

缩小角膜塑形镜后表面光学区直径对角膜高阶像差的影响

赵丹丹, 赵钰冰, 何阳, 陆盛荣, 袁圆

引用: 赵丹丹, 赵钰冰, 何阳, 等. 缩小角膜塑形镜后表面光学区直径对角膜高阶像差的影响. 国际眼科杂志, 2025, 25(2): 213-219.

基金项目: 云南省中青年学术和技术带头人后备人才项目 (No. 202405AC350103); 昆明市局级卫生科研课题 (No. 2022-07-02-006)

作者单位: (650051) 中国云南省昆明市延安医院眼科

作者简介: 赵丹丹, 女, 副主任医师, 研究方向: 眼表疾病、眼视光。

通讯作者: 何阳, 男, 主任医师, 研究方向: 高度近视、屈光手术. ynheyang1973@163.com

收稿日期: 2024-08-03 修回日期: 2024-12-31

摘要

目的: 观察缩小角膜塑形镜后表面光学区直径后角膜高阶像差与相对屈光力值的改变。

方法: 选取 8-12 岁适合且愿意配戴角膜塑形镜的近视患者, 随机分为 6.0 mm 后表面光学区直径塑形镜组和 5.0 mm 后表面光学区直径塑形镜组, 研究两组患者戴镜后 1 d, 1 wk, 1, 3 mo 的角膜高阶像差、相对屈光力值与治疗区直径大小, 对角膜高阶像差增加量与相对屈光力值大小进行相关性分析。

结果: 两组患者不同直径的角膜总高阶像差、球差与彗差增量会随着戴镜时长出现变化 (均 $P < 0.001$), 两组间的总高阶像差与彗差变化值比较均无差异 (均 $P > 0.05$)。两组患者 5 mm 范围的球差增量存在显著差异, 增量随时间的变化趋势有显著差异 ($F_{\text{时间}} = 40.179, P_{\text{时间}} < 0.001$; $F_{\text{分组}} = 11.948, P_{\text{分组}} = 0.001$; $F_{\text{交互}} = 3.262, P_{\text{交互}} = 0.03$)。4 mm 范围的两组球差增量存在显著差异 ($F_{\text{时间}} = 34.462, P_{\text{时间}} < 0.001$; $F_{\text{分组}} = 13.094, P_{\text{分组}} < 0.001$; $F_{\text{交互}} = 1.372, P_{\text{交互}} = 0.25$)。相对屈光力会随着戴镜时长出现变化 ($F_{\text{时间}} = 40.030, P_{\text{时间}} < 0.001$), 两组间的相对屈光力值无差异 ($F_{\text{分组}} = 0.048, P_{\text{分组}} = 0.83$; $F_{\text{交互}} = 1.208, P_{\text{交互}} = 0.31$)。治疗区直径随着戴镜时长出现变化, 两组间的治疗区直径大小有差异 ($F_{\text{时间}} = 11.212, P_{\text{时间}} < 0.001$; $F_{\text{分组}} = 74.073, P_{\text{分组}} < 0.001$; $F_{\text{交互}} = 0.312, P_{\text{交互}} = 0.82$)。4、5、6 mm 范围内的总高阶像差增量、球差增量、彗差增量与相对屈光力值均呈正相关 (均 $P < 0.001$)。戴镜 3、6、12 mo 后, 两组眼轴比较有差异 ($F_{\text{时间}} = 185.398, P_{\text{时间}} < 0.001$; $F_{\text{分组}} = 5.618, P_{\text{分组}} = 0.02$; $F_{\text{交互}} = 2.315, P_{\text{交互}} = 0.11$)。

结论: 配戴角膜塑形镜增加高阶像差, 角膜塑形镜的后表面光学区直径缩小, 治疗区直径变小, 4、5 mm 范围内角膜球差增大。角膜前表面高阶像差与角膜相对屈光力正相关。配戴后表面光学区直径更小的角膜塑形镜, 眼轴增长更缓慢, 近视控制效果更好。

关键词: 角膜塑形镜; 后表面光学区直径; 近视; 高阶像差
DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.2.06

Effect of the reduction of back optic zone diameters of orthokeratology lenses on corneal higher-order aberrations

Zhao Dandan, Zhao Yubing, He Yang, Lu Shengrong, Yuan Yuan

Foundation items: Young and Middle-aged Academic and Technical Leaders Reserve Talent Program in Yunnan Province (No. 202405AC350103); Kunming Municipal Health Research Project (No. 2022-07-02-006)

Department of Ophthalmology, Yan'an Hospital of Kunming City, Kunming 650051, Yunnan Province, China

Correspondence to: He Yang, Department of Ophthalmology, Yan'an Hospital of Kunming City, Kunming 650051, Yunnan Province, China. ynheyang1973@163.com

Received: 2024-08-03 Accepted: 2024-12-31

Abstract

• **AIM:** To investigate the alterations in corneal aberration and relative refractive power following the reduction of back optic zone diameters (BOZD) of orthokeratology lenses.

• **METHODS:** Myopic children aged 8-12 years, deemed suitable and willing to wear orthokeratology lenses, were randomly allocated to wear lenses with a 6.0 mm BOZD or a 5.0 mm BOZD. Data collection included changes in higher-order aberrations, relative refractive power and the treatment zone diameter of the two groups after wearing lenses for 1 d, 1 wk, 1, and 3 mo. The correlation of increase in corneal higher-order aberrations with refractive power was analyzed.

• **RESULTS:** The increases in total higher-order aberrations, spherical aberrations and coma aberrations varied over time following lens wear (all $P < 0.001$), and there were no statistically significant differences in the changes of total higher-order aberrations and coma aberrations between the two groups of patients (all $P > 0.05$). A significant difference was observed in the increment of spherical aberrations in the 5 mm range between the two groups of patients, which varied over time ($F_{\text{time}} = 40.179, P_{\text{time}} < 0.001$; $F_{\text{group}} = 11.948, P_{\text{group}} = 0.001$; $F_{\text{interaction}} = 3.262, P_{\text{interaction}} = 0.03$). A significant difference was observed in the increment of spherical aberrations in the 4 mm range between the two patient

groups ($F_{\text{time}} = 34.462$, $P_{\text{time}} < 0.001$; $F_{\text{group}} = 13.094$, $P_{\text{group}} < 0.001$; $F_{\text{interaction}} = 1.372$, $P_{\text{interaction}} = 0.25$). There was no statistically significant distinction in relative refractive power between the two groups ($F_{\text{group}} = 0.048$, $P_{\text{group}} = 0.83$; $F_{\text{interaction}} = 1.208$, $P_{\text{interaction}} = 0.31$); however, relative refractive power changed over time ($F_{\text{time}} = 40.030$, $P_{\text{time}} < 0.001$). The difference in treatment zone diameter between the two groups was statistically significant, with changes over time ($F_{\text{time}} = 11.212$, $P_{\text{time}} < 0.001$; $F_{\text{group}} = 74.073$, $P_{\text{group}} < 0.001$; $F_{\text{interaction}} = 0.312$, $P_{\text{interaction}} = 0.82$). The total higher-order aberrations, spherical aberrations, and coma aberrations in 4, 5 and 6 mm range showed a positive correlation with relative refractive power values (all $P < 0.001$). Statistically significant difference was observed in the axial length between the two groups after wearing lenses for 3, 6 and 12 mo ($F_{\text{time}} = 185.398$, $P_{\text{time}} < 0.001$; $F_{\text{group}} = 5.618$, $P_{\text{group}} = 0.02$; $F_{\text{interaction}} = 2.315$, $P_{\text{interaction}} = 0.11$).

• **CONCLUSION:** Orthokeratology lenses led to elevated higher-order aberrations. Orthokeratology lenses with smaller BOZD produced significantly greater spherical aberrations at 4 and 5 mm range and smaller treatment zone diameters. The corneal total higher-order aberration was positively correlated with relative refractive power. Wearing orthokeratology lenses with a smaller BOZD can cause slower axial growth and better myopia control.

• **KEYWORDS:** orthokeratology; back optic zone diameter; myopia; higher order aberrations

Citation: Zhao DD, Zhao YB, He Y, et al. Effect of the reduction of back optic zone diameters of orthokeratology lenses on corneal higher-order aberrations. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025, 25(2):213-219.

0 引言

近年来,世界各地的近视患病率不断增加,根据国家疾控局检测数据显示,2021年我国儿童青少年总体近视率为52.6%^[1]。国内外大量研究证实,角膜塑形镜能有效减缓近视儿童的眼轴增长^[2],成为控制近视进展的常用手段^[3]。目前角膜塑形镜减缓眼轴增长的机制未完全探明,像差的改变或许是其中重要的影响因素^[4],也有研究显示缩小角膜塑形镜的光学区直径可以产生更大的周边屈光力,从而更有效地控制眼轴增长^[5-6]。以往的像差与角膜塑形镜的研究往往集中在单一直径范围或某一时间点的像差改变,本研究分析了配戴不同后表面光学区直径的角膜塑形镜后不同时间点不同直径范围的高阶像差改变量、相对屈光力值与治疗区直径大小,并对角膜高阶像差增加量与相对屈光力值大小进行相关性分析,为更好地优化角膜塑形镜的近视防控效果提供客观依据。

1 对象和方法

1.1 对象 选取2022-08/2023-07于昆明市延安医院眼科就诊的适合且愿意通过角膜塑形镜延缓近视发展的近视患者36例72眼,通过Excel随机分为两组,一组使用常规6.0 mm后表面光学区直径(back optic zone diameters, BOZD)的塑形镜(称为常规组),一组使用5.0 mm BOZD的塑形镜(称小光学区组),将两组患者戴镜前后的数据进行分析。纳入标准:(1)年龄8-12岁;(2)近视度数

-0.75--4.00 D;(3)散光度数 ≤ -2.00 D;(4)角膜曲率40-45 D;(5)最佳矫正远视力均 ≥ 0.8 ;(6)眼压10-21 mmHg。排除标准:(1)患有倒睫、结膜炎、干眼、睑裂闭合不全、间歇性或恒定性斜视、青光眼、白内障、眼底病等眼部疾病;(2)曾经或正在局部应用阿托品等可能影响眼轴发育的药物;(3)角膜前表面平坦轴角膜曲率 < 40 D,或 > 46 D。本研究已通过昆明市延安医院伦理委员会批准(批准号:2022-141-02)。所有参与者及其监护人签署了知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 配镜前检查 采用国际标准视力表检查裸眼视力,非接触式眼压计测量眼压,裂隙灯显微镜加90 D眼底镜检查眼部状态,电脑验光及综合验光仪检查屈光度, IOL Master 700光学生物测量仪测量眼轴长度。

1.2.2 角膜像差计算 使用Pentacam HR三维眼前节分析仪测量患者角膜前后表面形态与切线图。记录Zernik模式下6、5、4 mm范围内角膜前表面总高阶像差及球差、彗差的均方根值;角膜高阶像差的增加量等于戴镜后角膜高阶像差的均方根值减去戴镜前高阶像差的均方根值。戴镜后与戴镜前的切线差异图中通过曲率变化为0 D的点坐标,使用Matlab软件计算可获得戴镜后治疗区直径。相对屈光力值为切线差异图中角膜上下方与鼻颞侧四个方向的最大屈光力的平均值再减去中央屈光力,用于表示角膜周边相对离焦量的大小。

1.2.3 镜片选择 塑形镜镜片材料为:Paragon HDS100 (pafufocon D),小光学区组选择的镜片后表面光学区直径为5.0 mm,常规组的镜片后表面光学区直径为6.0 mm。

1.2.4 验配塑形镜 经问诊及相关检查情况筛选出适合人员,根据患者角膜曲率和初始屈光度,结合塑形镜参数选择APP软件,按角膜塑形镜的标准验配流程进行试配评估,根据镜片中心定位、移动度、荧光环形态等试戴后确定最后镜片参数,小光学区组的镜片通过塑形镜参数选择APP直接6.0转换为5.0参数。验配成功后,为其定片,建立病例档案。取片时指导患者采用合适的方法进行配戴和镜片护理,并制定随访计划。

1.2.5 复查随访 检查时间点分别为戴镜后1 d, 1 wk, 1、3 mo。主要复查项目包括摘镜后视力, Pentacam三维眼前节分析仪测量切线差异图及角膜像差,裂隙灯检查角膜及镜片。如有眼部异常症状则随时复诊,出现并发症进行相应处理。

统计学分析:随机方案由Excel生成,采用SPSS 25.0软件进行统计学分析。使用Shapiro-Wilk检验数据的正态性,正态分布数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示,两组基线数据之间的差异使用独立样本 t 检验;计数资料采用卡方检验;戴镜后角膜高阶像差增加量、相对屈光力值、治疗区直径和眼轴的变化采用重复测量数据的方差分析,进一步的两两比较采用LSD- t 检验;戴镜后角膜高阶像差增加量与相对屈光力值进行Pearson相关性分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 基线数据 研究期间,1名儿童因取戴困难放弃治疗,2名儿童未能完成定期随访,最终纳入66眼进行分析。基线时两组患儿的年龄、性别、等效球镜、眼轴、像差比较,差异无统计学意义(均 $P > 0.05$,表1)。

2.2 戴镜后角膜总高阶像差增量变化 6、5、4 mm 直径范围的总高阶像差增加量会随着戴镜时长出现变化 ($F_{\text{时间}} = 49.657, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{时间}} = 20.442, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{时间}} = 13.225, P_{\text{时间}} < 0.001$), 而总高阶像差增量随着戴镜时长的变化趋势不会因为组别的变化而变化 (6 mm: $F_{\text{分组}} = 1.484, P_{\text{分组}} = 0.23; F_{\text{交互}} = 1.065, P_{\text{交互}} = 0.37$; 5 mm: $F_{\text{分组}} = 0.062, P_{\text{分组}} = 0.80; F_{\text{交互}} = 0.111, P_{\text{交互}} = 0.95$; 4 mm: $F_{\text{分组}} = 0.097, P_{\text{分组}} = 0.76; F_{\text{交互}} = 0.215, P_{\text{交互}} = 0.89$), 见表 2, 图 1。

2.3 戴镜后角膜球差增量变化 6 mm 球差增量会随着戴镜时长出现变化, 两组间球差增量差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 2.238, P_{\text{分组}} = 0.14$), 两组增量随时间的变化趋势有显著差异 ($F_{\text{时间}} = 68.884, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{交互}} = 2.891, P_{\text{交互}} = 0.04$), 见表 2, 图 2A。5 mm 球差增量会随着戴镜时长出现变化, 戴镜不同时间两组球差增量比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 40.179, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{分组}} = 11.948, P_{\text{分组}} = 0.001; F_{\text{交互}} = 3.262, P_{\text{交互}} = 0.03$), 戴镜 1 mo 小光学区组和常规组

球差增量无差异 ($P > 0.05$), 其他三个时段有差异 (均 $P < 0.05$), 小光学区球差增量从戴镜 1 d 到戴镜 1 wk 呈现增加趋势, 戴镜 1 wk 之后到戴镜 3 mo 无显著变化, 见表 2, 图 2B。4 mm 球差增量会随着戴镜时长出现变化, 两组球差增量存在显著差异 ($F_{\text{时间}} = 34.462, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{分组}} = 13.094, P_{\text{分组}} < 0.001; F_{\text{交互}} = 1.372, P_{\text{交互}} = 0.25$), 小光学区组 4 mm 球差增加量从戴镜 1 d 到戴镜 1 wk 呈现增加趋势, 戴镜 1 wk 之后到戴镜 3 mo 无显著变化, 见表 2, 图 2C。

2.4 戴镜后角膜彗差增量变化 6、5、4 mm 彗差增量会随着戴镜时长出现变化, 组间无差异 (6 mm: $F_{\text{时间}} = 98.972, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{分组}} = 0.320, P_{\text{分组}} = 0.58$; 5 mm: $F_{\text{时间}} = 21.941, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{分组}} = 0.24, P_{\text{分组}} = 0.637$; 4 mm: $F_{\text{时间}} = 17.193, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{分组}} = 0.341, P_{\text{分组}} = 0.56$), 5 mm 的两组彗差增量随时间的变化趋势有显著差异 ($F_{\text{交互}} = 4.120, P_{\text{交互}} = 0.01$), 两组 6、4 mm 的彗差增量随时间的变化趋势差异无统计学意义 ($F_{\text{交互}} = 2.693, P_{\text{交互}} = 0.06; F_{\text{交互}} = 0.619, P_{\text{交互}} = 0.61$), 见表 2, 图 3。

表 1 两组患者眼部基线数据

指标	常规组 (17 例 34 眼)	小光学区组 (16 例 32 眼)	t	P
年龄 ($\bar{x} \pm s$, 岁)	10.35 ± 1.66	9.88 ± 1.56	1.20	0.23
性别 (男/女, 例)	8/9	10/6	1.59	0.21
等效球镜 ($\bar{x} \pm s$, D)	-2.66 ± 1.04	-2.99 ± 1.12	1.45	0.16
眼轴 ($\bar{x} \pm s$, mm)	24.84 ± 0.79	24.77 ± 0.52	0.36	0.71
初始 6 mm 总高阶像差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.41 ± 0.10	0.42 ± 0.09	-0.55	0.59
初始 6 mm 球差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.17 ± 0.10	0.21 ± 0.07	-1.87	0.06
初始 6 mm 彗差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.30 ± 0.13	0.27 ± 0.14	-0.83	0.41
初始 5 mm 高阶像差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.26 ± 0.06	0.25 ± 0.06	0.80	0.43
初始 5 mm 球差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.10 ± 0.06	0.11 ± 0.05	-0.69	0.49
初始 5 mm 彗差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.25 ± 0.26	0.16 ± 0.09	1.89	0.06
初始 4 mm 总高阶像差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.14 ± 0.03	0.13 ± 0.04	0.79	0.43
初始 4 mm 球差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.04 ± 0.04	0.04 ± 0.03	0.05	0.97
初始 4 mm 彗差 ($\bar{x} \pm s$, μm)	0.11 ± 0.05	0.09 ± 0.05	1.53	0.13

注: 常规组使用 6.0 mm 后表面光学区直径的塑形镜; 小光学区组使用 5.0 mm 后表面光学区直径的塑形镜。

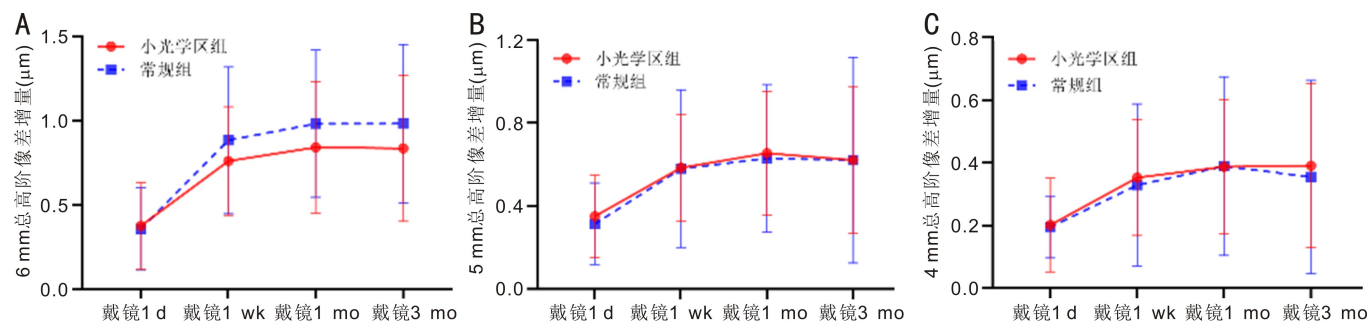


图 1 两组不同时间点不同直径范围的总高阶像差增量比较 A: 6 mm; B: 5 mm; C: 4 mm。

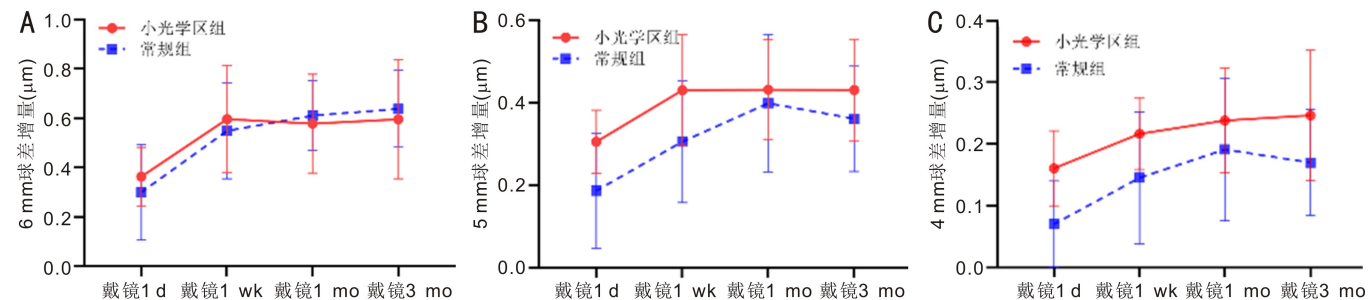


图 2 两组不同时间点不同直径范围的球差增量比较 A: 6 mm; B: 5 mm; C: 4 mm。

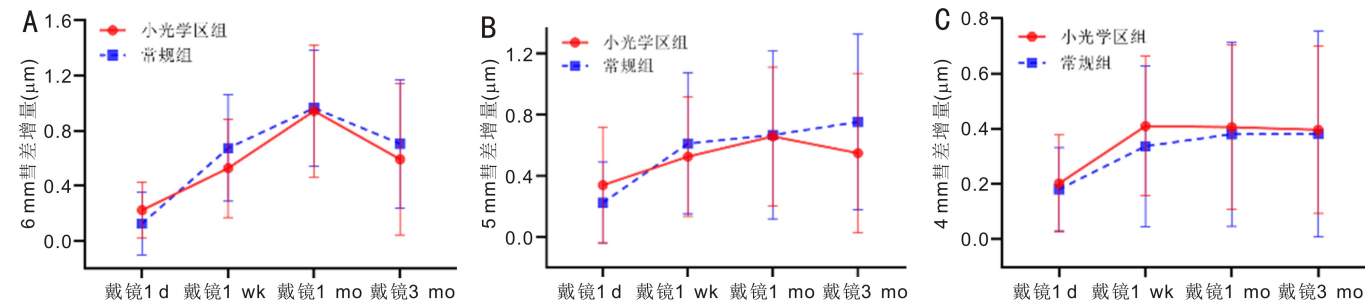


图3 两组不同时间点不同直径范围的彗差增量比较 A:6 mm;B:5 mm;C:4 mm。

表2 两组不同时间点不同直径范围的像差增量比较

($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

指标	BOZD	戴镜 1 d	戴镜 1 wk	戴镜 1 mo	戴镜 3 mo
6 mm 总高阶像差增量	常规组	0.36±0.24	0.88±0.44 ^a	0.98±0.44 ^a	0.98±0.47 ^a
	小光学区组	0.38±0.26	0.76±0.32 ^a	0.84±0.39 ^a	0.83±0.43 ^a
	<i>P</i>	0.78	0.20	0.18	0.19
6 mm 球差增量	常规组	0.30±0.19	0.54±0.19 ^a	0.61±0.14 ^a	0.64±0.16 ^a
	小光学区组	0.36±0.12	0.60±0.22 ^a	0.58±0.20 ^a	0.60±0.24 ^a
	<i>P</i>	0.11	0.35	0.45	0.50
6 mm 彗差增量	常规组	0.13±0.23	0.67±0.39 ^a	0.96±0.42 ^{a,c}	0.70±0.46 ^a
	小光学区组	0.22±0.20	0.53±0.36 ^a	0.94±0.48 ^a	0.59±0.55 ^a
	<i>P</i>	0.07	0.11	0.85	0.38
5 mm 总高阶像差增量	常规组	0.31±0.20	0.58±0.38 ^a	0.63±0.35 ^a	0.62±0.50 ^a
	小光学区组	0.35±0.20	0.58±0.26 ^a	0.65±0.30 ^a	0.62±0.35 ^a
	<i>P</i>	0.45	0.96	0.76	0.99
5 mm 球差增量	常规组	0.19±0.14	0.31±0.15 ^a	0.40±0.17 ^{a,c}	0.36±0.13 ^a
	小光学区组	0.31±0.08 ^e	0.43±0.13 ^{a,c}	0.43±0.12 ^a	0.43±0.12 ^{a,c}
	<i>P</i>	0.001	0.001	0.36	0.03
5 mm 彗差增量	常规组	0.22±0.26	0.61±0.46 ^a	0.67±0.54 ^a	0.75±0.57 ^{a,c}
	小光学区组	0.34±0.37	0.53±0.39 ^a	0.66±0.45 ^a	0.55±0.52 ^a
	<i>P</i>	0.16	0.42	0.94	0.14
4 mm 总高阶像差增量	常规组	0.19±0.10	0.33±0.26 ^a	0.39±0.29 ^a	0.36±0.31 ^a
	小光学区组	0.20±0.15	0.35±0.18 ^a	0.39±0.21 ^a	0.39±0.26 ^a
	<i>P</i>	0.88	0.74	0.92	0.53
4 mm 球差增量	常规组	0.07±0.07	0.15±0.11 ^a	0.19±0.12 ^{a,c}	0.17±0.09 ^a
	小光学区组	0.16±0.06 ^e	0.22±0.06 ^{a,c}	0.24±0.08 ^a	0.25±0.11 ^{a,c}
	<i>P</i>	<0.001	0.005	0.11	0.002
4 mm 彗差增量	常规组	0.18±0.15	0.34±0.29 ^a	0.38±0.33 ^a	0.38±0.37 ^a
	小光学区组	0.20±0.18	0.41±0.25 ^a	0.41±0.30 ^a	0.40±0.30 ^a
	<i>P</i>	0.60	0.28	0.75	0.86

注:常规组使用6.0 mm后表面光学区直径的塑形镜;小光学区组使用5.0 mm后表面光学区直径的塑形镜。^a*P*<0.05 vs 戴镜后1 d;^c*P*<0.05 vs 戴镜后1 wk;^e*P*<0.05 vs 同一时间点常规组。

2.5 戴镜后相对屈光力值与治疗区直径的变化 患者相对屈光力值会随着戴镜时长出现变化,两组相对屈光力值比较,有时间差异,组间、交互均无差异($F_{\text{时间}} = 40.030, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{分组}} = 0.048, P_{\text{分组}} = 0.83; F_{\text{交互}} = 1.208, P_{\text{交互}} = 0.31$),两组患者戴镜1 d的相对屈光力值均小于其他时间点(均 $P < 0.05$),见表3,图4A。治疗区直径随着戴镜时长出现变化,两组治疗区直径具有组间和时间差异,而交互效应不显著($F_{\text{时间}} = 11.212, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{分组}} = 74.073, P_{\text{分组}} < 0.001; F_{\text{交互}} = 0.312, P_{\text{交互}} = 0.82$),小光学区组的治疗区直径均小于常规组(均 $P < 0.001$),见表3,图4B。

2.6 相对屈光力值与不同直径范围的高阶像差的相关性分析 4、5、6 mm总高阶像差增量、球差增量、彗差增量与相对屈光力值呈正相关(4 mm: $r = 0.645、0.523、0.563$,均 $P < 0.001$;5 mm: $r = 0.610、0.535、0.477$,均 $P < 0.001$;6 mm: $r = 0.631、0.583、0.573$,均 $P < 0.001$)。

2.7 戴镜后眼轴变化量 配戴塑形镜后,眼轴变化量会随着戴镜时长出现变化,两组眼轴变化量比较有组间、组内差异,交互效应不显著($F_{\text{时间}} = 185.398, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{分组}} = 5.618, P_{\text{分组}} = 0.02; F_{\text{交互}} = 2.315, P_{\text{交互}} = 0.11$)。戴镜3、6 mo,两组眼轴变化量差异无统计学意义($P = 0.11、0.05$);

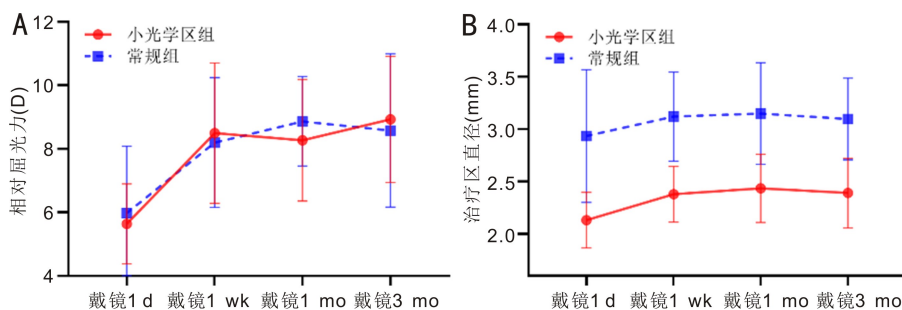


图4 相对屈光力值及治疗区直径随着戴镜时间的变化量 A:相对屈光力值;B:治疗区直径。

表3 戴镜后不同时间两组相对屈光力与治疗区直径的比较

指标	BOZD	戴镜 1 d	戴镜 1 wk	戴镜 1 mo	戴镜 3 mo
相对屈光力(D)	常规组	5.98±2.11	8.20±2.04 ^a	8.87±1.41 ^a	8.57±2.41 ^a
	小光学区组	5.64±1.26	8.50±2.21 ^a	8.27±1.91 ^a	8.92±1.99 ^a
	<i>P</i>	0.42	0.57	0.15	0.52
治疗区直径(mm)	常规组	2.94±0.63	3.12±0.43 ^a	3.14±0.49 ^a	3.10±0.39 ^a
	小光学区组	2.13±0.27 ^c	2.38±0.27 ^{a,c}	2.43±0.33 ^{a,c}	2.39±0.33 ^{a,c}
	<i>P</i>	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注:常规组使用6.0 mm后表面光学区直径的塑形镜;小光学区组使用5.0 mm后表面光学区直径的塑形镜。^a*P*<0.05 vs 戴镜后1 d; ^c*P*<0.05 vs 同一时间点常规组。

表4 两组戴镜后3、6 mo, 1 a眼轴变化量的比较

组别	例数	戴镜后 3 mo	戴镜后 6 mo	戴镜后 12 mo
常规组	34	0.05±0.04	0.13±0.04 ^a	0.25±0.09 ^a
小光学区组	32	0.04±0.03	0.11±0.04 ^a	0.20±0.07 ^{a,c}
<i>t</i>		1.628	1.965	2.284
<i>P</i>		0.11	0.05	0.03

注:常规组使用6.0 mm后表面光学区直径的塑形镜;小光学区组使用5.0 mm后表面光学区直径的塑形镜。^a*P*<0.05 vs 戴镜后3 mo; ^c*P*<0.05 vs 同一时间点常规组。

戴镜12 mo时,两组眼轴变化量差异有统计学意义(*P*=0.03),见表4。

3 讨论

角膜塑形镜的近视控制效果从32%–63%不等^[7],常见影响因素有年龄、屈光度、瞳孔大小等^[8-9],高阶像差在角膜塑形镜延缓眼轴生长中发挥着积极作用^[10]。有研究显示小光学区角膜塑形镜更有利于近视控制^[11-13]。在验配角膜塑形镜时,可通过调整镜片参数如改变反转弧区宽度,增加矢高来减少治疗区直径^[14],本研究采取直接使用小光学区设计的角膜塑形镜减少治疗区直径。

研究^[15-17]显示,总高阶像差及球差、彗差等在戴镜1–7 d显著增加,戴镜1 mo达到最大值,角膜中央矫正区域逐渐均匀,角膜形态的改变相对稳定,高阶像差也趋于稳定。本研究中选取了戴镜后1 d,1 wk,1,3 mo作为观察点。因儿童在明视状态下平均瞳孔直径约为4 mm^[18-20],而配戴角膜塑形镜后主要通过改变角膜中央6 mm内的屈光力,本研究测量了角膜前表面4、5、6 mm不同直径的高阶像差。本研究的不同时间点与不同直径范围的像差数据同时观察,较以往单一直径范围或某一时间点的像差改变,呈现了更全面的结论。

本研究中,戴镜1 wk总高阶像差、球差、彗差均较初始时显著增加,而后相对稳定,与Chen等^[21]研究相似。球差增加原因,主要是戴镜后角膜上皮发生重塑,角膜中

央曲率变平,进入屈光系统的周边光线与中央光线折射后在焦平面不能汇聚为一点,导致球差均方根值正向偏移^[22]。彗差属于轴外像差,角膜表面的散光及治疗区偏心可能引起彗差增加,本研究中两组的彗差增量差异不大,可能是因为本研究中塑形镜配戴者基本未出现显著偏心的现象。当瞳孔直径为4 mm^[18-20]时,4 mm范围内的球差可全部经瞳孔进入眼内。本研究戴镜1 mo时,小光学区组的6 mm球差值与戴镜前相比增多约3倍,两组间6 mm范围内球差增量差异无统计学意义(*P*>0.05);小光学区组的4 mm球差值和戴镜前相比增多近6倍(戴镜前4 mm球差值为0.04±0.03 μm),比常规组显著增多。配戴角膜塑形镜后无论是全眼还是角膜高阶像差与球差均正向增加,Lau等^[23]分析103例角膜塑形镜配戴者数据,发现球差变化与眼轴增长呈显著负相关。学者^[24]认为球差影响近视发展的可能原因是患者长时间视近时,易产生调节滞后和远视离焦,正球差通过提高焦深,让眼睛付出较少的调节,球差增大时,调节力减少,可同时减少眼球赤道部的机械张力^[25],从而延缓眼轴增长。也有研究发现配戴塑形镜后,球差与其他像差之间的相互作用在近视控制中发挥着作用^[4]。本研究小光学区组比常规组瞳孔区内有更大的球差增量,可能是小光学区组的眼轴增长更少的一个原因。

不同研究中,相对屈光力与眼轴增长的关系结论各有

不同^[13,26]。在 Carracedo 等^[27]研究中,小光学区组的镜片比常规 6 mm 组产生更大的中央角膜变平和更大的中周部陡峭,而产生更大的相对屈光力。Gifford 等^[28]发现减小镜片治疗区直径不会改变相对屈光力大小。本研究中两组患者相对屈光力改变量无显著差异,小光学区组戴镜 1 wk 后治疗区直径达到相对稳定状态,比常规组治疗区直径(3.12±0.43 mm)小 24%,与 Guo 等^[29]的随机对照研究中小光学区组的治疗区直径改变相似,戴镜 1 a 后小光学区组眼轴较常规组增长较少,差异有统计学意义($P < 0.05$)。本研究也证实,缩小角膜塑形镜的后表面光学区直径后,可使治疗区直径更小,当两组总体的相对屈光力值无明显差异,小光学区组的陡峭中周环比常规组更靠近角膜中央,更多的有效近视性离焦量进入瞳孔投射在周边视网膜,从而更能控制眼轴增长^[30-31]。

Kim 等^[5]、Pauné 等^[32]、Li 等^[33]对影响塑形镜控制眼轴增长的因素进行分析,发现周边屈光力和高阶像差均与塑形镜控制眼轴增长有关。同时,本研究相关性分析发现,相对屈光力值与高阶像差增量呈正相关,高阶像差增量越大,相对屈光力值越大。

光学区直径过小,将可能造成眩光、复视等视觉质量下降的问题^[34]。本研究中两组患者在随访期间均未出现明显的畏光不适等症状,少数患者戴镜后 1 mo 内出现轻微眩光重影,不影响学习生活,未特殊处理后症状自行消失,这与 Guo 等^[29]的研究结果一致。可能原因是小光学区组 4、5 mm 的球差相对于常规组有增加,但两组患者的总高阶像差增量相差不大,因此对视觉质量影响相对较小。

综上所述,通过个性化减小后光学区直径等手段,以此诱导角膜塑形镜配戴患者形成更多有效的视网膜近视性离焦及更多的高阶像差如球差进入眼内^[10,32,35],促进角膜塑形镜的近视控制效果,是角膜塑形镜临床验配者追求的目标。本研究的局限:(1)样本量不足,无法根据屈光度进行分组,需要更多的研究来了解不同年龄及屈光度下角膜像差与近视控制的关系;(2)未涉及改变光学区后视觉质量的客观指标,还需延长随访时间,观察更长期的近视防控效果与影响因素。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:赵丹丹参与论文选题与修改,初稿撰写;赵钰冰文献检索,数据分析;陆盛荣、袁圆研究实施,数据收集;何阳选题指导,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] 陈军,何鲜桂,王菁菁,等. 2021至2030年我国6~18岁学生近视眼患病率预测分析. 中华眼科杂志, 2021,57(4):261-267.
[2] Guan M, Zhao WJ, Geng Y, et al. Changes in axial length after orthokeratology lens treatment for myopia: a meta-analysis. *Int Ophthalmol*, 2020,40(1):255-265.
[3] Lawrenson JG, Shah R, Huntjens B, et al. Interventions for myopia control in children: a living systematic review and network meta-analysis. *Cochrane Database Syst Rev*, 2023,2(2):CD014758.
[4] 张守宽,彭庆生,张磊. 球差和彗差在角膜塑形镜控制近视中的作用. 国际眼科杂志, 2024,24(1):88-92.
[5] 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.

[6] 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.
[7] Hiraoka T. Myopia control with orthokeratology: a review. *Eye Contact Lens*, 2022,48(3):100-104.
[8] Nti AN, Bernsen DA. Optical changes and visual performance with orthokeratology. *Clin Exp Optom*, 2020,103(1):44-54.
[9] Fan YZ, Li Y, Wang K, et al. Weighted Zernike defocus coefficient of treatment zone is a meaningful indicator for myopia control efficacy of Ortho-K lenses. *Eye Vis*, 2022,9(1):24.
[10] Tomiyama ES, Hu C, Marsack JD, et al. Greater higher order aberrations induced by toric orthokeratology versus soft toric multifocal contact lens wear. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2021,41(4):726-735.
[11] 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眼视光学组,等. 近视管理白皮书(2022). 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2022,24(9):641-648.
[12] 赵钰冰,赵丹丹,何阳,等. 验配5.0 mm 光学区角膜塑形镜后调参1例. 中国临床案例成果数据库, 2023,1:E01225.
[13] Zhang Z, Chen Z, Zhou J, et al. The effect of lens design on corneal power distribution in orthokeratology. *Optom Vis Sci*, 2022,99(4):363-371.
[14] 金霞,郭晓红,佟莉杨,等. CRT与VST设计角膜塑形镜对低E值角膜形态近视的控制效果比较. 国际眼科杂志, 2024,24(3):441-447.
[15] Hahn IK, Lee DH, Lee DH, et al. Serially checked spherical aberration can evaluate the anti-myopia effect of orthokeratology lens in children. *J Pers Med*, 2022,12(10):1686.
[16] 张旭,王雁,徐路路. 配戴角膜塑形镜早期角膜高阶像差变化及其影响因素. 中华实验眼科杂志, 2020,38(2):101-108.
[17] 林思思,陈镇国,王建勇,等. 角膜塑形术后光学治疗区大小及偏心对光学及视觉质量的影响. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2018,20(9):530-535.
[18] Huang Z, Zhao W, Mao YZ, et al. Factors influencing axial elongation in myopic children using overnight orthokeratology. *Sci Rep*, 2023,13(1):7715.
[19] 于嘉,张晶,周跃华,等. 离焦环大小及其与瞳孔直径的关系对近视患者配戴角膜塑形镜后眼轴增长的影响. 中华实验眼科杂志, 2023,41(8):776-781.
[20] Tan Q, Ng AL, Cheng GP, et al. Repeatability of pupil size measurements with NIDEK OPD-Scan III in myopic children. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2021,41(2):431-436.
[21] Chen CX, Ma W, Wang JL, et al. Higher-order aberrations and visual performance in myopic children treated with aspheric base curve-designed orthokeratology. *Eye Contact Lens*, 2023,49(2):71-76.
[22] Little JA, McCullough SJ, Breslin KM, et al. Higher order ocular aberrations and their relation to refractive error and ocular biometry in children. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2014,55(8):4791-4800.
[23] 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.
[24] Yeu E, Wang L, Koch DD. The effect of corneal wavefront aberrations on corneal pseudoaccommodation. *Am J Ophthalmol*, 2012,153(5):972-981.
[25] 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.
[26] Jakobsen TM, Søndergaard AP, Møller F. Peripheral refraction,

relative peripheral refraction, and axial growth: 18-month data from the randomised study-clinical study of near-sightedness; Treatment with orthokeratology lenses (CONTROL study). *Acta Ophthalmol*, 2023,101(1):e69-e80.

[27] Carracedo G, Espinosa-Vidal TM, Martínez-Alberquilla I, et al. The topographical effect of optical zone diameter in orthokeratology contact lenses in high myopes. *J Ophthalmol*, 2019,2019;1082472.

[28] Gifford P, Tran M, Priestley C, et al. Reducing treatment zone diameter in orthokeratology and its effect on peripheral ocular refraction. *Cont Lens Anterior Eye*, 2020,43(1):54-59.

[29] Guo BY, Cheung SW, Kojima R, et al. One-year results of the variation of orthokeratology lens treatment zone (VOLTZ) study: a prospective randomised clinical trial. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2021,41(4):702-714.

[30] Jiang F, Huang XP, Xia HX, et al. The spatial distribution of relative corneal refractive power shift and axial growth in myopic

children: orthokeratology versus multifocal contact lens. *Front Neurosci*, 2021,15:686932.

[31] Kou SS, Ren YR, Zhuang XY, et al. Study on related factors of the treatment zone after wearing paragon CRT and Euclid orthokeratology lenses. *Eye Contact Lens*, 2023,49(12):521-527.

[32] Pauné J, Fonts S, Rodríguez L, et al. The role of back optic zone diameter in myopia control with orthokeratology lenses. *J Clin Med*, 2021,10(2):336.

[33] Li N, Lin WP, Zhang KL, et al. The effect of back optic zone diameter on relative corneal refractive power distribution and corneal higher-order aberrations in orthokeratology. *Cont Lens Anterior Eye*, 2023,46(1):101755.

[34] 张玉娇. 角膜塑形镜控制近视的临床研究进展. *国际眼科杂志*, 2024,24(9):1453-1456.

[35] 高扬, 杨智宽, 杨积文. 夜戴角膜塑形镜矫正近视有效性及角膜高阶像差变化分析. *中国实用眼科杂志*, 2018,36(3):243-246.

国际眼科杂志中文版 (IES) 近 5 年核心影响因子趋势图

