

# 不同间隔球镜片验光引导下 SMILE 矫正中低度近视术后视觉质量

马红利\*, 宋学英\*, 李世洋, 刘雪雁, 苏红, 张小牛

引用: 马红利, 宋学英, 李世洋, 等. 不同间隔球镜片验光引导下 SMILE 矫正中低度近视术后视觉质量. 国际眼科杂志, 2025, 25(9):1413-1419.

基金项目: 河南省医学科技攻关计划项目 (No.LHGJ20210826)  
作者单位: (471031) 中国河南省洛阳市, 联勤保障部队第九八九医院眼科

\*: 马红利和宋学英对本文贡献一致。

作者简介: 马红利, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 眼视光学、眼整形及眼眶病、小儿眼病; 宋学英, 硕士, 主任医师, 研究方向: 眼视光学、玻璃体视网膜病。

通讯作者: 李世洋, 硕士, 主任医师, 研究方向: 眼视光学、白内障、玻璃体视网膜病. lisy64814@aliyun.com

收稿日期: 2024-10-19 修回日期: 2025-07-25

## 摘要

**目的:** 比较 0.05 D 间隔球镜片与常规 0.25 D 间隔球镜片验光引导下飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (SMILE) 矫正中低度近视患者术后视觉质量的差异。

**方法:** 回顾性对照研究。选取 2021 年 8 月至 2023 年 8 月于联勤保障部队第九八九医院眼科接受 SMILE 手术矫正中低度近视患者共 400 例 400 眼。所有患者均收集右眼数据纳入统计分析。按照术前插片验光以及红绿平衡试验采用间隔球镜片的不同, 分为两组: 0.05 D 组 200 眼采用 0.05 D 间隔球镜片验光和 0.25 D 组 200 眼采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光。比较两组患者术中的角膜切削厚度, 术前与术后 1、3、6 mo 裸眼远视力 (UDVA) 以及角膜总高阶像差 (HOA)、球差、垂直彗差、水平彗差及三叶草像差, 术后 6 mo 时残余等效球镜度数 (SE)  $\leq \pm 0.25$  D 眼数百分比, 术后 6 mo 时不良视觉症状以及视觉质量 (Qov) 调查问卷评分。

**结果:** 术中角膜切削厚度 0.05 D 组为  $92.78 \pm 16.56 \mu\text{m}$ , 略高于 0.25 D 组 ( $83.24 \pm 17.33 \mu\text{m}$ ) ( $P < 0.001$ )。0.05 D 组术后各时间点的 UDVA 优于 0.25 D 组 (均  $P < 0.001$ )。两组术后 1、3、6 mo HOA、球差、水平彗差、垂直彗差均较术前增大 (均  $P < 0.05$ ); 0.05 D 组术后各时间点的球差高于 0.25 D 组, 而垂直彗差低于 0.25 D 组 (均  $P < 0.05$ )。术后 6 mo, 0.05 D 组残余 SE  $\leq \pm 0.25$  D 为 195 眼 (97.5%) 高于 0.25 D 组 175 眼 (87.5%) ( $P < 0.05$ )。两组最常见的不良视觉症状为视觉朦胧和眩光, Qov 总评分 0.05 D 组为 0.35 (0.24, 0.55) 分, 小于 0.25 D 组 [0.62 (0.32, 0.89) 分] ( $P < 0.05$ )。

**结论:** 与常规 0.25 D 间隔球镜片验光相比, 0.05 D 间隔球镜片验光引导下 SMILE 具有更好的可预测性, 能够获得更好的视力和视觉质量。

**关键词:** 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (SMILE);

验光; 近视; 视觉质量; 波前像差; 0.05 D 间隔球镜片; 0.25 D 间隔球镜片

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.9.05

## Visual quality after different interval spherical lens optometry-guided small-incision lenticule extraction for the correction of low-to-moderate myopia

Ma Hongli\*, Song Xueying\*, Li Shiyang, Liu Xueyan, Su Hong, Zhang Xiaoniu

**Foundation item:** Key Medical Technologies Research and Development Program of Henan Province (No.LHGJ20210826)

Department of Ophthalmology, the 989th Hospital of Joint Logistic Support Force, Luoyang 471031, Henan Province, China

\* Co-first authors: Ma Hongli and Song Xueying

**Correspondence to:** Li Shiyang, Department of Ophthalmology, the 989th Hospital of Joint Logistic Support Force, Luoyang 471031, Henan Province, China. lisy64814@aliyun.com

Received: 2024-10-19 Accepted: 2025-07-25

## Abstract

• **AIM:** To compare the visual quality in patients with low-to-moderate myopia after 0.05 D interval spherical lens optometry-guided small-incision lenticule extraction (SMILE) and conventional 0.25 D interval spherical lens optometry-guided SMILE.

• **METHODS:** Retrospective study. A total of 400 cases (400 eyes) with low-to-moderate myopia that underwent SMILE in the ophthalmology department of 989th Hospital of Joint Logistic Support Force from August 2021 to August 2023 were enrolled and the data from the right eyes were collected for analysis. According to the method of optometry test modality, they were divided into 0.05 D group and 0.25 D group, with 200 eyes in each group. The differences were compared between the two groups of patients in intraoperative corneal ablation thickness, uncorrected distance visual acuity (UDVA), high-order corneal aberrations (HOA), spherical aberrations, vertical coma, horizontal coma and trefoil aberrations before and at 1, 3 and 6 mo after surgery. Additionally, the percentage of eyes with residual spherical equivalent (SE)  $\leq \pm 0.25$  D, postoperative visual symptoms and scores on the quality of visual (Qov) were compared between the two groups at 6 mo after surgery.

• **RESULTS:** The corneal ablation thickness in the 0.05 D group was  $92.78 \pm 16.56 \mu\text{m}$ , which was slightly higher than that in the 0.25 D group ( $83.24 \pm 17.33 \mu\text{m}$ ;  $P < 0.001$ ). The UDVA at each postoperative time point in the 0.05 D group was superior to that in the 0.25 D group (all  $P < 0.001$ ). The HOA, spherical aberration, horizontal coma and vertical coma in the two groups at 1, 3 and 6 mo after operation were higher than those before operation (all  $P < 0.05$ ). The spherical aberration in the 0.05 D group at each time point after surgery were higher than those in the 0.25 D group, and vertical coma were lower than those in the 0.25 D group (all  $P < 0.05$ ). At 6 mo postoperatively, the percentage of eyes with residual SE  $\leq \pm 0.25$  D in the 0.05 D group was 97.5% (195 eyes), which was higher than 87.5% (175 eyes) in the 0.25 D group ( $P < 0.05$ ). The most common adverse visual symptoms after SMILE in both groups were hazy vision and glare. The total Qov score in the 0.05 D group was 0.35 (0.24, 0.55), which was lower than [0.62 (0.32, 0.89)] in the 0.25 D group ( $P < 0.05$ ).

• **CONCLUSION:** Compared with conventional 0.25 D interval spherical lens optometry-guided SMILE, the 0.05 D interval spherical lens optometry-guided SMILE for the correction of low-to-moderate myopia has better predictability and can achieve better vision and visual quality.

• **KEYWORDS:** small incision lenticule extraction (SMILE); optometry; myopia; visual quality; wavefront aberration; 0.05 D interval spherical lens; 0.25 D interval spherical lens

**Citation:** Ma HL, Song XY, Li SY, et al. Visual quality after different interval spherical lens optometry-guided small-incision lenticule extraction for the correction of low-to-moderate myopia. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2025,25(9):1413-1419.

## 0 引言

近10 a来,飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(small-incision lenticule extraction, SMILE)以无刀、无瓣、微创、恢复快等优势和在矫正近视方面具有良好的安全性、有效性、稳定性和可预测性,成为目前角膜屈光手术的主流术式<sup>[1-2]</sup>。SMILE术前精准的验光是确保手术精确性最为关键的检查。临床上,无论是电脑验光还是综合验光仪验光均是以0.25 D间隔镜片为基础进行验光的。标准的验光流程需采用红绿平衡的双色实验,当达到红绿平衡时眼的屈光状态最接近正视眼。在临床上我们发现,常规0.25 D间隔球镜片其跨度较大,若患者的红绿平衡点位于小于0.25 D的增量之内,患者不能实现红绿平衡降低了验光的准确性,会出现欠矫和过矫<sup>[3-4]</sup>。研究表明,绝大多数人眼可以分辨出增减 $\pm 0.05$  D间隔球镜片后视标清晰度发生的变化<sup>[5-6]</sup>。我们经查阅文献后发现,SMILE术前应用0.05 D间隔球镜片验光矫正中低度近视患者术后的效果以及对患者主、客视觉质量的影响,目前尚无报道。本研究利用客观和主观视觉质量(quality of vision, QoV)调查问卷相结合的方式,对0.05 D间隔球镜片和常规0.25 D间隔球镜片验光引导下的SMILE术后效果、角膜像差的变化以及主观视觉质量进行比较,为临床

工作提供参考依据。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 回顾性对照研究。选取2021年8月至2023年8月于联勤保障部队第九八九医院眼科接受SMILE手术矫正中低度近视患者共400例400眼。所有患者均收集右眼数据纳入统计分析。按照术前插片验光以及红绿平衡试验采用间隔球镜片的不同,分为两组:0.05 D组200眼采用0.05 D间隔球镜片验光和0.25 D组200眼采用常规0.25 D间隔球镜片验光。纳入标准:(1)自愿接受手术;年龄18-40岁;屈光度数至少稳定2 a以上;(2)术前等效球镜度(spherical equivalent, SE)  $\leq 6.0$  D,柱镜度  $\leq 1.00$  D;(3)剩余基质床角膜厚度  $\geq 280 \mu\text{m}$ ;(4)色觉检查正常;(5)患者依从性好,能够很好配合各项检查并完成6 mo随访。排除标准:参见《我国飞秒激光小切口角膜基质透镜取出手术规范专家共识(2018年)》<sup>[7]</sup>中全飞秒手术禁忌证且色觉异常者。本研究流程遵循《赫尔辛基宣言》的原则,研究方案经联勤保障部队第九八九医院伦理委员会批准(批准号:WZLL-2021-034),所有参与者均知情同意,并签署知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 常规检查** 包括裸眼远视力(uncorrected distance visual acuity, UDVA)、矫正远视力(corrected distance visual acuity, CDVA)、电脑验光、散瞳验光及眼底、裂隙灯显微镜、非接触式眼压计测量眼压、角膜地形图、中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)、B超、眼轴。

**1.2.2 验光方法**<sup>[3]</sup> 两组患者的验光均由同一有经验的验光师完成。0.25 D组:(1)客观验光:用电脑验光仪进行,记录患者的初始屈光度数。(2)主观验光:用综合验光仪进行,使用 $\pm 0.25$  D间隔球镜片,通过红绿平衡试验和最正度数之最佳视力(maximum plus to maximum visual acuity, MPMVA)的方法确定最终球镜度。再沿轴向两侧左右转动柱镜刻度,以患者能分辨视标最佳清晰度确定轴位。记录患者最终的屈光度数。0.05 D组:(1)客观验光及主观验光同0.25 D组。(2)完成客观验光后再使用0.05 D间隔球镜片插片进行红绿平衡试验,方法同0.25 D组。

**1.2.3 手术方法** 所有手术均由本研究的通讯作者完成。术前采用生理盐水冲洗结膜囊,常规消毒准备,采用0.5%奥布卡因滴眼液点眼3次后进行表面麻醉。采用VisuMax飞秒激光系统进行扫描制作角膜帽和微透镜,参数如下:激光脉冲频率为500 kHz,激光能量135-150 nJ,击射点间距4.5  $\mu\text{m}$ ,角膜帽预设厚度110-120  $\mu\text{m}$ 、直径7.5 mm,角膜微透镜直径6.5 mm,边切口长度2 mm,位置在120°。激光扫描结束后,分离并完整取出角膜基质透镜。

**1.2.4 术后处理** 术毕采用妥布霉素地塞米松滴眼液点眼后戴透明眼罩。术后1 d使用0.3%氧氟沙星滴眼液,每天4次,共用1 wk;0.1%氟米龙滴眼液每天4次,每周递减1次,共用4 wk;聚乙二醇滴眼液每天3次,共用6 mo。

**1.2.5 观察指标** (1)术后1、3、6 mo,用标准对数视力表检查患者的UDVA并转化为LogMAR视力后,再进行统计学分析。(2)术后6 mo计算安全性指数和有效性指数<sup>[8]</sup>。(3)先采用电脑验光仪验光后,再用0.05 D间隔球镜片进行主观验光,测量患者术后残余SE度数,并计算可预测性<sup>[9]</sup>;术后残余SE  $\leq \pm 0.5$  D和  $\leq \pm 0.25$  D的眼数百分比。(4)并发症情况。(5)采用WASCA Analyzer客观性波前

像差分析仪进行测量。两组患者波前像差检查由同一有经验的医师完成。对患者进行3次检查,检查时完全暴露角膜并保持角膜反射环清晰完整,从结果中择优选择暗室6 mm瞳孔直径下,泪膜均匀,中心偏位最小,误差最小的总高阶像差(high-order corneal aberration, HOA)。球差、水平彗差、垂直彗差及三叶草像差,以均方根值( $\mu\text{m}$ )表示。(6)术后6 mo采用QoV调查问卷,评估各种不良视觉症状对患者生活的影响。问卷调查是由2名医师组成的视觉质量调查小组完成。为了便于患者判断,避免出现理解偏差,先让患者阅读相应的QoV视觉症状图片作为参考,再让患者填写调查问卷。内容包括眩光、光晕、星爆、视觉朦胧、视物模糊、视物变形、重影、视觉波动、聚焦困难及距离感知困难10个视觉症状。按照每个症状出现的频率、程度及影响生活的严重程度评分,每项得分为0-3分,0分为无,1分为偶有、轻度、不影响生活,2分为经常出现、中度、中等程度影响生活,3分为持续出现、严重、非常影响生活,总分为各积分之和<sup>[10]</sup>。

统计学分析:应用SPSS 28.0统计学软件进行数据分析。计数资料采用 $n(\%)$ 表示,两组间比较采用 $\chi^2$ 检验。计量资料经Shapiro-Wilk检验判断是否符合正态分布,符合正态分布的计量资料用均数 $\pm$ 标准差( $\bar{x}\pm s$ )表示,重复测量数据采用重复测量数据的方差分析,进一步两两采用

LSD- $t$ 检验,两组间比较采用独立样本 $t$ 检验。不符合正态分布的计量资料以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,两组间比较采用Mann-Whitney  $U$ 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 两组患者术前和手术情况比较** 两组患者术前情况比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),术中角膜切削厚度比较差异有统计学意义( $P<0.05$ ),见表1。两组患者均顺利完成手术,术中未出现角膜基质透镜残留、角膜撕裂、负压丢失等并发症,术后未出现感染等严重并发症。

**2.2 两组患者有效性和安全性及可预测性比较** 术后6 mo,两组患者手术有效性指数和安全性指数比较差异均无统计学意义( $P>0.05$ ),两组患者术后6 mo残余 $SE \leq \pm 0.50$  D眼数比较差异无统计学意义( $P>0.05$ ),残余 $SE \leq \pm 0.25$  D眼数比较差异有统计学意义( $P<0.05$ ),见表2。0.05 D组和0.25 D组术前拟矫正 $SE$ 与实际矫正 $SE$ 线性回归分析得到:0.05 D组: $y=0.99x+0.03$ ,  $R^2=0.99$ ,  $P<0.001$ ;0.25 D组: $y=0.98x+0.03$ ,  $R^2=0.97$ ,  $P<0.001$ (图1)。在同样样本量的情况下,0.05 D组累积均方误差始终比0.25 D组小,且随着样本量增加0.05 D组误差下降的趋势更明显,见图2。在同样样本量情况下,0.05 D组累积决定系数( $R^2$ )始终比0.25 D组越接近1,且随着样本量增加有上升趋势,见图3。

表1 两组患者术前和手术情况比较

组别	眼数	性别 (男/女,例)	年龄 ( $\bar{x}\pm s$ , 岁)	SE ( $\bar{x}\pm s$ , D)	球镜 ( $\bar{x}\pm s$ , D)	柱镜 ( $\bar{x}\pm s$ , D)
0.05 D组	200	117/83	22.27 $\pm$ 4.46	-4.45 $\pm$ 1.05	-4.25 $\pm$ 1.15	-0.47 $\pm$ 0.43
0.25 D组	200	110/90	22.36 $\pm$ 5.01	-4.33 $\pm$ 1.03	-4.13 $\pm$ 1.20	-0.55 $\pm$ 0.44
$\chi^2/t$		0.633	0.065	1.457	1.776	-1.020
$P$		0.462	0.659	0.121	0.082	0.330
组别	眼数	CDVA ( $\bar{x}\pm s$ , LogMAR)	UDVA ( $\bar{x}\pm s$ , LogMAR)	CCT ( $\bar{x}\pm s$ , $\mu\text{m}$ )	暗瞳孔直径 ( $\bar{x}\pm s$ , mm)	术中角膜切削厚度 ( $\bar{x}\pm s$ , $\mu\text{m}$ )
0.05 D组	200	-0.01 $\pm$ 0.215	0.82 $\pm$ 0.14	549.77 $\pm$ 1.56	5.40 $\pm$ 0.32	92.78 $\pm$ 16.56
0.25 D组	200	-0.02 $\pm$ 0.2	0.84 $\pm$ 0.15	552.24 $\pm$ 4.63	5.45 $\pm$ 0.33	83.24 $\pm$ 17.33
$\chi^2/t$		-1.985	-1.886	0.805	-1.573	16.244
$P$		0.067	0.057	0.315	0.101	<0.001

注:0.05 D组采用0.05 D间隔球镜片验光;0.25 D组采用常规0.25 D间隔球镜片验光。

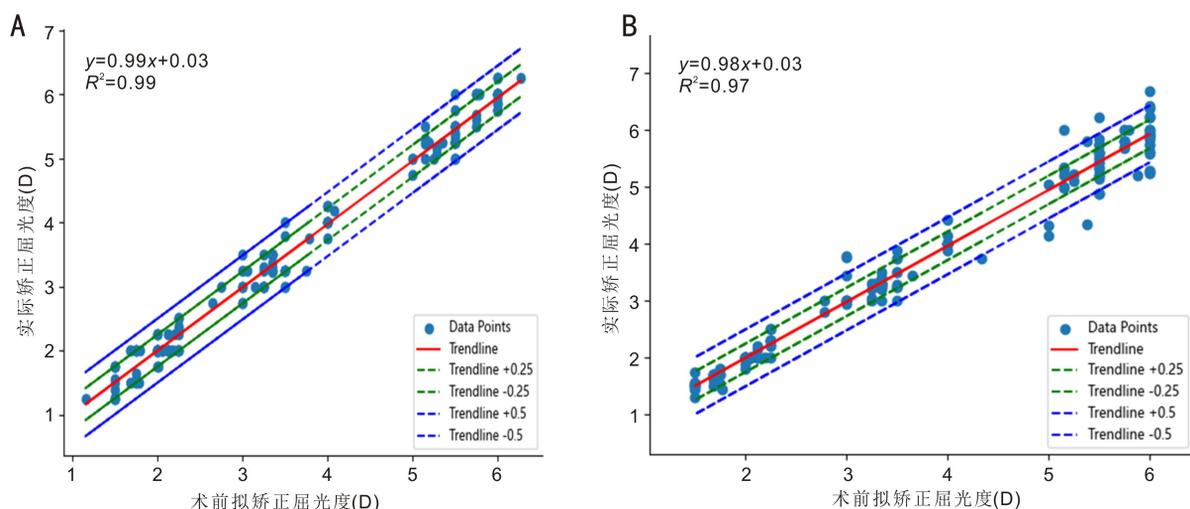


图1 两组患者术前拟矫正与实际矫正 $SE$ 散点图 A:0.05 D组;B:0.25 D组。

**2.3 两组患者手术前后 UDVA 比较** 两组患者手术前后 UDVA 比较差异有统计学意义 ( $F_{\text{组间}} = 16.91, P_{\text{组间}} = 0.031; F_{\text{时间}} = 1077.61, P_{\text{时间}} < 0.001; F_{\text{组间} \times \text{时间}} = 16.21, P_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.014$ )。两组患者术前 UDVA 比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 0.05 D 组患者术后各时间点 UDVA 优于 0.25 D 组, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.001$ )。两组患者术后各时间点 UDVA 均显著优于同组术前, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 同组患者术后各时间点 UDVA 两两比较差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 3。

**2.4 两组患者手术前后角膜前表面高阶像差比较**

**2.4.1 两组患者手术前后角膜总 HOA 比较** 两组患者手术前后角膜总 HOA 时间比较差异有统计学意义 ( $F_{\text{时间}} = 27.141, P_{\text{时间}} < 0.001$ ), 组间和交互作用比较差异均无统计学意义 ( $F_{\text{组间}} = 0.691, P_{\text{组间}} = 0.631; F_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.580, P_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.953$ )。两组患者术前角膜总 HOA 比较差异无统计学意义 ( $t = -0.746, P = 0.456$ ), 两组患者术后各时间点的角膜总 HOA 均显著高于同组术前, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 同组患者术后各时间点两两比较差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 4。

**2.4.2 两组患者手术前后球差比较** 两组患者手术前后球差时间和组间比较差异均有统计学意义 ( $F_{\text{组间}} = 11.476, P_{\text{组间}} = 0.001; F_{\text{时间}} = 14.510, P_{\text{时间}} < 0.001$ ), 交互作用比较差异无统计学意义 ( $F_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.621, P_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.614$ )。两组患者术前球差比较差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 0.05 D 组患者术后各时间点球差均高于 0.25 D 组, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.001$ )。两组患者术后各时间点球差均显著高于同组术前, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 同组患者术后各时间点两两比较差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 5。

**2.4.3 两组患者手术前后水平彗差比较** 两组患者手术前后水平彗差比较时间差异有统计学意义 ( $F_{\text{时间}} = 5.571, P_{\text{时间}} = 0.002$ ), 组间及交互作用比较差异均无统计学意义 ( $F_{\text{组间}} = 3.476, P_{\text{组间}} = 0.112; F_{\text{组间} \times \text{时间}} = 3.857, P_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.108$ )。两组患者术前水平彗差比较差异无统计学意义 ( $t = 0.958, P = 0.339$ ), 两组患者术后各时间点的水平彗差均显著高于同组术前, 差异均有统计学意义 ( $P < 0.05$ ), 同组患者术后各时间点两两比较差异均无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), 见表 6。

表 2 两组患者有效性和安全性及可预测性比较

组别	眼数	有效性指数 ( $\bar{x} \pm s$ )	安全性指数 ( $\bar{x} \pm s$ )	残余 SE $\leq \pm 0.50$ D (眼, %)	残余 SE $\leq \pm 0.25$ D (眼, %)
0.05 D 组	200	1.05 $\pm$ 0.05	1.12 $\pm$ 0.02	200 (100)	195 (97.5)
0.25 D 组	200	1.03 $\pm$ 0.02	1.13 $\pm$ 0.01	188 (98.5)	175 (87.5)
$t/\chi^2$		-0.317	1.211	0.721	14.414
P		0.750	0.213	0.399	<0.001

注: 0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光; 0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光。

表 3 两组患者手术前后 UDVA 比较

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

组别	眼数	术前	术后 1 mo	术后 3 mo	术后 6 mo
0.05 D 组	200	0.82 $\pm$ 0.14	-0.050 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup>	-0.052 $\pm$ 0.43 <sup>a</sup>	-0.060 $\pm$ 0.44 <sup>a</sup>
0.25 D 组	200	0.84 $\pm$ 0.15	0.003 $\pm$ 0.57 <sup>a</sup>	-0.002 $\pm$ 0.57 <sup>a</sup>	-0.002 $\pm$ 0.53 <sup>a</sup>
t		-1.886	10.774	11.059	11.873
P		0.057	<0.001	<0.001	<0.001

注: 0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光; 0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光; <sup>a</sup> $P < 0.05$  vs 同组术前。

表 4 两组患者手术前后角膜总 HOA 比较

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

组别	眼数	术前	术后 1 mo	术后 3 mo	术后 6 mo
0.05 D 组	200	0.45 $\pm$ 0.71	0.81 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	0.80 $\pm$ 0.15 <sup>a</sup>	0.79 $\pm$ 0.16 <sup>a</sup>
0.25 D 组	200	0.47 $\pm$ 0.73	0.79 $\pm$ 0.21 <sup>a</sup>	0.78 $\pm$ 0.19 <sup>a</sup>	0.78 $\pm$ 0.33 <sup>a</sup>

注: 0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光; 0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光; <sup>a</sup> $P < 0.05$  vs 同组术前。

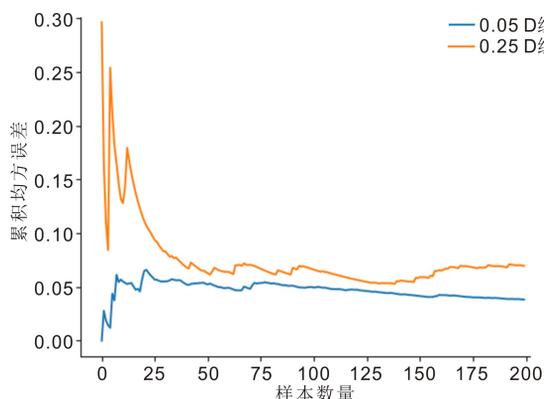


图 2 两组患者累积均方误差图。

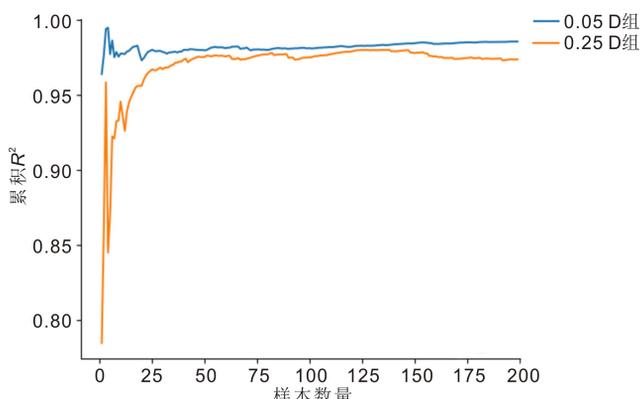


图 3 两组患者累积决定系数 ( $R^2$ ) 图。

**2.4.4 两组患者手术前后垂直彗差比较** 两组患者手术前后垂直彗差比较组间和时间差异均有统计学意义( $F_{\text{组间}} = 7.546, P_{\text{组间}} = 0.006; F_{\text{时间}} = 5.228, P_{\text{时间}} = 0.003$ ),交互作用差异无统计学意义( $F_{\text{组间} \times \text{时间}} = 1.255, P_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.323$ )。术前两组患者垂直彗差比较 差异无统计学意义( $P > 0.05$ ),0.05 D 组患者术后各时间点的垂直彗差均低于 0.25 D 组,差异均有统计学意义( $P < 0.001$ )。两组患者术后各时间点的垂直彗差均显著高于同组术前,差异均有统计学意义( $P < 0.05$ ),同组患者术后各时间点两两比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表 7。

**2.4.5 两组患者手术前后三叶草差比较** 两组患者手术前后三叶草差比较差异均无统计学意义( $F_{\text{组间}} = 0.556, P_{\text{组间}} = 0.627; F_{\text{时间}} = 3.169, P_{\text{时间}} = 0.067; F_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.751, P_{\text{组间} \times \text{时间}} = 0.477$ ),见表 8。

**2.5 两组患者术后视觉质量调查问卷比较** 术后 6 mo,两

组患者最常见的三种不良视觉症状为视觉朦胧、眩光及视觉波动,0.05 D 组发生频率分别为 37.0%、32.0%和 28.5%,0.25 D 组发生频率分别为 38.0%、31.0%和 30.0%,上述三种不良视觉症状发生率比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ );其余不良视觉症状发生率均小于 30%,两组患者术后均未发生视物变形、重影、聚焦困难以及距离感知困难。0.05 D 组患者视物模糊的发生率为 19.5%,低于 0.25 D 组(27.5%),差异有统计学意义( $\chi^2 = 4.787, P = 0.029$ ),见表 9。

0.05 D 组患者术后不良视觉症状总评分为 0.35(0.24,0.55)分,0.25 D 组为 0.62(0.32,0.89)分,两组比较差异有统计学意义( $Z = -2.177, P = 0.032$ )。0.05 D 组患者除视物模糊评分小于 0.25 D 组,差异有统计学意义以外,其余各项不良视觉症状评分两组比较差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表 10。

表 5 两组患者手术前后球差比较

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

组别	眼数	术前	术后 1 mo	术后 3 mo	术后 6 mo
0.05 D 组	200	0.24±0.13	0.57±0.18 <sup>a</sup>	0.58±0.13 <sup>a</sup>	0.58±0.19 <sup>a</sup>
0.25 D 组	200	0.21±0.12	0.44±0.22 <sup>a</sup>	0.45±0.26 <sup>a</sup>	0.46±0.08 <sup>a</sup>
<i>t</i>		1.979	6.468	6.325	8.232
<i>P</i>		0.060	<0.001	<0.001	<0.001

注:0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光;0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光;<sup>a</sup> $P < 0.05$  vs 同组术前。

表 6 两组患者手术前后水平彗差比较

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

组别	眼数	术前	术后 1 mo	术后 3 mo	术后 6 mo
0.05 D 组	200	0.10±0.07	0.30±0.14 <sup>a</sup>	0.30±0.13 <sup>a</sup>	0.29±0.13 <sup>a</sup>
0.25 D 组	200	0.09±0.13	0.28±0.09 <sup>a</sup>	0.30±0.22 <sup>a</sup>	0.30±0.18 <sup>a</sup>

注:0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光;0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光;<sup>a</sup> $P < 0.05$  vs 同组术前。

表 7 两组患者手术前后垂直彗差比较

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

组别	眼数	术前	术后 1 mo	术后 3 mo	术后 6 mo
0.05 D 组	200	0.15±0.03	0.27±0.13 <sup>a</sup>	0.26±0.12 <sup>a</sup>	0.25±0.09 <sup>a</sup>
0.25 D 组	200	0.13±0.12	0.38±0.16 <sup>a</sup>	0.37±0.24 <sup>a</sup>	0.37±0.23 <sup>a</sup>
<i>t</i>		1.287	-7.546	-5.798	-6.871
<i>P</i>		0.232	<0.001	<0.001	<0.001

注:0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光;0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光;<sup>a</sup> $P < 0.05$  vs 同组术前。

表 8 两组患者手术前后三叶草差比较

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

组别	眼数	术前	术后 1 mo	术后 3 mo	术后 6 mo
0.05 D 组	200	0.07±0.13	0.09±0.06	0.10±0.07	0.10±0.08
0.25 D 组	200	0.07±0.11	0.10±0.10	0.11±0.07	0.09±0.08

注:0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光;0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光。

表 9 两组患者术后不良视觉症状发生率比较

眼(%)

组别	眼数	眩光	光晕	星爆	视觉朦胧	视物模糊	视觉波动
0.05 D 组	200	64(32.0)	25(12.5)	24(12.0)	74(37.0)	39(19.5)	57(28.5)
0.25 D 组	200	62(31.0)	36(18.0)	29(14.5)	76(38.0)	55(27.5)	60(30.0)
$\chi^2$		1.131	1.264	1.198	1.141	4.787	1.267
<i>P</i>		0.611	0.503	0.633	0.498	0.029	0.501

注:0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光;0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光。

表 10 两组患者术后不良视觉症状评分比较

[ $M(P_{25}, P_{75})$ , 分]

组别	眼数	眩光	光晕	星爆	视觉朦胧	视物模糊
0.05 D 组	200	0.08(0.07,0.13)	0.01(0.01,0.03)	0.01(0.01,0.02)	0.08(0.05,0.10)	0.09(0.06,0.22)
0.25 D 组	200	0.13(0.09,0.18)	0.02(0.01,0.03)	0.02(0.01,0.03)	0.11(0.07,0.14)	0.15(0.09,0.21)
Z		-1.878	-0.876	-0.834	-1.322	-2.401
P		0.073	0.502	0.496	0.313	0.039

组别	眼数	视物变形	视觉波动	聚焦困难	距离感知困难	重影
0.05 D 组	200	0.00(0.00,0.00)	0.13(0.08,0.18)	0.00(0.00,0.00)	0.00(0.00,0.00)	0.00(0.00,0.00)
0.25 D 组	200	0.00(0.00,0.00)	0.15(0.13,0.17)	0.00(0.00,0.00)	0.00(0.00,0.00)	0.00(0.00,0.00)
Z		0.000	-1.767	0.000	0.000	0.000
P		1.000	0.081	1.000	1.000	1.000

注:0.05 D 组采用 0.05 D 间隔球镜片验光;0.25 D 组采用常规 0.25 D 间隔球镜片验光。

### 3 讨论

传统的验光标准为间隔 0.25 D 镜片。临床上我们发现有一部分患者在进行红绿平衡试验时,用 0.25 D 为间隔增加负球镜片时会直接由红色清晰变为绿色清晰,而无法达到红绿平衡状态,说明平衡点位于  $\pm 0.25$  D 之内。研究表明,人眼对屈光度的分辨能力约在 0.05 D<sup>[11]</sup>,而目前应用的激光仪矫正屈光度可以精确到 0.01 D,我们推测,如果术前用 0.05 D 间隔调整球镜验光提高了足矫率,也应该能同时提高 SMILE 手术的精确度。

安全性指数、有效性指数及屈光手术后残余的 SE 用于评估屈光手术的安全性、有效性及可预测性<sup>[12]</sup>。既往研究表明<sup>[13]</sup>,SMILE 术后 6 mo 时角膜生物力学结构的改变与术后 1 a 相似,提示 SMILE 术后 6 mo 角膜愈合达到稳定状态,故本研究将观察窗设置在术后 6 mo。从术后各时间 UDVA 来看,两组患者均较术前 UDVA 显著提高,且 0.05 D 组优于 0.25 D 组,其差异均有统计学意义(均  $P < 0.05$ )。在术后 6 mo 时,两组患者手术的有效性指数及安全性指数均在 1.0 以上,差异无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。这表明无论是 0.05 D 间隔球镜验光引导下的 SMILE 手术,还是常规 0.25 D 间隔球镜验光引导下的 SMILE 手术,均具有良好的安全性和有效性。但在术后 6 mo 时,0.05 D 组残余 SE 在  $\leq \pm 0.25$  D 的眼数百分比高于 0.25 D 组;两组散点图更能直观显示,0.05 D 验光引导的 SMILE 术后更接近足矫状态。从累积均方误差图和累积  $R^2$  图来看,随着样本量的增加,0.05 D 组手术的预测性与精确度优于 0.25 D 组。以上这些结果都证实了我们的推测,即 SMILE 术前采用 0.05 D 间隔球镜片验光是可以提高手术精确度的。

SMILE 术后角膜像差的增加与术后角膜形态的改变、角膜组织排列顺序的改变以及患者泪膜的不稳定有关<sup>[14]</sup>。为此,我们两组患者均纳入右眼进行研究,且术中切口方向一致,目的就是为了排除不同眼别和不同切口方向对患者术后像差的影响。本研究中两组患者术后各时间点总 HOA、球差、垂直彗差、水平彗差均较术前明显增加,而三叶草像差无明显变化,与既往研究结果相似<sup>[9]</sup>。SMILE 术后球差增加,与术后角膜曲率变小,角膜形状相对扁平,通过角膜中央光线与周边光线无法聚焦在同一点有关<sup>[9]</sup>。而 0.05 D 组患者的球差高于 0.25 D 组 ( $P <$

0.05),我们推测可能与 0.05 D 组角膜切削深度稍高于 0.25 D 组的角膜切削深度有关,角膜前表面曲率改变越多,角膜变得更趋于扁平,引入的球差相对较多<sup>[15]</sup>。两组患者术后的彗差均以垂直方向改变为主,这与 SMILE 手术后角膜切口愈合方向的作用力,术中无瞳孔定位跟踪,中心定位时眼球的 BELL 现象<sup>[16]</sup>,近距离视物增加,角膜上方被上眼睑压迫<sup>[14]</sup>,以及亚临床的偏中心切削<sup>[17]</sup>有关。本研究中发现,0.05 D 组术后各时间点的垂直彗差均低于 0.25 D 组 ( $P < 0.05$ ),这提示 0.05 D 组引导的 SMILE 在提高术后视觉质量方面较常规 0.25 D 组引导的 SMILE 有一定的优势。

要最真实地反映人眼的视觉质量,就必须将主观和客观两方面合理地结合起来<sup>[18]</sup>。术后主观视觉质量的评估方法主要采用不同种类的调查问卷。为了便于患者理解,我们采用了有说明图片的 Qov 调查问卷。既往研究结果表明,眩光、星爆、视力波动、视力模糊等是 SMILE 术后常见的视觉症状<sup>[10,19]</sup>。本研究结果显示,两组患者 SMILE 术后视觉朦胧发生频率最高,其次是眩光和视觉波动,与姚浩英等<sup>[14]</sup>研究结果相似,考虑可能与飞秒激光在切削角膜透镜过程中激光裂解爆破作用产生的小气泡会在术后短期存在以及角膜基质透镜取出后残留基质间隙使角膜组织处于分离状态有关。本研究显示,0.05 D 组患者视物模糊的发生率低于 0.25 D 组 ( $P < 0.05$ ),这一点与贾雍等<sup>[20]</sup>研究结果一致,推测可能是因为常规 0.25 D 组术前验光时由于跨度较大,验光数据容易欠矫,术后更容易处于离焦状态。而且,在临床工作中用常规 0.25 D 间隔球镜进行主观验光时,容易出现患者无法达到双眼平衡的现象,此时,验光师往往会选择保持优势眼清晰,这样就会导致术后双眼不能同时达到最佳视力。由于 0.05 D 验光较常规 0.25 D 更为精准,这种双眼平衡状况随之得到了明显的改善,我们分析这也是 0.05 D 组患者发生不良视觉症状低于 0.25 D 组的原因之一。

理论上,SMILE 术后高阶像差的增加是出现视觉症状的重要因素。本研究两组患者术后也都有不良视觉症状的发生,但其严重程度以及对患者困扰程度都比较轻微,对患者日常生活基本无明显影响。从各项不良视觉症状发生率及 Qov 调查问卷得分情况来看,0.05 D 组好于 0.25 D 组,这与 0.05 D 间隔球镜片验光更加精确,使得术

后 UDVA 更易达到甚至超过术前的 CDVA 有关。由此可见,尽管两组患者术后会出现不良视觉症状,但术后高阶像差在一定范围的变化对患者视觉质量的影响不大,与 Qov 视觉症状评分也无明显相关,这与国外 Siedlecki 等<sup>[21]</sup>研究结果相同。这些视觉症状的出现可能与术后泪膜不稳定、患者的个体差异、患者的认知水平以及患者术后生活方式的不同等因素有关<sup>[10]</sup>。

综上所述,与常规 0.25 D 间隔球镜片相比,0.05 D 间隔球镜片验光引导下的 SMILE 手术具有更好的可预测性,不良视觉症状的发生率也较低,能够显著提升低中度近视患者的视力并且能够获得更好的视觉质量。当然,本研究也存在一定的不足之处,如仅对角膜前表面像差进行了分析,缺少术后对全眼球像差变化的观察;缺少更多的客观视觉质量评估方法,如对比敏感度测试、眩光测试等;仅观察了中低度近视的效果及视觉质量,未纳入高度近视及散光的样本;随访时间也相对较短,未获得更长久的随访结果。未来我们将延长随访时间,纳入高度近视样本,增加更多、更全面的客观视觉质量检查来进一步探究。

**利益冲突声明:** 本文不存在利益冲突。

**作者贡献声明:** 马红利、宋学英论文选题、设计及实施研究,分析和解释数据,初稿撰写;刘雪雁文献检索,分析和解释数据;苏红、张小牛收集数据;李世洋选题指导,对资料进行分析及解释,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] Li MY, Li M, Chen YJ, et al. Five-year results of small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser LASIK (FS-LASIK) for myopia. *Acta Ophthalmol*, 2019,97(3):e373-e380.

[2] 王咏,陈琦. SMILE 术后视觉质量及视功能评估的研究进展. *微创医学*, 2023,18(2):233-237.

[3] 邢星,李世洋,翁维,等. 0.05 D 间隔球镜片验光在近视患者 SMILE 手术中的应用. *中华实验眼科杂志*, 2023,41(8):763-767.

[4] Logan NS, Wolffsohn JS. Role of un-correction, under-correction and over-correction of myopia as a strategy for slowing myopic progression. *Clin Exp Optom*, 2020,103(2):133-137.

[5] 姚婷婷,王继红. 人眼对镜片度数变换敏感度阈值的探索及使用小进阶镜片的临床研究. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2023,25(1):56-61.

[6] 甄毅,曹凯,高杰. 降低框架眼镜球镜度数间隔有可能延缓青

少年近视进展. *眼科*, 2022,31(2):89-93.

[7] 中华医学会眼科学分会眼视光学组,吕帆. 我国飞秒激光小切口角膜基质透镜取出手术规范专家共识(2018年). *中华眼科杂志*, 2018(10):729-736.

[8] Han T, Shang JM, Zhou XY, et al. Refractive outcomes comparing small-incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis for high myopia. *J Cataract Refract Surg*, 2020,46(3):419-427.

[9] 康婷婷,尹连荣,刘沙沙,等. SMILE 术中大 Kappa 角的调整对术后全眼高阶像差的影响. *眼科新进展*, 2023,43(10):790-794.

[10] Reinstein DZ, Archer TJ, Vida RS, et al. Objective and subjective quality of vision after SMILE for high myopia and astigmatism. *J Refract Surg*, 2022,38(7):404-413.

[11] Zhen Y, Gao J, Cao K, et al. Theoretical derivation and clinical validation of the resolution limit of human eye to spherical lens change: a self-controlled study. *Int Ophthalmol*, 2023,43(4):1387-1394.

[12] 姚浩英,栾静林,张少斌,等. SMILE 与 EVO-ICL 植入术矫正中度近视的短期视觉质量观察. *国际眼科杂志*, 2023,23(4):567-572.

[13] 李康寓,王姗姗,李青云,等. SMILE 手术前后全眼高阶像差与角膜生物力学变化. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2022,24(5):351-357.

[14] 姚浩英,林敏,张少斌,等. 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术矫正中度近视的短期视觉效果. *滨州医学院学报*, 2023,46(5):342-346.

[15] 张扬婧,孙鹏. 角膜波前像差引导 FS-LASIK 治疗近视合并不同程度散光的疗效观察. *国际眼科杂志*, 2022,22(7):1183-1186.

[16] 武志清,王雁,张琳,等. 飞秒激光小切口角膜基质内透镜取出术与飞秒激光 LASIK 术后高阶像差改变的对比研究. *中华眼科杂志*, 2015(3):193-201.

[17] 邵婷,王雁,郝维婷,等. Kappa 角大小对 SMILE 手术前后全眼像差的影响及其意义. *中华实验眼科杂志*, 2022,40(6):525-532.

[18] 张万成,叶亲颖. 眼科视觉生活质量问卷调查表的汇总分析. *国际眼科杂志*, 2023,23(11):1854-1858.

[19] Wei RY, Li MY, Zhang HH, et al. Comparison of objective and subjective visual quality early after implantable collamer lens V4c (ICL V4c) and small incision lenticule extraction (SMILE) for high myopia correction. *Acta Ophthalmol*, 2020,98(8):e943-e950.

[20] 贾雍,张百珂,廖沙,等. 0.05 D 验光引导下 FS-LASIK 近视矫正术后临床效果观察. *眼科*, 2023,32(4):289-293.

[21] Siedlecki J, Schmelter V, Schworm B, et al. Corneal wavefront aberrations and subjective quality of vision after small incision lenticule extraction. *Acta Ophthalmol*, 2020,98(7):e907-e913.