眼科杂志, 2025, 25(11): 1748-1753.

基金项目: 成都市医学科研课题 (No.2022014)

作者单位: (610031) 中国四川省成都市第三人民医院眼科

作者简介: 蒋艳良, 男, 本科, 初级技师, 研究方向: 眼视光。

通讯作者: 覃冬, 女, 博士, 副主任医师, 研究方向: 眼视光。
vickyqin84@163.com

收稿日期: 2025-04-16 修回日期: 2025-09-29

摘要

目的: 探讨不同类型离焦眼镜 (HAL 和 DIMS) 与常规单光眼镜 (SVS) 在儿童近视防控中的效果差异, 基于随机森林模型分析其相关影响因素。

方法: 回顾性分析 2022 年 6 月至 2023 年 12 月在成都市第三人民医院就诊的近视患者 190 例 380 眼, 按照近视矫正方式的不同将患者分为 3 组: SVS 组 84 例 168 眼配戴 SVS; HAL 组 58 例 116 眼配戴 HAL; DIMS 组 48 例 96 眼配戴 DIMS, 均选取右眼数据进行分析。随访时间为 12 mo, 比较三组患者一般资料和戴镜前后等效球镜度 (SE) 和眼轴长度 (AL) 指标变化, 并基于随机森林模型和多 Logistic 回归分析筛选影响近视控制效果的因素, 采用 ROC 曲线评估预测效能。

结果: 三组患者戴镜前一般资料比较无差异 ($P>0.05$)。HAL 组和 DIMS 组在控制 SE 和 AL 变化方面优于 SVS 组, 且 HAL 组控制效果优于 DIMS 组 (均 $P<0.05$)。随机森林模型显示, 当影响因素为 3 时, 平均袋外估算误差率最低, 为 0.1988。前三位影响因素依次为 AL、戴镜年龄、裸眼视力。将其纳入多因素 Logistic 回归分析显示 AL 是离焦眼镜防控效果的保护因素, 戴镜年龄、裸眼视力是离焦眼镜防控效果的危险因素, 各指标预测离焦眼镜防控效果的 AUC 分别为 0.802、0.747 和 0.720。

结论: HAL 组近视防控效果优于 DIMS 组和 SVS 组, 患者 AL、戴镜年龄和裸眼视力是影响离焦眼镜防控效果的因素。

关键词: 离焦眼镜; 近视; 高非球微透镜; 多区正向光学离焦眼镜

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2025.11.06

Effectiveness and influencing factors of myopia prevention and control of different types of defocus spectacles in children based on random forest model

Jiang Yanliang, Qin Dong

Foundation item: Chengdu Medical Research Project (No. 2022014)

Department of Ophthalmology, the Third People's Hospital of Chengdu, Chengdu 610031, Sichuan Province, China

Correspondence to: Qin Dong. Department of Ophthalmology, the Third People's Hospital of Chengdu, Chengdu 610031, Sichuan Province, China. vickyqin84@163.com

Received: 2025-04-16 Accepted: 2025-09-29

Abstract

• **AIM:** To investigate the differences in the effectiveness of different types of defocus spectacles—highly aspherical lenslets technology (HAL) and defocus incorporated multiple segments (DIMS)—compared with conventional single-vision spectacles (SVS) in the prevention and control of myopia in children, and to analyze related influencing factors based on a random forest model.

• **METHODS:** A retrospective analysis was conducted on 190 myopic children (380 eyes) who attended the Ophthalmology Department of the Third People's Hospital of Chengdu between June 2022 and December 2023. According to the types of spectacle correction, patients were divided into three groups: SVS (84 cases, 168 eyes), HAL (58 cases, 116 eyes), and DIMS (48 cases, 96 eyes), all data from the right eye were selected for analysis, with a follow-up period of 12 mo. General information and changes in spherical equivalent (SE) and axial length (AL) were observed and compared among the three groups. A random forest model combined with Logistic regression analysis was used to identify factors influencing the effectiveness of treatment, and the predictive performance of these factors was evaluated using receiver operating characteristic (ROC) curves.

• **RESULTS:** There was no statistical significance in the general characteristics among the three groups of patients before wearing lenses ($P>0.05$). Both the HAL and DIMS groups showed better control of SE progression and AL changes compared to the SVS group, and the HAL group demonstrated superior control effect compared to the DIMS group (all $P<0.05$). The random forest model

indicated that the lowest mean out-of-bag estimation error rate, which was 0.1988, was achieved when the number of variables was 3, and the top 3 influencing factors were AL, spectacle-wearing age, and uncorrected visual acuity. Multivariate Logistic regression analysis revealed that AL was a protective factor for the effectiveness of defocus spectacles, while spectacle-wearing age and uncorrected visual acuity were risk factors. The area under the curve (AUC) values for predicting the effectiveness of defocus spectacles were 0.802, 0.747, and 0.720 for AL, spectacle-wearing age, and uncorrected visual acuity, respectively.

• **CONCLUSION:** The HAL group demonstrated better effectiveness in myopia prevention and control compared to the DIMS and SVS groups. AL, spectacle-wearing age, and uncorrected visual acuity were identified as independent factors influencing the effectiveness of defocus spectacles.

• **KEYWORDS:** defocus spectacles; myopia; highly aspherical lenslets technology; defocus incorporated multiple segments

Citation: Jiang YL, Qin D. Effectiveness and influencing factors of myopia prevention and control of different types of defocus spectacles in children based on random forest model. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025,25(11):1748-1753.

0 引言

随着电子设备的普及、户外活动时间的减少和学习压力的增加,近视在儿童中的发病率显著上升,已成为全球范围内的一项重大公共卫生问题^[1]。儿童时期近视的快速进展不仅会导致高度近视的发生,还与后续视网膜脱离、青光眼、黄斑病变等严重并发症相关,严重威胁视力健康及生活质量^[2-3]。传统的近视矫正方法如普通框架眼镜、隐形眼镜等仅仅将光线聚焦在视网膜中心,虽然能矫正屈光不正,但对周边视网膜的离焦作用有限,而周边视网膜的持续性离焦才是近视进展的关键诱因之一^[4]。近年来,高非球微透镜(highly aspherical lenslets technology, HAL)和多区正向光学离焦眼镜(defocus incorporated multiple segments, DIMS)作为新型干预手段,凭借其对视网膜周边离焦的调节作用,在近视防控领域逐渐受到关注^[5-6]。尽管HAL和DIMS眼镜在儿童近视防控中已展现出一定的临床价值,但其在实际应用中的疗效差异及潜在影响因素尚未得到系统探讨。本研究旨在系统分析HAL和DIMS在儿童近视防控中的效果与影响因素,期望为临床实践提供更有力的支持,同时为制定更精准的近视防控策略奠定科学基础。

1 对象和方法

1.1 对象 回顾性分析2022年6月至2023年12月在成都市第三人民医院眼科专科门诊就诊的近视患者190例380眼,其中男102例204眼,女88例176眼,平均年龄 9.60 ± 2.07 岁。按照近视矫正方式的不同将患者分为3组:单光眼镜(single-vision spectacles, SVS)组84例168眼配戴SVS;HAL组58例116眼配戴HAL;DIMS组48例96眼配戴DIMS,均选取右眼数据进行分析。纳入标准:(1)年龄6-14岁;(2)无其他眼部疾病史或手术史;(3)

戴镜前等效球镜度为-0.75--6.00 D;(4)双眼等效球镜度相差 <1.00 D;(5)最佳矫正视力 ≤ 0.1 (LogMAR)。排除标准:(1)合并其他屈光不正如远视;(2)合并双眼视功能异常如弱视;(3)曾使用角膜塑形镜或低浓度阿托品;(4)合并其他眼部疾病如白内障、青光眼、斜视等;(5)近1 a内有重大全身性疾病或眼部创伤史;(6)对试验设备或检查过程过敏或不耐受;(7)不能按时复查者。本研究经本院伦理委员会审查(2024-LL-1105),所有参与者(及其监护人)均签署知情同意书。

1.2 方法 配镜前先仔细询问患者的戴镜史、眼部疾病、过敏史等基本情况。所有患者均行裸眼视力、睫状肌麻痹验光、眼轴长度(axial length, AL)、非接触式眼压计、裂隙灯、角膜地形图、眼表综合分析仪等眼科常规检查。根据患者角膜曲率、等效球镜度(spherical equivalent refraction, SE)、AL、角膜散光、视功能、家族史及用眼习惯等验光结果选择镜片,所有患者近视度数均足矫。SVS组患者配戴无近视防控设计的单光眼镜;HAL组配戴HAL框架眼镜;DIMS组配戴DIMS框架眼镜。戴镜周期为12 mo,所有患者均遵循医嘱,除睡觉时间外都配戴眼镜,每天配戴时间至少10 h,每6 mo定期回访监测疗效。当后续检查中发现裸眼视力下降 ≥ 2 行或镜片存在磨损、裂纹等问题时,立即更换镜片。比较三组患者戴镜前、戴镜后6、12 mo以下指标:采用睫状肌麻痹状态下综合验光仪进行主觉验光测量SE、采用IOL Master 700光学生物测量仪测量AL,均取3次测量的平均值。

患者戴镜后12 mo回访时,研究人员组织开展标准化问卷调查,收集患者的一般人口学资料及日常用眼行为信息。调查前向患者及其法定监护人详细介绍本研究的目的、意义及操作流程,征得知情同意后,由受过培训的工作人员指导填写问卷。问卷内容包括:戴镜年龄、近视发生年龄、性别、居住地类型、是否为独生子女、在读学段、父母近视史、所配戴的眼镜类型、每日户外活动时间、每日睡眠时长、每日读写时间、老师上课是否使用PPT、天黑后是否关灯看电子屏幕、天黑后在家读写灯光类型、每日使用移动设备时间,以及正确用眼卫生行为评分等。并通过医院电子病历系统及标准眼科检查获取患者的眼部生理参数,包括瞳孔直径、裸眼视力、SE、AL、角膜曲率和角膜中央厚度。为评价离焦眼镜防控效果,观察HAL组和DIMS组患者戴镜12 mo后SE年增长量进行分组:SE年增长量 <0.25 D纳入有效组, ≥ 0.25 D纳入无效组^[7],比较两组在人口学特征和基础眼部参数的差异。

统计学分析:使用SPSS 26.0和R 4.3.2软件进行数据分析,符合正态分布且方差齐的连续变量数据以均数 \pm 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,两组间比较采用独立样本 t 检验;三组间比较采用单因素方差分析;重复测量数据采用重复测量方差分析,进一步两两比较采用LSD- t 检验。分类变量用 $n(\%)$ 表示,组间比较采用 χ^2 检验。采用随机森林、多因素Logistic回归分析影响离焦眼镜防控效果的因素,绘制ROC曲线分析相关因素对近视防控效果的预测效能。双侧检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 三组患者戴镜前一般资料比较 三组患者戴镜前一般资料比较差异均无统计学意义($P>0.05$),见表1。

2.2 三组患者戴镜前后SE及 Δ SE比较 三组患者戴镜

前后 SE 比较组间差异无统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 0.501, P_{\text{组间}} = 0.607$), 时间和交互比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 1165, P_{\text{时间}} < 0.05; F_{\text{交互}} = 150.3, P_{\text{交互}} < 0.05$), 进一步两两比较结果见表 2。戴镜后, 三组患者 SE 均呈增加趋势, 见图 1A。戴镜 6、12 mo 后三组患者 Δ SE 比较差异均有统计学意义 ($F = 32.66, P < 0.01; F = 195.6, P < 0.01$), 进一步两两比较结果见表 2。

2.3 三组患者戴镜前后 AL 及 Δ AL 比较 三组患者戴镜前后 AL 比较组间差异无统计学意义 ($F_{\text{组间}} = 0.556, P_{\text{组间}} = 0.574$), 时间和交互比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 1853, P_{\text{时间}} < 0.05; F_{\text{交互}} = 155.1, P_{\text{交互}} < 0.05$), 进一步两两比较结果见表 3。戴镜后, 三组患者 AL 均呈增加趋势, 见图 1B。戴镜 6、12 mo 后三组患者 Δ AL 比较差异均有统计学意义 ($F = 108.4, P < 0.01; F = 2139, P < 0.01$), 进一步两两比较结果见表 3。

2.4 影响离焦眼镜防控效果的单因素分析 根据离焦眼镜配戴患者近视控制效果分为有效组 ($n = 72$) 与无效组 ($n = 34$)。两组患者戴镜年龄、近视发生年龄、性别构成、

每日户外活动时长、每日睡眠时长、每日读写时长、正确用眼卫生行为评分、裸眼视力、SE、AL 比较差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$), 见表 4。

2.5 离焦眼镜防控效果特征变量的筛选与降维 以防控效果为因变量, 将单因素分析有意义的变量运用随机森林算法进行重要性排序。为确保随机森林模型特征重要性排序的科学性与可靠性, 在变量筛选前对所有候选变量进行方差膨胀因子 (variance inflation factor, VIF) 分析, 结果显示所有变量 VIF 值均小于 10, 未见严重共线性问题, 具备进入随机森林分析的条件。依据平均准确度值排序影响最大的因素依次是: AL (32.16)、戴镜年龄 (24.53)、裸眼视力 (19.25)、正确用眼卫生行为 (12.37)、近视发生年龄 (11.18)、户外活动时长 (8.52)、每日睡眠时长 (7.35)、性别 (6.71)、每日读写时长 (3.34) 和 SE (2.42), 见图 2。以最重要影响因素为起点, 进行逐步随机森林分析。结果显示, 当影响因素为 3 时, 随机森林模型表现最佳, 此时的平均袋外估算误差率最低, 为 0.1988, 见图 3。前三位影响因素依次为 AL、戴镜年龄、裸眼视力。

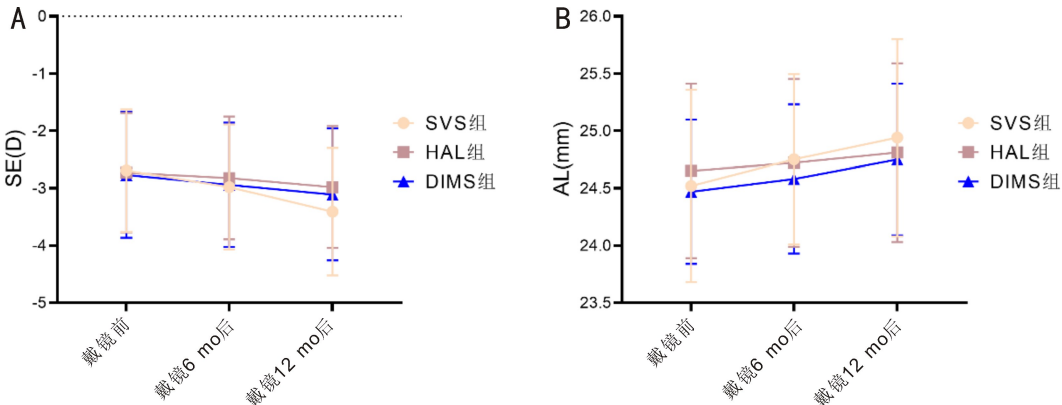


图 1 三组患者近视防控指标变化趋势 A:SE;B:AL。

表 1 三组患者戴镜前一般资料比较

分组	例数(眼数)	性别(男/女,例)	年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	裸眼视力($\bar{x} \pm s$, LogMAR)	SE($\bar{x} \pm s$, D)	AL($\bar{x} \pm s$, mm)
SVS 组	84(84)	44/40	9.81 \pm 2.04	0.60 \pm 0.14	-2.69 \pm 1.07	24.52 \pm 0.84
HAL 组	58(58)	32/26	9.45 \pm 2.05	0.62 \pm 0.11	-2.73 \pm 1.04	24.65 \pm 0.76
DIMS 组	48(48)	26/22	9.33 \pm 1.97	0.63 \pm 0.12	-2.77 \pm 1.10	24.47 \pm 0.63
χ^2/F		0.114	1.026	0.963	0.088	0.816
P		0.945	0.360	0.384	0.916	0.444

表 2 三组患者戴镜前后 SE 及 Δ SE 比较

($\bar{x} \pm s$, D)

分组	眼数	SE			Δ SE	
		戴镜前	戴镜 6 mo 后	戴镜 12 mo 后	戴镜 6 mo 后-戴镜前	戴镜 12 mo 后-戴镜前
SVS 组	84	-2.69 \pm 1.07	-2.98 \pm 1.09 ^a	-3.41 \pm 1.11 ^{a,c}	-0.29 \pm 0.16	-0.72 \pm 0.17
HAL 组	58	-2.73 \pm 1.04	-2.82 \pm 1.07 ^a	-2.98 \pm 1.06 ^{a,c}	-0.09 \pm 0.14 ^e	-0.25 \pm 0.14 ^e
DIMS 组	48	-2.77 \pm 1.10	-2.94 \pm 1.08 ^a	-3.11 \pm 1.15 ^{a,c}	-0.17 \pm 0.11 ^{e,g}	-0.34 \pm 0.13 ^{e,g}

注:^a $P < 0.05$ vs 戴镜前;^c $P < 0.05$ vs 戴镜 6 mo 后;^e $P < 0.05$ vs SVS 组;^g $P < 0.05$ vs HAL 组。

表 3 三组患者戴镜前后 AL 及 Δ AL 比较

($\bar{x} \pm s$, mm)

分组	眼数	AL			Δ AL	
		戴镜前	戴镜 6 mo 后	戴镜 12 mo 后	戴镜 6 mo 后-戴镜前	戴镜 12 mo 后-戴镜前
SVS 组	84	24.52 \pm 0.84	24.75 \pm 0.74 ^a	24.94 \pm 0.86 ^{a,c}	0.23 \pm 0.10	0.42 \pm 0.02
HAL 组	58	24.65 \pm 0.76	24.72 \pm 0.73 ^a	24.81 \pm 0.78 ^{a,c}	0.07 \pm 0.03 ^e	0.16 \pm 0.02 ^e
DIMS 组	48	24.47 \pm 0.63	24.58 \pm 0.65 ^a	24.75 \pm 0.66 ^{a,c}	0.11 \pm 0.02 ^{e,g}	0.28 \pm 0.03 ^{e,g}

注:^a $P < 0.05$ vs 戴镜前;^c $P < 0.05$ vs 戴镜 6 mo 后;^e $P < 0.05$ vs SVS 组;^g $P < 0.05$ vs HAL 组。

表 4 影响离焦眼镜防控效果的单因素分析

指标		有效组(n=72)	无效组(n=34)	t/χ ²	P
戴镜年龄($\bar{x}\pm s$,岁)		8.97±1.56	10.56±1.74	4.719	<0.001
近视发生年龄($\bar{x}\pm s$,岁)		7.64±1.37	8.38±1.29	2.644	0.009
性别(例,%)	男	38(52.8)	26(76.5)	5.419	0.020
	女	34(47.2)	8(23.5)		
居住地(例,%)	乡村	11(15.3)	4(11.8)	0.235	0.628
	城镇	61(84.7)	30(88.2)		
独生子女(例,%)	是	45(62.5)	22(64.7)	0.048	0.826
	否	27(37.5)	12(35.3)		
学段(例,%)	小学 1-3 年级	26(36.1)	6(17.6)	4.409	0.110
	小学 4-6 年级	38(52.8)	21(61.8)		
	初中	8(11.1)	7(20.6)		
父母近视情况(例,%)	均近视	24(33.3)	10(29.4)	0.297	0.862
	一方近视	34(47.2)	16(47.1)		
	均不近视	14(19.5)	8(23.5)		
戴镜类型(例,%)	HAL	43(59.7)	15(44.1)	2.270	0.132
	DIMS	29(40.3)	19(55.9)		
每日户外活动时长(例,%)	<1 h/d	18(25.0)	9(26.5)	8.334	0.015
	1-2 h/d	20(27.8)	18(52.9)		
	≥2 h/d	34(47.2)	7(20.6)		
每日睡眠时长(例,%)	<8 h/d	25(34.7)	20(58.8)	5.491	0.019
	≥8 h/d	47(65.3)	14(41.2)		
每日读写时长(例,%)	<1 h/d	14(19.5)	4(11.8)	7.651	0.022
	1-2 h/d	34(47.2)	9(26.5)		
	≥2 h/d	24(33.3)	21(61.7)		
老师上课是否	是	62(86.1)	28(82.4)	0.255	0.614
使用 PPT(例,%)	否	10(13.9)	6(17.6)		
天黑后是否关灯看	是	6(8.3)	2(5.9)	0.199	0.656
电子屏幕(例,%)	否	66(91.7)	32(94.1)		
天黑后在家读写灯光类型(例,%)	同时使用台灯和屋顶灯	56(77.8)	28(82.3)	0.433	0.805
	仅使用台灯	4(5.5)	2(5.9)		
	仅使用屋顶灯	12(16.7)	4(11.8)		
每日使用移动设备时间($\bar{x}\pm s$,h)		1.84±0.58	1.97±0.61	1.059	0.292
正确用眼卫生行为评分($\bar{x}\pm s$,分)		15.58±3.67	13.64±3.56	2.564	0.012
瞳孔直径($\bar{x}\pm s$,mm)		3.64±0.64	3.65±0.70	0.073	0.942
裸眼视力($\bar{x}\pm s$,LogMAR)		0.64±0.10	0.72±0.09	3.966	<0.001
SE($\bar{x}\pm s$,D)		-2.47±1.01	-2.98±1.40	2.135	0.035
AL($\bar{x}\pm s$,mm)		25.24±1.06	24.16±0.80	5.269	<0.001
角膜曲率($\bar{x}\pm s$,D)		43.14±1.21	43.18±1.05	0.162	0.871
角膜中央厚度($\bar{x}\pm s$,μm)		537.56±6.52	538.51±6.17	0.712	0.478

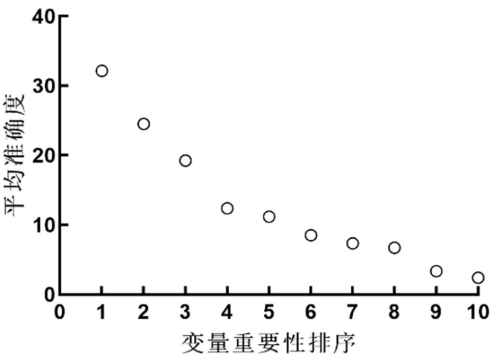


图 2 影响离焦眼镜防控效果因素重要性排序。

2.6 多因素 Logistic 回归分析影响离焦眼镜防控效果的因素 以防控效果为因变量,患者 AL、戴镜年龄、裸眼视力为自变量行多因素 Logistic 分析,结果显示 AL 是离焦眼镜防控效果的保护因素,而戴镜年龄和裸眼视力是离焦眼镜防控效果的危险因素 ($P<0.05$),见表 5。

2.7 离焦眼镜防控效果相关因素的预测价值 ROC 曲线分析显示 AL 预测离焦眼镜防控效果的 AUC 为 0.802,此时的灵敏度为 88.24%,特异度为 80.56%;戴镜年龄预测离焦眼镜防控效果的 AUC 为 0.747,此时的灵敏度为 52.94%,特异度为 86.11%;裸眼视力预测离焦眼镜防控效果的 AUC 为 0.720,此时的灵敏度为 88.24%,特异度为 58.33%,见表 6,图 4。

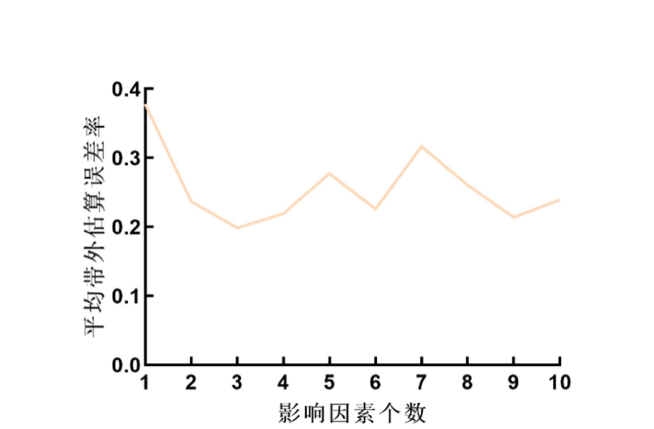


图3 平均袋外估算误差率。

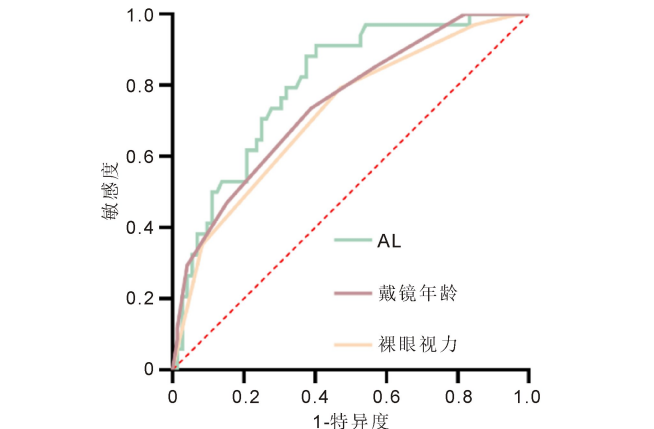


图4 离焦眼镜防控效果相关因素的预测 ROC 曲线。

表 5 多因素 Logistic 回归分析影响离焦眼镜防控效果的因素

变量	β	<i>SE</i>	<i>Z</i>	<i>OR</i>	95% <i>CI</i>	<i>P</i>
AL	-0.968	0.370	-2.614	0.380	0.184-0.785	0.009
戴镜年龄	0.524	0.230	2.274	1.688	1.075-2.651	0.023
裸眼视力	1.036	0.437	2.370	2.817	1.196-6.632	0.018

表 6 离焦眼镜防控效果相关因素的预测价值分析

变量	AUC	<i>S.E</i>	95% <i>CI</i>	灵敏度(%)	特异度(%)	<i>P</i>
AL	0.802	0.044	0.717-0.888	88.24	80.56	<0.001
戴镜年龄	0.747	0.050	0.648-0.845	52.94	86.11	<0.001
裸眼视力	0.720	0.053	0.616-0.823	88.24	58.33	<0.001

3 讨论

我国儿童近视的发病率尤为突出,部分地区学龄儿童的近视率已超过 70%,尽早干预和有效防控近视进展,对于儿童的视觉健康和全生命周期的眼病预防具有重要意义^[8-9]。“视网膜周边离焦理论”指出周边离焦通过改变视网膜信号,引起巩膜缺氧,导致 AL 增长诱导近视^[10]。HAL 是一种非球面微透镜,镜片中央区为球形设计,大约 9 mm,中周边为离焦区域,由连续的 11 个同心圆环构成。DMIS 是一种多点近视离焦镜,镜片中央区为球形设计,大约 9.4 mm,中周边为治疗区,由 396 个球形微透镜组成^[11]。HAL 和 DMIS 都是基于“视网膜周边离焦理论”的近视矫正产品。已有研究指出,与 SVS 相比,HAL 和 DMIS 在减缓青少年近视进展方面效果较优^[6,12]。然而,目前对于 HAL 和 DMIS 之间的直接效果对比,以及对影响其防控效果关键因素的探讨相对缺乏。基于此,本研究系统比较三组患者配戴离焦眼镜(HAL 组、DIMS 组)和常规单光眼镜(SVS 组)后近视防控效果的差异,并通过应用随机森林算法结合多因素 Logistic 回归对影响离焦眼镜防控效果的关键因素进行了深入探讨。

SE 是评估近视程度变化的核心指标,通常反映屈光状态的变化趋势,与患者近视进展有关^[13]。本研究结果显示,戴镜 6、12 mo 后,三组 SE 均呈增加趋势,但 HAL 组和 DIMS 组的 SE 增加幅度明显低于 SVS 组,这与既往研究的结果一致^[6,12],再次验证离焦眼镜在延缓近视屈光度进展方面的优越性。其可能机制在于离焦眼镜通过在视网膜周边制造相对性近视性离焦,抑制促眼轴延伸的信号通路,减缓近视进展^[14]。AL 是影响近视发展的核心生物学结构指标,眼轴的延长会导致视网膜离焦,进一步加重

近视^[15]。本研究结果同样发现 HAL 组和 DIMS 组的 AL 增长幅度均低于 SVS 组。这可能与其特殊光学结构相关,HAL 和 DMIS 能在周边视网膜位置产生高强度的近视性离焦,从而显著抑制眼球前后径的延展^[11]。HAL 组的 SE 变化量和 AL 变化量低于 DIMS 组,分析可能是 HAL 离焦区域设计更加精确,其离焦面积和离焦量高于 DIMS,能够更有效地调控周边离焦的程度,从而延缓近视进展^[16]。另外,HAL 独特的微透镜设计,导致其高阶球差高于 DIMS,对视网膜成像模糊刺激更强烈,使其对控制 AL 增长起到更积极的作用^[17]。

本研究还创新性采用随机森林算法筛选结合多因素 Logistic 回归分析,系统识别并验证了影响离焦眼镜防控效果的关键因素。结果显示,AL、戴镜年龄和裸眼视力是影响疗效的因素。其中,戴镜年龄较小和 AL 较长的患者疗效更佳。年龄较小儿童眼球可塑性强,此时施加周边离焦刺激能更有效抑制巩膜伸展^[18-19]。而较长的基线 AL 可能意味着更显著的视网膜周边离焦状态,从而增强离焦眼镜的矫正效果^[20]。裸眼视力较差的患者疗效可能受益于更强的矫正需求带来的依从性提升,以及近视度数本身可能增强的周边离焦效应。ROC 曲线分析显示,AL、戴镜年龄和裸眼视力预测个体疗效方面具有潜在的实用价值,为未来实现个体化干预提供初步依据。

综上所述,本研究通过多指标评估,证实了 HAL 和 DIMS 在延缓儿童近视屈光度进展和眼轴增长方面优于 SVS,并表明 HAL 在短期内较于 DIMS 镜可能更具优势。此外,本研究还揭示了 AL、戴镜年龄和裸眼视力是影响离焦眼镜疗效的关键可预测因素,明确其最佳适用人群特征,为离焦眼镜的个体化临床选择与应用提供重要的理论

支持和指导。本研究仍存在一定局限性:(1)作为一项单中心回顾性研究,受限于相关患者数量,本研究仅对比分析了 HAL 和 DIMS 两种离焦眼镜的效果,未能纳入其他主流近视防控技术(如角膜塑形镜、低浓度阿托品滴眼液)及多种干预手段的联合应用,难以保证数据的完整性与科学性。(2)样本量相对有限且均来自同一地区,可能影响结果的广泛适用性和推广价值。(3)12 mo 的随访周期较短,尚无法充分评估不同类型离焦眼镜在儿童青少年近视防控中的长期疗效及安全性,特别是对其角膜健康、眼轴增长的持续性影响。(4)研究未构建基于变量组合预测个体干预效果的模型,数据分析以内部特征为主,缺乏外部队列验证,限制了风险分层管理和临床应用的稳定性。针对上述局限,未来研究应通过前瞻性、多中心、大样本设计,纳入更多主流近视防控技术,系统对比不同干预模式的疗效;在扩大样本基础上,进一步延长随访时间,动态评估不同干预手段在不同年龄阶段儿童中的长期效果和安全性;同时可考虑在大样本基础上采用机器学习等策略构建个体化疗效预测模型,实现风险分层管理,并在不同区域、不同民族背景的人群中进行外部验证,从而为儿童青少年近视防控提供更加科学、全面且具有临床可应用性的循证依据。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:蒋艳良论文选题与修改,文献检索,数据分析,初稿撰写;覃冬选题指导,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, Lan WZ. The current and future landscape of the childhood myopia epidemic in China—a review. *Ophthalmol Ther*, 2024, 13(4): 883–894.

[2] Lanca C, Foo LL, Ang M, et al. Rapid myopic progression in childhood is associated with teenage high myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2021, 62(4): 17.

[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] 李浩彬, 葛金玲. 离焦框架眼镜对儿童青少年近视控制效果的研究进展. *玻璃搪瓷与眼镜*, 2024, 52(7): 1–6.

[5] 赵雨暄, 杨必, 李晓莹, 等. 高非球微透镜框架眼镜联合 0.01% 阿托品滴眼液的近视控制效果分析. *四川大学学报(医学版)*, 2024, 55(5): 1280–1287.

[6] 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.

[7] 国家卫生健康委办公厅. 近视防治指南(2024 年版). *眼科新进展*, 2024, 44(8): 589–591.

[8] Zhang D, Sun BJ, Wu M, et al. Prevalence and associated factors of myopia among school students in Shenyang, China: a cross-sectional study. *Front Public Health*, 2023, 11: 1239158.

[9] He XG, Sankaridurg P, Xiong SY, 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. *BMJ Open*, 2021, 11(12): e048450.

[10] 姚璐, 刘勇, 齐林嵩. 视网膜周边离焦与近视防控的研究进展. *国际眼科杂志*, 2024, 24(4): 580–584.

[11] 邵毅, 曾艳梅, 肖轶尘. 防控近视新热点: Premyopia 解读. *眼科新进展*, 2024, 44(12): 925–929.

[12] 赖伟霞, 曾进, 贾亦悦, 等. 高非球微透镜对儿童青少年低度近视的控制效果. *国际眼科杂志*, 2024, 24(1): 127–130.

[13] Polling JR, Klaver C, Tideman JW. Myopia progression from wearing first glasses to adult age: the DREAM Study. *Br J Ophthalmol*, 2022, 106(6): 820–824.

[14] Erdinest N, London N, Lavy I, et al. Peripheral defocus and myopia management: a mini-review. *Korean J Ophthalmol*, 2023, 37(1): 70–81.

[15] Public Health Ophthalmology Branch of Chinese Preventive Medicine Association. Chinese expert consensus on the reference interval of ocular hyperopia reserve, axial length, corneal curvature and genetic factors in school-age children (2022). *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 2022, 58(2): 96–102.

[16] Bao JH, Yang A, Huang YY, et al. One-year myopia control efficacy of spectacle lenses with aspherical lenslets. *Br J Ophthalmol*, 2022, 106(8): 1171–1176.

[17] 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.

[18] Tricard D, Marillet S, Ingrand P, et al. Progression of myopia in children and teenagers: a nationwide longitudinal study. *Br J Ophthalmol*, 2022, 106(8): 1104–1109.

[19] Carlà MM, Boselli F, Giannuzzi F, et al. Overview on defocus incorporated multiple segments lenses: a novel perspective in myopia progression management. *Vision (Basel)*, 2022, 6(2): 20.

[20] 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.