

近视眼 SMILE 与 SPT-TransPRK 术后早期视觉质量比较

宁吉良 张立军 孙思宇 闫春晓 陈若语 邢泽群 于涛瑞

大连医科大学附属大连市第三人民医院眼科, 大连 116033

通信作者: 张立军, Email: lijunzhangw@gmail.com

【摘要】 目的 探讨飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (SMILE) 与智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术 (SPT-TransPRK) 术后早期视觉质量的差异和变化情况。 **方法** 采用队列研究方法, 选取 2021 年 2—5 月于大连医科大学附属大连市第三人民医院行角膜屈光手术者 92 例 92 眼, 均为右眼入组, 其中 SMILE 组 40 例 40 眼, SPT-TransPRK 组 52 例 52 眼。分别于术前及术后 1 个月、3 个月检查受检者视力, 计算有效性, 有效性 = 术后裸眼视力 (UCVA) / 术前最佳矫正视力; 采用 AR-1 自动电脑验光仪测量屈光度; 采用 Sirius 角膜地形图测量角膜高阶像差 (HOA), 包括总 HOA、球差和彗差; 采用 OQAS II 视觉质量分析系统测量客观散射指数 (OSI), 调制传递函数截止频率 (MTF cut-off), 斯特列尔比 (SR), 模拟对比度视力 VA100、VA20 和 VA9 (白天、黄昏、夜晚)。 **结果** 术后 3 个月, SMILE 组与 SPT-TransPRK 组 UCVA、有效性比较差异均无统计学意义 ($Z=0.880, P=0.380; t=0.920, P=0.058$), SPT-TransPRK 组术后表现为低度远视。术前、术后 1 个月和术后 3 个月 SMILE 组总 HOA 分别为 (0.47 ± 0.18) 、 (0.70 ± 0.22) 和 $(0.74 \pm 0.19) \mu\text{m}$, SPT-TransPRK 组分别为 (0.40 ± 0.14) 、 (0.98 ± 0.35) 和 $(0.94 \pm 0.22) \mu\text{m}$; 术前、术后 1 个月和术后 3 个月 SMILE 组球差分别为 (-0.20 ± 0.09) 、 (-0.44 ± 0.14) 和 $(-0.44 \pm 0.15) \mu\text{m}$, SPT-TransPRK 组分别为 (-0.20 ± 0.10) 、 (-0.71 ± 0.23) 和 $(-0.75 \pm 0.20) \mu\text{m}$ 。2 个组术眼手术前后不同时间点总 HOA 和球差比较, 差异均有统计学意义 (总 HOA: $F_{\text{分组}}=13.851, P=0.001; F_{\text{时间}}=29.960, P<0.001$ 。球差: $F_{\text{分组}}=31.037, P<0.001; F_{\text{时间}}=48.005, P<0.001$), 其中 2 个组术后角膜总 HOA、球差均较术前增加, 差异均有统计学意义 (均 $P<0.05$); 术后 1 个月和 3 个月, SMILE 组术眼总 HOA 和球差均小于 SPT-TransPRK 组, 差异均有统计学意义 (均 $P<0.05$)。2 个组术后 1 个月、3 个月角膜彗差较术前增加, 差异均有统计学意义 (均 $P<0.05$)。SMILE 组术后 1 个月 OSI 高于术前, MTF cut-off、SR 和 VA9 低于术前, 差异均有统计学意义 (均 $P<0.05$); 术后 3 个月 OSI 高于术前, SR 和 VA9 低于术前, 差异均有统计学意义 (均 $P<0.05$)。SPT-TransPRK 组术后 1 个月 OSI 高于术前, MTF cut-off、SR、VA100、VA20 和 VA9 低于术前, 差异均有统计学意义 (均 $P<0.05$), 术后 3 个月 OSI、MTF cut-off、SR、VA100、VA20 和 VA9 与术前比较差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。2 个组间术眼彗差、OSI、MTF cut-off、SR、VA100、VA20 和 VA9 总体比较差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。 **结论** SMILE 和 SPT-TransPRK 均是矫正近视的有效方法, 术后早期视觉质量相似, 但相较 SPT-TransPRK, SMILE 引起更小的角膜总 HOA 与球差改变。

【关键词】 近视; 角膜激光手术; 角膜波前像差; 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术; 视觉质量

基金项目: 大连市科技创新基金项目 (2019J13SN105)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20211122-00637

Comparison of early postoperative visual quality between SMILE and SPT-TransPRK

Ning Jiliang, Zhang Lijun, Sun Siyu, Yan Chunxiao, Chen Ruoyu, Xing Zequn, Yu Taorui

Department of Ophthalmology, The Dalian Third People's Hospital Affiliated to Dalian Medical University, Dalian 116033, China

Corresponding author: Zhang Lijun, Email: lijunzhangw@gmail.com

[Abstract] Objective To investigate the differences and changes in early postoperative visual quality after small incision lenticule extraction (SMILE) and smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy (SPT-TransPRK). **Methods** A cohort study was performed. A total of 92 patients (92 eyes) who underwent corneal laser refractive surgery were enrolled in Dalian Third People's Hospital Affiliated to Dalian Medical

University from February 2021 to May 2021. The data from the right eye were collected for analysis. The patients were divided into SMILE group (40 patients, 40 eyes) and SPT-TransPRK group (52 patients, 52 eyes). Preoperative, 1- and 3-month postoperative visual acuity were measured to calculate the effectiveness, which was defined as the ratio of postoperative uncorrected visual acuity (UCVA) to preoperative best corrected visual acuity. Refraction was measured by an AR-1 autorefractor. Corneal higher-order aberration (HOA) including total HOA, spherical aberration and coma was measured by Sirius corneal topographer. Objective scatter index (OSI), modulation transfer function cut-off frequency (MTF cut-off), Strehl ratio (SR), simulated contrast visual acuity VA100 (day), VA20 (dusk) and VA9 (night) were measured via OQAS II visual quality analysis system. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of the Dalian Third People's Hospital Affiliated to Dalian Medical University (No. 2019-KT-010). Written informed consent was obtained from each subject.

Results There was no significant difference in 3-month postoperative UCVA and effectiveness between the two groups ($Z = 0.880$, $P = 0.380$; $t = 0.920$, $P = 0.058$). Patients in SPT-TransPRK group showed mild hyperopia 3 months after surgery. Preoperative, 1- and 3-month postoperative total corneal HOA was (0.47 ± 0.18) , (0.70 ± 0.22) and $(0.74 \pm 0.19) \mu\text{m}$ in SMILE group, and (0.40 ± 0.14) , (0.98 ± 0.35) and $(0.94 \pm 0.22) \mu\text{m}$ in SPT-TransPRK group respectively, showing statistically significant differences ($F_{\text{group}} = 13.851$, $P = 0.001$; $F_{\text{time}} = 29.960$, $P < 0.001$). Preoperative, 1- and 3-month postoperative spherical aberration was (-0.20 ± 0.09) , (-0.44 ± 0.14) and $(-0.44 \pm 0.15) \mu\text{m}$ in SMILE group, and (-0.20 ± 0.10) , (-0.71 ± 0.23) and $(-0.75 \pm 0.20) \mu\text{m}$ in SPT-TransPRK group respectively, showing statistically significant differences ($F_{\text{group}} = 31.037$, $P < 0.001$; $F_{\text{time}} = 48.005$, $P < 0.001$). The postoperative total corneal HOA and spherical aberration were increased in both groups compared with before surgery, with statistically significant differences (all at $P < 0.05$). The 1- and 3-month postoperative total corneal HOA and spherical aberrations were smaller in SMILE group than in SPT-TransPRK group, and the differences were statistically significant (all at $P < 0.05$). The 1- and 3-month postoperative coma were increased in both groups compared with before surgery, showing statistically significant differences (all at $P < 0.05$). In SMILE group, 1-month postoperative OSI was higher and 1-month postoperative MTF cut-off, SR, and VA9 were lower than those before surgery, and 3-month postoperative OSI was higher and 3-month postoperative SR and VA9 were lower than those before surgery, showing statistically significant differences (all at $P < 0.05$). In SPT-TransPRK group, 1-month postoperative OSI was higher and 1-month postoperative MTF cut-off, SR, VA100, VA20, and VA9 were lower than those before surgery, showing statistically significant differences (all at $P < 0.05$). There was no significant difference in OSI, MTF cut-off, SR, VA100, VA20, and VA9 between 3 months postoperatively and before surgery in the SPT-TransPRK group (all at $P > 0.05$). There was no significant difference in coma, OSI, MTF cut-off, SR, VA100, VA20, and VA9 between two groups (all at $P > 0.05$).

Conclusions Both SMILE and SPT-TransPRK are effective methods for correcting myopia and they have comparable visual quality. Compared with SPT-TransPRK, corneal total HOA and spherical aberration are smaller after SMILE.

[Key words] Myopia; Corneal surgery, laser; Corneal wavefront aberration; Femtosecond small incision lenticule extraction; Smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy; Visual quality

Fund program: Dalian Science and Technology Innovation Fund (2019J13SN105)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20211122-00637

近视发病率逐年升高, 预计 2050 年全球近视人口将达到 47.58 亿人, 占全球人口的 49.8%^[1]。屈光手术是矫治近视、提高近视人群生活质量的重要手段。飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术 (small incision lenticule extraction, SMILE) 和智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术 (smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy, SPT-TransPRK) 是目前基质层与表层角膜激光屈光手术最先进的 2 种代表术式。研究表明, SMILE 和 SPT-

TransPRK 均有良好的安全性、有效性和可预测性^[2-5]。近年来, 屈光手术带来的眩光、光晕和夜间视力下降等视觉质量问题引起了人们的关注。OQAS II 视觉质量分析系统 (西班牙 Visiometrics 公司) 通过收集视网膜点光源图像, 并经过双通道技术分析其点扩散函数图像, 从而获得客观散射指数 (objective scatter index, OSI)、调制传递函数截止频率 (modulation transferfunction cut-off frequency, MTF cut-off)、斯特列尔比 (Strehl ratio, SR)、模拟对比度视力等客观视觉质

量参数。目前,仅少数研究对比了 SMILE 与准分子激光角膜表面切削术 (photorefractive keratectomy, PRK) 及准分子激光上皮下角膜磨镶术 (laser-assisted subepithelial keratomileusis, LASEK) 术后视觉质量,结果显示 SMILE 诱导高阶像差 (higher-order aberration, HOA) 变化更少^[6-8]。但关于 SMILE 与 SPT-TransPRK 术后早期 OQAS 视觉质量对比研究较少。本研究拟比较 SMILE 与 SPT-TransPRK 术后早期角膜像差与 OQAS 视觉质量,以期为中度近视矫正的术式选择提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用队列研究方法,选取 2021 年 2—5 月于大连医科大学附属大连市第三人民医院行 SMILE 手术者 40 例 40 眼,其中男 22 例,女 18 例;行 SPT-TransPRK 手术者 52 例 52 眼,其中男 27 例,女 25 例;所有患者均为右眼入组。2 个组患者术前年龄、性别构成比、最佳矫正视力 (best corrected visual acuity, BCVA)、球镜度、柱镜度、SE、中央角膜厚度 (central corneal thickness, CCT) 比较差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$) (表 1)。纳入标准:(1) 年龄 18~45 岁;(2) SE 为 -3.00~-6.00 D,柱镜度 < 2.00 D;(3) 术前 CCT > 500 μm ;(4) 近 2 年屈光度数稳定;(5) 术前 BCVA > 0.8;(6) 术前分别至少停戴软性角膜接触镜 1 周、硬性角膜接触镜 1 个月、角膜塑形镜 3 个月。排除标准:(1) 圆锥角膜、疑似圆锥角膜、其他类型角膜扩张患者;(2) 有活动性眼部疾病者;(3) 有焦虑、抑郁等精神症状者;(4) 有自身免疫性疾病或全身感染性疾病者;(5) 瘢痕体质或重度干眼患者。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经大连医科大学附属大连市第三人民医院伦理委员会批准 (批文号:2019-KT-010)。所有患者术前均签署手术知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 术前检查 术前均行裸眼视力 (uncorrected visual acuity, UCVA)、BCVA、自动电脑验光仪 (AR-1, 日本 NIDEK 公司)、主觉验光、非接触眼压计 (NT-510, 日本 NIDEK 公司)、Sirius 角膜地形图仪 (意大利 CSO 公司)、OQAS II 视觉质量分析系统 (西班牙 Visiometrics 公司)、A 型超声角膜测厚仪 (SW-2000, 天津索维电子技术有限公司)、欧宝超广角眼底彩照仪 (英国 Optos 公司)、裂隙灯显微镜 (SLM-5E, 重庆康华公司) 检查。每项检查均由同一经验丰富的医师完成。

1.2.2 手术方法及术后用药 手术均由同一经验丰富的医师完成。(1) SMILE 术前 3 d 采用左氧氟沙星滴眼液点眼 4 次/d,溴芬酸钠滴眼液 2 次/d。术前常规消毒、冲洗结膜囊,表面麻醉。采用德国蔡司 VisuMax 飞秒激光系统进行角膜切削。设定参数:帽厚度 110~120 μm ,直径 7.1~7.7 mm,基质透镜直径 6.0~6.6 mm,边切 10~15 μm ,切口位置 120°,大小 2 mm。采用分离镊分离透镜,经切口取出后覆盖角膜绷带镜。术后采用左氧氟沙星滴眼液点眼,4 次/d,使用 2 周;妥布霉素地塞米松滴眼液点眼,5 次/d,使用 1 周,1 周后采用 0.1% 氟米龙滴眼液点眼,4 次/d,逐周减量,使用 4 周;玻璃酸钠滴眼液点眼,4 次/d,使用 6 个月。(2) SPT-TransPRK 术前用药及准备同上。采用德国 Schwind Amaris 750s 准分子激光系统进行 SPT 引导下的 SPT-TransPRK。设定参数:中央角膜上皮厚度 55 μm ,周边角膜上皮厚度 65 μm ,光区 5.8~6.8 mm,过渡区为 7.3~8.0 mm。使用含 0.02% 丝裂霉素的吸血海绵点蘸基质面 20 s,之后使用大量平衡盐溶液冲洗,吸干水分后覆盖角膜绷带镜。术后采用左氧氟沙星滴眼液点眼,4 次/d,使用 1 周;溴芬酸钠滴眼液点眼,2 次/d,妥布霉素地塞米松滴眼液点眼,4 次/d,使用 3 d;第 4 天至术后 1 个月使用氯替泼诺

表 1 2 个组患者基线资料比较
Table 1 Comparison of demographics between two groups

组别	眼数	性别 (男/女, n) ^a	年龄 [M(Q ₁ , Q ₃), 岁] ^b	BCVA [M(Q ₁ , Q ₃), LogMAR] ^b	球镜度 ($\bar{x} \pm s, D$) ^c	柱镜度 ($\bar{x} \pm s, D$) ^c	SE ($\bar{x} \pm s, D$) ^c	CCT ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$) ^c
SMILE 组	40	22/18	22(18, 28)	-0.08(-0.08, -0.08)	-5.08±1.13	-0.88±0.44	-5.40±1.22	561.85±20.82
SPT-TransPRK 组	52	27/25	20(18, 27)	-0.08(-0.08, -0.08)	-4.88±1.02	-0.81±0.36	-5.16±1.05	557.24±23.74
$\chi^2/Z/t$ 值		0.080	-1.170	1.660	-0.100	-0.790	-1.140	1.090
P 值		0.769	0.243	0.097	0.322	0.433	0.258	0.280

注:(a: χ^2 检验; b: Wilcoxon 秩和检验; c: 独立样本 t 检验) SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术; BCVA: 最佳矫正视力; SE: 等效球镜度; CCT: 中央角膜厚度

Note: (a: χ^2 test; b: Wilcoxon rank sum test; c: Independent samples t -test) SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy; BCVA: best corrected visual acuity; SE: spherical equivalent; CCT: central corneal thickness

滴眼液点眼, 3 次/d, 1 个月后使用 0.1% 氟米龙滴眼液点眼, 3 次/d, 逐周减量, 使用 3 个月; 玻璃酸钠滴眼液点眼, 4 次/d, 使用 6 个月。

1.2.3 术后随访和评价指标 术后 1 个月和 3 个月进行随访, 评价指标如下: (1) UCVA; (2) 采用自动电脑验光仪进行屈光度检查; (3) 有效性 = 术后 UCVA/术前 BCVA; (4) 采用 Sirius 角膜地形图仪测量 6 mm 直径角膜总 HOA、球差与彗差。(5) 采用 OQAS II 视觉质量分析系统测量眼部 OSI, MTF cut-off, SR, 模拟对比度视力 VA100、VA20、VA9(白天、黄昏、夜晚)。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 26.0 统计学软件进行统计分析。计量资料数据经 Shapiro-Wilk 检验进行正态分布检验, 符合正态分布的数据以 $\bar{x} \pm s$ 表示, 符合偏态分布的数据以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示。2 个组术前球镜度、柱镜度、SE、CCT 和术后 3 个月有效性比较采用独立样本 *t* 检验; 2 个组年龄、术前 BCVA 和术后 3 个月 UCVA 及 SE 比较采用 Wilcoxon 秩和检验。2 个组手术前后不同时间点总 HOA、球差、彗差、OSI、MTF cut-off、SR、VA100、VA20、VA9 总体差异比较采用重复测量两因素方差分析, 两两比较采用 LSD-*t* 检验。计数资料采用频数表示, 2 个组性别构成比比较采用 χ^2 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 个组术眼术后 3 个月 UCVA、有效性及 SE 比较

术后 3 个月, 2 个组 UCVA 和有效性比较差异均无统计学意义 ($Z = 0.880, P = 0.380; t = 0.920, P = 0.058$)。SPT-TransPRK 组 SE 高于 SMILE 组, 差异有统计学意义 ($Z = 3.280, P = 0.001$)。SPT-TransPRK 组术后 3 个月呈低度远视(表 2)。

2.2 2 个组术眼手术前后不同时间点总 HOA 比较

2 个组术眼手术前后不同时间点总 HOA 比较, 差异均有统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 13.851, P = 0.001;$

$F_{\text{时间}} = 29.960, P < 0.001; F_{\text{交互作用}} = 9.204, P < 0.001$) , 其中 2 个组术后 1 个月、3 个月角膜总 HOA 高于术前, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$) ; SMILE 组术后不同时间点角膜总 HOA 低于 SPT-TransPRK 组, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$) (表 3)。

2.3 2 个组术眼手术前后不同时间点球差比较

2 个组术眼手术前后不同时间点球差比较, 差异均有统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 31.037, P < 0.001; F_{\text{时间}} = 48.005, P < 0.001; F_{\text{交互作用}} = 21.646, P < 0.001$) , 其中 2 个组术后 1 个月、3 个月角膜球差负值较术前增加, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$) ; SMILE 组术后不同时间点角膜球差负值均低于 SPT-TransPRK 组, 差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$) (表 4)。

2.4 2 个组术眼手术前后不同时间点彗差比较

2 个组术眼手术前后不同时间点彗差比较, 组间

表 2 2 个组术后 3 个月 UCVA、有效性及 SE 比较
Table 2 Comparison of 3-month postoperative visual acuity, effectiveness, and refractive status between two groups

组别	眼数	UCVA [$M(Q_1, Q_3), \text{LogMAR}$] ^a	有效性 ($\bar{x} \pm s$) ^b	SE [$M(Q_1, Q_3), D$] ^a
SMILE 组	40	-0.08(-0.08, 0.00)	0.99±0.08	+0.19(0.00, +0.50)
SPT-TransPRK 组	52	-0.08(-0.08, 0.00)	0.95±0.15	+0.63(+0.25, +1.00)
Z/t 值		0.880	0.920	3.280
P 值		0.380	0.058	0.001

注: (a: Wilcoxon 秩和检验; b: 独立样本 *t* 检验) UCVA: 裸眼视力; SE: 等效球镜度; SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术
Note: (a: Wilcoxon rank sum test; b: Independent samples *t*-test) UCVA: uncorrected visual acuity; SE: spherical equivalent; SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

表 3 2 个组术眼手术前后不同时间点角膜总 HOA 比较 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)
Table 3 Comparison of total corneal HOA at different time points between two groups ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

组别	眼数	手术前后不同时间点总 HOA		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	0.47±0.18	0.70±0.22 ^{ab}	0.74±0.19 ^{ab}
SPT-TransPRK 组	52	0.40±0.14	0.98±0.35 ^a	0.94±0.22 ^a

注: $F_{\text{分组}} = 13.851, P = 0.001; F_{\text{时间}} = 29.960, P < 0.001; F_{\text{交互作用}} = 9.204, P < 0.001$ 。与术前比较, ^a $P < 0.05$; 与 SPT-TransPRK 组比较, ^b $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) HOA: 高阶像差; SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术
Note: $F_{\text{group}} = 13.851, P = 0.001; F_{\text{time}} = 29.960, P < 0.001; F_{\text{interaction}} = 9.204, P < 0.001$ 。Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$; compared with SPT-TransPRK group, ^b $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) HOA: higher-order aberration; SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 0.659, P = 0.422$), 不同时间点间比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 26.484, P < 0.001$), 其中 2 个组术后 1 个月、3 个月角膜彗差较术前增加, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 5)。

2.5 2 个组术眼手术前后不同时间点 OSI 比较

2 个组术眼手术前后不同时间点 OSI 比较, 组间差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 0.152, P = 0.700$), 不同时间点间比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 16.085, P < 0.01$), 其中 2 个组术后 1 个月、SMILE 组术后 3 个月 OSI 均较术前升高, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); 2 个组术后 3 个月 OSI 较术后 1 个月降低, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$) (表 6)。

2.6 2 个组术眼手术前后不同时间点 MTF cut-off 比较

2 个组术眼手术前后不同时间点 MTF cut-off 比较, 组间差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 1.758, P = 0.190$), 不同时间点间比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 6.267, P < 0.01$), 其中 2 个组术后 1 个月 MTF cut-off 较术前降低, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); SPT-TransPRK 组术后 3 个月与术后 1 个月相比升高, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$) (表 7)。

2.7 2 个组术眼手术前后不同时间点 SR 比较

2 个组术眼手术前后不同时间点 SR 比较, 组间差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 0.026, P = 0.871$), 不同时间点间比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 6.371, P < 0.01$), 其中 2 个组术后 1 个月、SMILE 组术后 3 个月 SR 均较术前降低, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); SPT-TransPRK 组术后 3 个月较术后 1 个月升高, 差异有统计学意义 ($P = 0.010$) (表 8)。

2.8 2 个组术眼手术前后不同时间点 VA100 比较

2 个组术眼手术前后不同时间点 VA100 比较, 组间差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 2.371, P = 0.130$), 不同时间点间比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 7.477, P < 0.01$), 其中 SPT-TransPRK 组术后 1 个月 VA100 较术前降低, 差异有统计学意义 ($P = 0.010$), 术后 3 个月

表 4 2 个组术眼手术前后不同时间点球差比较 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)
Table 4 Comparison of spherical aberration at different time points before and after surgery between two groups ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

组别	眼数	手术前后不同时间点球差		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	-0.20±0.09	-0.44±0.14 ^{ab}	-0.44±0.15 ^{ab}
SPT-TransPRK 组	52	-0.20±0.10	-0.71±0.23 ^a	-0.75±0.20 ^a

注: $F_{\text{分组}} = 31.037, P < 0.001; F_{\text{时间}} = 48.005, P < 0.001; F_{\text{交互作用}} = 21.646, P < 0.001$. 与术前比较, ^a $P < 0.05$; 与 SPT-TransPRK 组比较, ^b $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术
Note: $F_{\text{group}} = 31.037, P < 0.001; F_{\text{time}} = 48.005, P < 0.001; F_{\text{interaction}} = 21.646, P < 0.001$. Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$; compared with SPT-TransPRK group, ^b $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology assisted transepithelial photorefractive keratectomy

表 5 2 个组术眼手术前后不同时间点彗差比较 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)
Table 5 Comparison of coma at different time points before and after surgery between two groups ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

组别	眼数	手术前后不同时间点彗差		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	0.29±0.16	0.40±0.21 ^a	0.45±0.18 ^a
SPT-TransPRK 组	52	0.24±0.20	0.35±0.19 ^a	0.37±0.14 ^a

注: $F_{\text{分组}} = 0.659, P = 0.422; F_{\text{时间}} = 26.484, P < 0.001; F_{\text{交互作用}} = 0.680, P = 0.510$. 与术前比较, ^a $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术
Note: $F_{\text{group}} = 0.659, P = 0.422; F_{\text{time}} = 26.484, P < 0.001; F_{\text{interaction}} = 0.680, P = 0.510$. Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

表 6 2 个组术眼手术前后不同时间点 OSI 比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 6 Comparison of OSI at different time points before and after surgery between two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	眼数	手术前后不同时间点 OSI		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	0.56±0.38	0.89±0.54 ^a	0.73±0.42 ^{ab}
SPT-TransPRK 组	52	0.64±0.55	0.96±0.64 ^a	0.69±0.33 ^b

注: $F_{\text{分组}} = 0.152, P = 0.700; F_{\text{时间}} = 16.085, P < 0.01; F_{\text{交互作用}} = 0.726, P = 0.485$. 与术前比较, ^a $P < 0.05$; 与术后 1 个月比较, ^b $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) OSI: 客观散射指数; SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术
Note: $F_{\text{group}} = 0.152, P = 0.700; F_{\text{time}} = 16.085, P < 0.01; F_{\text{interaction}} = 0.726, P = 0.485$. Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$; compared with 1-month postoperative, ^b $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) OSI: objective scatter index; SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

VA100 与术后 1 个月相比升高, 差异有统计学意义 ($P < 0.05$) (表 9)。

2.9 2 个组术眼手术前后不同时间点 VA20 比较

2 个组术眼手术前后不同时间点 VA20 比较, 组间差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 1.348, P = 0.250$), 不同时间点间比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 5.423, P < 0.01$), 其中 SPT-TransPRK 组术后 1 个月 VA20 较术前降低, 差异有统计学意义 ($P = 0.040$), 术后 3 个月 VA20 与术后 1 个月相比升高, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$) (表 10)。

2.10 2 个组术眼手术前后不同时间点 VA9 比较

2 个组术眼手术前后不同时间点 VA9 比较, 组间差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 0.039, P = 0.840$), 不同时间点间比较差异有统计学意义 ($F_{\text{时间}} = 6.223, P < 0.01$), 其中 2 个组术后 1 个月、SMILE 组术后 3 个月 VA9 较术前降低, 差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$); SPT-TransPRK 组术后 3 个月 VA9 与术后 1 个月相比升高, 差异有统计学意义 ($P < 0.01$) (表 11)。

3 讨论

SMILE 通过飞秒激光在角膜基质扫描形成基质透镜, 并经过飞秒激光制作小切口将角膜透镜取出, 具有切口小、恢复快等特点^[9]。SPT-TransPRK 是目前先进的表层激光手术, 脉冲激光发射沿富勒烯 3D 模型分布, 模拟角膜真实曲面, 与未加载智能脉冲技术的 TransPRK 相比, 术后角膜基质更平滑, 上皮生长和视力恢复更快^[10]。SMILE 与 SPT-TransPRK 术后早期视觉质量的差异及恢复情况如何尚不清楚。

表 7 2 个组术眼手术前后不同时间点 MTF cut-off 比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 7 Comparison of MTF cut-off at different time points before and after surgery between two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	眼数	手术前后不同时间点 MTF cut-off		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	41.10 ± 9.48	36.56 ± 10.06 ^a	38.17 ± 9.14
SPT-TransPRK 组	52	37.91 ± 11.21	32.41 ± 11.68 ^a	38.86 ± 9.50 ^b

注: $F_{\text{分组}} = 1.758, P = 0.190; F_{\text{时间}} = 6.267, P < 0.01; F_{\text{交互作用}} = 1.449, P = 0.240$ 。与术前比较, ^a $P < 0.05$; 与术后 1 个月比较, ^b $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) MTF cut-off: 调制传递函数截止频率; SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术
Note: $F_{\text{group}} = 1.758, P = 0.190; F_{\text{time}} = 6.267, P < 0.01; F_{\text{interaction}} = 1.449, P = 0.240$. Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$; compared with 1-month postoperative, ^b $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) MTF cut-off: modulation transfer function cut-off frequency; SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

表 8 2 个组术眼手术前后不同时间点 SR 比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 8 Comparison of SR at different time points before and after surgery between two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	眼数	手术前后不同时间点 SR		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	0.24 ± 0.06	0.21 ± 0.07 ^a	0.20 ± 0.05 ^a
SPT-TransPRK 组	52	0.23 ± 0.07	0.19 ± 0.06 ^a	0.22 ± 0.07 ^b

注: $F_{\text{分组}} = 0.026, P = 0.871; F_{\text{时间}} = 6.371, P < 0.01; F_{\text{交互作用}} = 3.346, P = 0.030$ 。与术前比较, ^a $P < 0.05$; 与术后 1 个月比较, ^b $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) SR: 斯特列尔比; SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术
Note: $F_{\text{group}} = 0.026, P = 0.871; F_{\text{time}} = 6.371, P < 0.01; F_{\text{interaction}} = 3.346, P = 0.030$. Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$; compared with 1-month postoperative, ^b $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) SR: Strehl ratio; SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

表 9 2 个组术眼手术前后不同时间点 VA100 比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 9 Comparison of VA100 at different time points before and after surgery between two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	眼数	手术前后不同时间点 VA100		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	1.37 ± 0.32	1.22 ± 0.34	1.27 ± 0.30
SPT-TransPRK 组	52	1.27 ± 0.37	1.05 ± 0.43 ^a	1.28 ± 0.32 ^b

注: $F_{\text{分组}} = 2.371, P = 0.130; F_{\text{时间}} = 7.477, P < 0.01; F_{\text{交互作用}} = 1.594, P = 0.210$ 。与术前比较, ^a $P < 0.05$; 与术后 1 个月比较, ^b $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) VA100: 模拟白天对比度视力; SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术
Note: $F_{\text{group}} = 2.371, P = 0.130; F_{\text{time}} = 7.477, P < 0.01; F_{\text{interaction}} = 1.594, P = 0.210$. Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$; compared with 1-month postoperative, ^b $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) VA100: predicted visual acuity 100%; SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

本研究发现, SMILE 组与 SPT-TransPRK 组术后 3 个月 UCVA 和有效性比较差异均无统计学意义, 这之前一项关于不同激光屈光手术的 meta 分析结果一

表 10 2 个组术眼手术前后不同时间点 VA20 比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 10 Comparison of VA20 at different time points before and after surgery between two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	眼数	手术前后不同时间点 VA20		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	1.03±0.28	0.90±0.30	0.91±0.25
SPT-TransPRK 组	52	0.94±0.33	0.78±0.32 ^a	0.95±0.29 ^b

注: $F_{\text{分组}} = 1.348, P = 0.250; F_{\text{时间}} = 5.423, P < 0.01; F_{\text{交互作用}} = 1.554, P = 0.220$ 。与术前比较, ^a $P < 0.05$; 与术后 1 个月比较, ^b $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) VA20: 模拟黄昏对比度视力; SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术

Note: $F_{\text{group}} = 1.348, P = 0.250; F_{\text{time}} = 5.423, P < 0.01; F_{\text{interaction}} = 1.554, P = 0.220$. Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$; compared with 1-month postoperative, ^b $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) VA20: predicted visual acuity 20%; SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

表 11 2 个组术眼手术前后不同时间点 VA9 比较 ($\bar{x} \pm s$)
Table 11 Comparison of VA9 at different time points before and after surgery between two groups ($\bar{x} \pm s$)

组别	眼数	手术前后不同时间点 VA9		
		术前	术后 1 个月	术后 3 个月
SMILE 组	40	0.63±0.18	0.55±0.21 ^a	0.52±0.15 ^a
SPT-TransPRK 组	52	0.60±0.21	0.49±0.19 ^a	0.59±0.20 ^b

注: $F_{\text{分组}} = 0.039, P = 0.840; F_{\text{时间}} = 6.223, P < 0.01; F_{\text{交互作用}} = 2.725, P = 0.080$ 。与术前比较, ^a $P < 0.05$; 与术后 1 个月比较, ^b $P < 0.05$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) VA9: 模拟夜晚对比度视力; SMILE: 飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术; SPT-TransPRK: 智能脉冲技术辅助经上皮准分子激光角膜切削术

Note: $F_{\text{group}} = 0.039, P = 0.840; F_{\text{time}} = 6.223, P < 0.01; F_{\text{interaction}} = 2.725, P = 0.080$. Compared with preoperative, ^a $P < 0.05$; compared with 1-month postoperative, ^b $P < 0.05$ (Two-way repeated measures ANOVA, LSD-*t* test) VA9: predicted visual acuity 9%; SMILE: small incision lenticule extraction; SPT-TransPRK: smart pulse technology-assisted transepithelial photorefractive keratectomy

致^[11], 表明 2 种手术均是治疗近视的有效方法。本研究结果显示, 相对于 SMILE 组, SPT-TransPRK 组术后 3 个月表现为低度远视。而杜玉芹等^[2]和杜晓豪等^[3]研究发现, SPT-TransPRK 术后早期趋近正视并相对稳定。分析产生以上差异的可能原因为: (1) 考虑到可能存在的上皮愈合反应过强及个体因素导致的屈光回退问题, 本研究目标屈光度为 +0.5 D; (2) 局部糖皮质激素滴眼液用法的不同可能会影响上皮愈合与重塑。

波前像差即物像理想波阵面与实际波阵面的光程差, 是影响视网膜成像质量的重要因素。本研究观察到术后早期, 2 个组角膜 HOA 均较术前明显增加, 这与赵皎等^[12]的研究结果一致。有研究表明, 球差对视觉质量的影响大于彗差, 尤其是在大瞳孔直径下, 因此屈光术后角膜球差的增加可能引起夜间眩光的风险^[6]。本研究发现术后早期 SMILE 组球差显著小于 SPT-TransPRK 组, 与 Yu 等^[13]一项比较 SMILE 与 LASEK 术后 3 个月角膜 HOA 的结果一致, 这可能是由于 2 种激光切削模式不同导致, SMILE 保留了角膜

上皮层和部分前部基质, 角膜前表面形态受影响较小, 保留了角膜的非球面性; 而 SPT-TransPRK 未保留, 因此在上皮重塑的过程中可能引入球差^[13]。既往研究表明, 角膜屈光术后彗差的增加与切削的偏中心相关^[14]。SPT-TransPRK 术后应用眼动跟踪定位系统, 而 SMILE 在轻度负压的基础上进行透镜制作, 未加载眼动跟踪系统, 因此理论上 SMILE 术后更易出现偏心。研究表明, 相比 SPT-TransPRK, SMILE 引起术后角膜彗差的变化更大^[14-17]。而本研究结果发现, 在矫正基线资料前提下, SMILE 组术后角膜彗差略大于 SPT-TransPRK 组, 但差异尚无统计学意义, 提示本研究中 SMILE 与 SPT-TransPRK 具有相似的精准对位。

OQAS 视觉质量分析系统使用双通道技术采集点光源在视网膜成像, 从而分析点光源在视网膜的成像形状与能量分布, 获得眼内像差与散射对人眼视觉质量的综合影响, 其获取的 OSI、MTF

cut-off、SR、VA100、VA20、VA9 均具有良好的准确性与可重复性^[18]。OSI 为点光源在视网膜成像周边能量强度与中央能量强度比值, 其值越大反映外界光到视网膜成像的前向散射越大, 从而影响人眼成像的视觉质量, 其正常值 < 1 ^[19]。本研究发现, 术后 1 个月 SMILE 组 OSI 大于术前, 且接近正常值上限, 这与 Yin 等^[20]的研究结果一致。本研究推测, 术后 1 个月眼内前散射的增加与早期角膜 Bowman 层组织重塑相关, Shetty 等^[21]采用光学相干断层扫描发现 SMILE 术后 1 个月角膜 Bowman 层粗糙程度增加。同时, 本研究发现术后 3 个月 SMILE 组 OSI 仍高于术前, 提示我们术后层间愈合界面所引起的光散射增加尚未恢复。本研究同样发现, SPT-TransPRK 术后 1 个月 OSI 大于术前, 这可能与 SPT-TransPRK 术后早期成纤维细胞活化、细胞凋亡、组织炎症等伤口愈合反应比较活跃所致的光散射增加有关^[22-23]。随着愈合反应的减轻, 组织重建, 角膜透明度提高, SPT-TransPRK 术后 3 个月 OSI 恢复至术前状态。MTF cut-off 为 MTF 为 0.01 时的空

间频率,反映分辨率的极限,其值越大代表视觉质量越好,正常值 ≥ 30 c/deg。SR 为反映实际光学系统与理想光学系统成像的光强度比,反映像差对光学系统成像质量的影响,其值越大代表视觉质量越好。VA100、VA20 和 VA9 分别为不同对比度(0.01、0.05、0.1)下的视力,其中 VA100 可经过 MTF cut-off 计算转换^[24]。本研究发现 SMILE 组术后 3 个月 SR、VA9 尚未恢复至术前,而 SPT-TransPRK 组术后 3 个月 MTF cut-off、SR、VA100、VA20、VA9 均恢复至术前。术后 1 个月和 3 个月 2 个组客观视觉质量指标差异均无统计学意义,与 Lin 等^[15]发现 SMILE 与 SPT-TransPRK 术后 1、3、6 个月术眼 OSI、MTF cut-off、SR 差异均无统计学意义相一致,表明 2 种手术方式术后早期视觉质量均较好。

本研究的局限性在于重复测量数据患者有一定的失访率,因此样本量受到一定影响。同时本研究随访时间短、未进行术后 BCVA 及主观视觉质量指标,如对比敏感度、C-Quan 散射光的测量,未来将纳入上述随访指标观察 2 种手术方式长期的视觉质量变化。

综上,本研究结果显示 SMILE 与 SPT-TransPRK 2 种手术方式均是矫正近视的有效方法,术后早期具有相似的视觉质量,但相较 SPT-TransPRK, SMILE 引起更小的角膜总 HOA 和球差改变。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 宁吉良:设计试验、实施研究、分析数据、起草文章;张立军:设计试验、对文章知识性内容的审阅和智力性内容的修改及定稿;孙思宇、同春晓、陈若语、邢泽群、于涛瑞:实施研究、采集数据、分析数据

参考文献

- Holden BA, Fricke TR, Wilson DA, et al. Global prevalence of myopia and high myopia and temporal trends from 2000 through 2050 [J]. *Ophthalmology*, 2016, 123 (5) : 1036-1042. DOI: 10.1016/j.ophtha.2016.01.006.
- 杜玉芹,周春阳,周跃华,等.智能脉冲技术的 TransPRK 与 SMILE 矫正近视的疗效比较[J]. *中华实验眼科杂志*, 2020, 38 (6) : 489-493. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200327-00216.
- Du YQ, Zhou CY, Zhou YH, et al. Comparison of clinical effects between TransPRK with intelligent pulse technology and SMILE for myopia [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2020, 38 (6) : 489-493. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200327-00216.
- 杜晓蒙,张佳,苏蒙,等.智能脉冲技术辅助的 TransPRK 矫正高度近视的效果和安全性评估[J]. *中华实验眼科杂志*, 2021, 39 (12) : 1053-1058. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20190423-00200.
- Du XH, Zhang J, Su M, et al. Evaluation of the effectiveness and safety of TransPRK assisted by smart pulse technology for high myopia [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2021, 39 (12) : 1053-1058. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20190423-00200.
- Lang M, Cao KW, Liu T, et al. Five-year results of refractive outcomes and vision-related quality of life after SMILE for the correction of high myopia [J]. *Int J Ophthalmol*, 2021, 14 (9) : 1365-1370. DOI: 10.18240/ijo.2021.09.11.
- Sánchez-González JM, Alonso-Aliste F. Visual and refractive outcomes of 100 small incision lenticule extractions (SMILE) in moderate and high myopia: a 24-month follow-up study [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2019, 257 (7) : 1561-1567. DOI: 10.1007/s00417-019-04349-4.
- Zhu X, Zou L, Yu M, et al. Comparison of postoperative visual quality after SMILE and LASEK for high myopia: a 1-year outcome [J/OL]. *PLoS One*, 2017, 12 (8) : e0182251 [2022-10-20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28771544/>. DOI: 10.1371/journal.pone.0182251.

- Yu M, Chen M, Wang B, et al. Comparison of visual quality after SMILE and LASEK for mild to moderate myopia [J]. *J Refract Surg*, 2015, 31 (12) : 795-800. DOI: 10.3928/1081597X-20151111-02.
- Ganesh S, Brar S, Patel U. Comparison of ReLEx SMILE and PRK in terms of visual and refractive outcomes for the correction of low myopia [J]. *Int Ophthalmol*, 2018, 38 (3) : 1147-1154. DOI: 10.1007/s10792-017-0575-6.
- Ang M, Gatineau D, Reinstein DZ, et al. Refractive surgery beyond 2020 [J]. *Eye (Lond)*, 2021, 35 (2) : 362-382. DOI: 10.1038/s41433-020-1096-5.
- Adib-Moghaddam S, Soleyman-Jahi S, Sanjari Moghaddam A, et al. Efficacy and safety of transepithelial photorefractive keratectomy [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2018, 44 (10) : 1267-1279. DOI: 10.1016/j.jcrs.2018.07.021.
- Wen D, McAlinden C, Flitcroft I, et al. Postoperative efficacy, predictability, safety, and visual quality of laser corneal refractive surgery: a network meta-analysis [J]. *Am J Ophthalmol*, 2017, 178 : 65-78. DOI: 10.1016/j.ajo.2017.03.013.
- 赵姣,曾莉,刘宗顺,等. SMILE 与 Trans-PRK 手术矫正近视对角膜前表面像差的影响 [J]. *国际眼科杂志*, 2018, 18 (3) : 438-441. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2018.3.08.
- Zhao J, Zeng L, Liu ZS, et al. Effects of SMILE and Trans-PRK on corneal higher order aberrations after myopic correction [J]. *Int Eye Sci*, 2018, 18 (3) : 438-441. DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2018.3.08.
- Yu M, Chen M, Liu W, et al. Comparative study of wave-front aberration and corneal asphericity after SMILE and LASEK for myopia: a short and long term study [J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2019, 19 (1) : 80 [2022-10-22]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30894159/>. DOI: 10.1186/s12886-019-1084-3.
- Lee H, Yong Kang DS, Reinstein DZ, et al. Comparing corneal higher-order aberrations in corneal wavefront-guided transepithelial photorefractive keratectomy versus small-incision lenticule extraction [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2018, 44 (6) : 725-733. DOI: 10.1016/j.jcrs.2018.03.028.
- Lin M, Zhou H, Hu Z, et al. Comparison of small incision lenticule extraction and transepithelial photorefractive keratectomy in terms of visual quality in myopia patients [J/OL]. *Acta Ophthalmol*, 2021, 99 (8) : e1289-e1296 [2022-10-20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33982437/>. DOI: 10.1111/aos.14823.
- Zheng Z, Zhang M, Jhanji V, et al. Comparison between aberration-free transepithelial photorefractive keratectomy and small incision lenticule extraction for correction of myopia and myopic astigmatism [J]. *Int Ophthalmol*, 2021, 41 (1) : 303-314. DOI: 10.1007/s10792-020-01582-3.
- Jun I, Kang D, Reinstein DZ, et al. Clinical outcomes of SMILE with a triple centration technique and corneal wavefront-guided transepithelial PRK in high astigmatism [J]. *J Refract Surg*, 2018, 34 (3) : 156-163. DOI: 10.3928/1081597X-20180104-03.
- 魏荫娟,宋慧,汤欣.光学质量分析系统对不同材质和屈光指数的 IOL 植入眼视觉质量的评估 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2016, 34 (3) : 248-253. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2016.03.012.
- Wei YJ, Song H, Tang X. Optical quality evaluation of pseudophakic eyes implanted different materials of IOL by optical quality analysis system [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2016, 34 (3) : 248-253. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2016.03.012.
- Henriquez MA, Mosquera SA, Camargo J, et al. Comparing the vision quality using double-pass technique in eyes with corrected refractive errors and emmetropic eyes [J]. *Arq Bras Oftalmol*, 2022, 85 (5) : 443-449. DOI: 10.5935/0004-2749.20220050.
- Yin Y, Lu Y, Xiang A, et al. Comparison of the optical quality after SMILE and FS-LASIK for high myopia by OQAS and iTrace analyzer: a one-year retrospective study [J/OL]. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21 (1) : 292 [2022-10-25]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34340669/>. DOI: 10.1186/s12886-021-02048-5.
- Shetty R, Francis M, Shroff R, et al. Corneal biomechanical changes and tissue remodeling after SMILE and LASIK [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2017, 58 (13) : 5703-5712. DOI: 10.1167/iov.17-22864.
- Tomás-Juan J, Murueta-Goyena Larrañaga A, Hanneken L. Corneal regeneration after photorefractive keratectomy: a review [J]. *J Optom*, 2015, 8 (3) : 149-169. DOI: 10.1016/j.optom.2014.09.001.
- Wei S, Wang Y, Wu D, et al. Ultrastructural changes and corneal wound healing after SMILE and PRK procedures [J]. *Curr Eye Res*, 2016, 41 (10) : 1316-1325. DOI: 10.3109/02713683.2015.1114653.
- Wang QM. Optical visual quality analysis based on double-pass technology [M]//Yu AY. *Double-pass optical quality analysis for the clinical practice of cataract*. Singapore: Springer, 2021 : 11-25. DOI: 10.1007/978-981-16-0435-5_2.

(收稿日期:2023-01-22 修回日期:2023-06-28)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)