

# T-PRK 与 SMILE 矫正低度近视的视觉质量观察

林敏<sup>1\*</sup>, 姚浩英<sup>2\*</sup>, 张浩润<sup>3</sup>, 王锐<sup>3</sup>, 赵静静<sup>3</sup>, 付梦军<sup>3</sup>

引用:林敏,姚浩英,张浩润,等. T-PRK 与 SMILE 矫正低度近视的视觉质量观察. 国际眼科杂志 2023;23(4):648-654

基金项目:潍坊市软科学研究计划项目(No.2021RKX160)

作者单位:<sup>1</sup>(256603)中国山东省滨州市,滨州医学院第一临床医学院;<sup>2</sup>(264100)中国山东省烟台市,滨州医学院第二临床医学院;<sup>3</sup>(261000)中国山东省潍坊市,潍坊眼科医院

\*:林敏和姚浩英对本文贡献一致。

作者简介:林敏,男,滨州医学院在读硕士研究生,研究方向:屈光手术;姚浩英,女,滨州医学院在读硕士研究生,研究方向:眼视光学。

通讯作者:付梦军,女,硕士研究生导师,副主任医师,研究方向:眼视光学、屈光手术. doctmengjunfu@163.com

收稿日期:2022-09-26 修回日期:2023-03-17

## 摘要

**目的:**观察经上皮准分子激光角膜切削术(T-PRK)与飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)矫正低度近视的角膜像差变化及视觉质量特点。

**方法:**前瞻性队列研究。选取2021-04/2022-04于潍坊眼科医院行T-PRK手术32例32眼及SMILE手术45例45眼的低度近视患者,比较两组术后裸眼视力(UCVA)、最佳矫正视力(BCVA)、等效球镜(SE)、角膜高阶像差(HOAs)及客观视觉质量。

**结果:**所有患者均顺利完成手术,未见感染等并发症。术后3mo,T-PRK组与SMILE组的安全指数分别为 $1.13 \pm 0.16$ 和 $1.16 \pm 0.17$ ( $P=0.48$ ),有效指数分别为 $1.10 \pm 0.20$ 和 $1.15 \pm 0.18$ ( $P=0.27$ )。T-PRK组和SMILE组UCVA(LogMAR) $\leq 0$ 的占比分别为94%和98%。两组残余SE在 $\pm 0.50D$ 内的占比分别为88%和87%。两组患者HOAs和球差均显著升高( $P \leq 0.01$ ),且两组间增加量无差异( $P=0.31, 0.89$ )。两组患者水平彗差、水平三叶草、垂直三叶草均无显著性变化( $P > 0.05$ )。SMILE组垂直彗差显著升高( $P < 0.001$ ),而T-PRK组无显著性变化( $P > 0.05$ ),且SMILE组的增加量明显大于T-PRK组( $P < 0.001$ )。两组间OSI、MTF<sub>cut off</sub>、SR、VA100%、VA20%、VA9%比较均未见差异( $P > 0.05$ )。

**结论:**T-PRK与SMILE矫正低度近视均有良好的安全性、有效性和视觉质量,SMILE手术与T-PRK手术相比诱导更多的垂直彗差。

**关键词:**经上皮准分子激光角膜切削术(T-PRK);飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE);低度近视;角膜像差;双通道客观视觉质量分析系统II

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.4.23

## Visual quality observation of transepithelial photorefractive keratectomy and femtosecond small incision lenticule extraction for the correction of low myopia

Min Lin<sup>1\*</sup>, Hao-Ying Yao<sup>2\*</sup>, Hao-Run Zhang<sup>3</sup>, Rui Wang<sup>3</sup>, Jing-Jing Zhao<sup>3</sup>, Meng-Jun Fu<sup>3</sup>

**Foundation item:** Weifang Soft Science Research Program (No. 2021RKX160)

<sup>1</sup>The First School Clinical Medicine of Binzhou Medical University, Binzhou 256603, Shandong Province, China; <sup>2</sup>The Second Medical College of Binzhou Medical University, Yantai 264100, Shandong Province, China; <sup>3</sup>Weifang Eye Hospital, Weifang 261000, Shandong Province, China

Co-first authors: Min Lin and Hao-Ying Yao

**Correspondence to:** Meng-Jun Fu. Weifang Eye Hospital, Weifang 261000, Shandong Province, China. doctmengjunfu@163.com

Received:2022-09-26 Accepted:2023-03-17

## Abstract

• **AIM:** To observe the changes in corneal aberrations and the characteristics of visual quality after transepithelial photorefractive keratectomy (T-PRK) and femtosecond small incision lenticule extraction (SMILE) in the correction of low myopia.

• **METHODS:** Prospective cohort study. A total of 32 cases (32 eyes) with low myopia who underwent T-PRK surgery and 45 cases (45 eyes) of SMILE surgery at Weifang Eye Hospital from April 2021 to April 2022 were selected. The uncorrected visual acuity (UCVA), best corrected visual acuity (BCVA), spherical equivalent (SE), corneal higher-order aberrations (HOAs) and objective visual quality were compared between the two groups.

• **RESULTS:** All patients completed the surgery successfully without complications such as infection. At 3mo postoperatively, the safety index was  $1.13 \pm 0.16$  and  $1.16 \pm 0.17$  ( $P=0.48$ ) and the efficacy index was  $1.10 \pm 0.20$  and  $1.15 \pm 0.18$  ( $P=0.27$ ) in the T-PRK and SMILE groups, respectively. The percentage of UCVA (LogMAR)  $\leq 0$  in the T-PRK and SMILE groups was 94% and 98%, respectively. The percentage of the residual SE within  $\pm 0.5D$  was 88% and 87% in the two groups, respectively. The HOAs and spherical aberration in both groups were significantly increased ( $P \leq 0.01$ ), and the increase was not statistically significant between the two groups ( $P=0.31, 0.89$ ). There was no significant change in horizontal coma, horizontal trefoil and vertical trefoil in both groups.

( $P > 0.05$ ). The vertical coma in SMILE group was significantly increased ( $P < 0.001$ ), while there was no significant change in T-PRK group ( $P > 0.05$ ), and the increase was significantly greater in SMILE group than in T-PRK group ( $P < 0.001$ ). There was no significant difference in objective scattering index (OSI), modulation transfer function cut off frequency ( $MTF_{cut\ off}$ ), Strehl ratio (SR), visual acuity (VA) 100%, VA20% and VA9% between the two groups ( $P > 0.05$ ).

• **CONCLUSION:** Both T-PRK and SMILE showed good safety, efficacy, and visual quality in correcting low myopia, while SMILE induced more vertical coma than T-PRK.

• **KEYWORDS:** transepithelial photorefractive keratectomy (T-PRK); femtosecond small incision lenticule extraction (SMILE); low myopia; corneal aberration; double-pass optical quality analysis system II

**Citation:** Lin M, Yao HY, Zhang HR, *et al.* Visual quality observation of transepithelial photorefractive keratectomy and femtosecond small incision lenticule extraction for the correction of low myopia. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2023;23(4):648-654

## 0 引言

随着科学技术的发展与生活质量的提高,越来越多的近视患者选择通过角膜屈光手术达到摘镜目的。按照手术方式的不同,可以将角膜屈光手术分为表层手术和板层手术。经上皮准分子激光角膜切削术(transepithelial photorefractive keratectomy, T-PRK)作为一种新型的表层手术,只需应用准分子激光一步去除角膜上皮和基质,零接触,已被证实具有良好的临床效果<sup>[1]</sup>。飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(femtosecond small incision lenticule extraction, SMILE)因其无角膜瓣、微创,更稳定的角膜生物力学等优点,已成为板层手术的主要代表之一。随着人们对手术期望值的提高,单纯改善视力已不能满足患者需求,术后夜间视力下降、复视、眩光等视觉质量问题将直接影响患者术后的舒适度和满意度<sup>[2]</sup>。以往的研究表明,SMILE手术及T-PRK手术矫正近视均有良好的安全性、有效性及可预测性,那么对于低度近视患者手术适应证怎么进行把握?患者将如何选择?术后的视觉质量又分别有什么样的特点呢?本研究采用Pentacam眼前节分析仪及双通道客观视觉质量分析系统II(double-pass optical quality analysis system II, OQAS II)对低度近视T-PRK与SMILE术后的短期视觉质量进行评估,以期临床手术方式的选择提供客观依据。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 前瞻性队列研究。收集2021-04/2022-04在潍坊眼科医院行近视手术的低度近视患者77例77眼,根据眼部检查结果,患者自愿选择行T-PRK与SMILE手术矫正近视。T-PRK组患者32例32眼,SMILE组45例45眼。两组患者年龄及等效球镜(SE)等比较,差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ,表1)。所有患者均单眼入组,若双眼均符合条件,则选择右眼入组。本研究符合潍坊眼科医院伦理委员会的要求,遵循《赫尔辛基宣言》,且所有患者均签署知情同意书。

**1.1.1 纳入标准** (1)年龄18~40岁;(2)患者要求行角膜

屈光手术改善屈光状态,并对手术拥有合理期望值;(3)无活动性眼表、眼球及附属器病变,无外伤史、无严重全身疾病及心理疾病史等;(4)术前最佳矫正视力(BCVA, LogMAR)  $\leq 0$ ,且连续2a每年屈光度数增加 $\leq 0.5D$ ;(5)球镜度数 $\leq -3.00D$ ,柱镜度数 $\leq -1.50D$ ;(6)术前软性角膜接触镜、硬性角膜接触镜和角膜塑形镜至少分别停戴1wk,1,3mo以上。

**1.1.2 排除标准** (1)年龄 $< 18$ 岁;(2)存在青光眼、圆锥角膜、视网膜色素变性、视网膜脱离、严重干眼及眼部活动性炎症;(3)中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)  $\leq 450\mu m$ 、预期切削后剩余角膜厚度(residual corneal thickness, RCT)  $< 280\mu m$ 和RCT小于术前CCT的50%;(4)未控制的全身结缔组织疾病及自身免疫性疾病,如系统性红斑狼疮、类风湿关节炎、多发性硬化。

## 1.2 方法

**1.2.1 术前常规检查** 裂隙灯显微镜及眼底光学相干断层扫描检查(optical coherence tomography, OCT);视力检查:包括裸眼视力(UCVA)和BCVA;验光检查:包括电脑验光、医学验光以及散瞳验光;眼压测量;Pentacam三维眼前节分析仪检查及OQAS II。

**1.2.2 手术方式** 所有患者术前常规使用0.5%左氧氟沙星滴眼液4次/天,连续应用3d。所有手术均由同一位经验丰富的术者完成。SMILE手术:术前应用盐酸奥布卡因滴眼液行表面麻醉。采用VisuMax飞秒激光器完成中心定位后,行透镜前后表面切削,分离透镜并取出。激光扫描参数:频率为500kHz,脉冲能量为130nJ,角膜帽厚度设为140 $\mu m$ ,光学区直径设为6.0~6.5mm,上方切口设置在120°(11:00),宽度为2.0mm,透镜边缘及微切口边切角为90°。T-PRK手术:麻醉同SMILE术。采用Amaris750s激光机行角膜上皮及基质的激光切削,光学区直径设为6.5~7.0mm,切削完毕后使用冷平衡液进行冲洗,配戴角膜绷带镜3~5d,观察角膜上皮完整后摘掉绷带镜。

**1.2.3 术后用药** SMILE组:0.5%左氧氟沙星滴眼液,4次/天,用药1wk;氯替泼诺混悬滴眼液,4次/d,并按每周递减1次的原则递减,用药1mo;0.2%酒石酸溴莫尼定滴眼液,2次/天,用药1mo;0.1%玻璃酸钠滴眼液,4次/d,用药3mo。T-PRK组:0.5%左氧氟沙星滴眼液,4次/天,用药1wk;小牛血去蛋白提取物眼用凝胶,4次/天,用药1wk;妥布霉素地塞米松滴眼液,4次/天,用药1wk;0.1%氟米龙滴眼液,4次/天,1wk后启用,按每月递减1次原则递减,用药时间为3mo。玻璃酸钠滴眼液,4次/天,用药3mo。

## 1.2.4 观察指标

**1.2.4.1 有效性和安全性及预测性** 分别于术前,术后3mo采用国际标准对数视力表检测UCVA,并将结果转换为最小分辨角对数(LogMAR)视力表示。有效指数:术后UCVA/术前BCVA。安全指数:术后BCVA/术前BCVA。预测性:尝试矫正SE与实际矫正SE之间的相关性来表示。

**1.2.4.2 OQAS相关指标测量** 分别于术前、术后3mo对两组患者进行测量。暗室环境下适应5min后,设定瞳孔直径为4mm,由同一检查者对患者采用OQAS II进行检查。检查中嘱患者始终注视目标,保持自然瞬目。记录斯特列尔比(Strehl ratio, SR)、客观散射指数(objective

scattering index, OSI)、调制传递函数截止频率(modulation transfer function cut off frequency,  $MTF_{cut\ off}$ )、对比度为100%、20%、9%的模拟对比度视力(visual acuity, VA100%、VA20%、VA9%)。

**1.2.4.3 角膜总高阶像差测量** 分别于术前、术后3mo对两组患者进行Pentacam角膜地形图测量角膜Zernike值,记录角膜中央6mm范围内高阶像差(higher-order aberrations, HOAs)、球差(spherical aberration, Z40)、水平彗差[horizontal coma,  $Z(3,1)$ ]、垂直彗差[vertical coma,  $Z(3,-1)$ ]、水平三叶草[horizontal trefoil,  $Z(3,3)$ ]和垂直三叶草[vertical trefoil,  $Z(3,-3)$ ]。

**1.2.5 随访** 随访时间为3mo。

**统计学分析:**使用SPSS28.0软件分析数据。计量资料的正态分布采用Shapiro-Wilk检验,满足正态分布的资料用均值±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,组内比较采用配对样本t检验,组间比较采用独立样本t检验。对非正态分布数据用中位数(四分位间距)表示,采用Mann-Whitney U检验和Wilcoxon符号秩检验;计数资料以n(%)表示,组间比较采用 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 有效性和安全性及预测性** 术后3mo, T-PRK组和SMILE组的UCVA为-0.1(-0.1,0)和-0.1(-0.1,0),与术前比差异均有统计学意义( $P < 0.001$ ),两组间比较差异无统计学意义( $P = 0.76$ ),见表2。

术后3mo, T-PRK组和SMILE组的有效指数分别为 $1.10 \pm 0.20$ 和 $1.15 \pm 0.18$  ( $P = 0.27$ ,表2)。T-PRK组和SMILE组术后UCVA(LogMAR)  $\leq 0$ 的占比分别为94%和98%。两组所有患者术后UCVA(LogMAR)均 $\leq 0.1$ 。T-PRK组和SMILE组的安全指数分别为 $1.13 \pm 0.16$ 和

$1.16 \pm 0.17$  ( $P = 0.48$ ,表2)。T-PRK组和SMILE组术后BCVA提高1行的占比分别为41%和44%,提高2行的占比分别为9%和13%(图1A)。

术后3mo, T-PRK组和SMILE组的残余SE分别为 $0.09 \pm 0.38$ ,  $0.22 \pm 0.36D$  ( $P = 0.12$ )。两组的残余柱镜分别为 $-0.21 \pm 0.26$ ,  $-0.16 \pm 0.26D$  ( $P = 0.37$ ),见表2。两组术后残余SE在 $\pm 0.25D$ 范围内的占比为25%和16%,术后残余SE在 $\pm 0.5D$ 范围内的占比为88%和87%(图1B)。两组术后残余柱镜在0.5D以内的占比为97%和96%(图1C、D)。T-PRK组和SMILE组作尝试与实际SE线性回归分析得到:T-PRK组: $y = 1.115x + 0.169$ ,  $R^2 = 0.803$ ,  $P < 0.001$ ; SMILE组: $y = 0.875x - 0.532$ ,  $R^2 = 0.645$ ,  $P < 0.001$ (图1E、F)。

**2.2 手术前后高阶像差变化情况** 术前两组HOAs、Z40、 $Z(3,-3)$ 、 $Z(3,3)$ 、 $Z(3,-1)$ 和 $Z(3,1)$ 比较,差异均无统计学意义( $P = 0.18, 0.70, 0.43, 0.47, 0.17, 0.83$ )。术后3mo,两组HOAs和Z40均较术前显著增加( $P \leq 0.01$ ),两组间增加量无统计学意义( $P = 0.31, 0.89$ )。两组术后 $Z(3,1)$ 、 $Z(3,3)$ 、 $Z(3,-3)$ 与术前比较差异无统计学意义(均 $P > 0.05$ )。SMILE组术后 $Z(3,-1)$ 的增加量明显大于T-PRK组( $P < 0.001$ ),见表3、4、图2。

**2.3 手术前后OQAS指标变化情况** 术前两组OSI、 $MTF_{cut\ off}$ 、SR、VA100%、VA20%、VA9%差异无统计学意义( $P = 0.85, 0.43, 0.37, 0.54, 0.43, 0.52$ )。术后3mo, SMILE组SR和VA9%较术前明显降低( $P < 0.05$ ),其余均无统计学意义。术后3mo,两组间OSI、 $MTF_{cut\ off}$ 、SR、VA100%、VA20%、VA9%比较均未见统计学意义( $P = 0.42, 0.72, 0.62, 0.84, 0.99, 0.84$ ),两组间增加量差异均无统计学意义( $P > 0.05$ ),见表5、6。

表1 T-PRK组和SMILE组术前一般资料比较

指标	T-PRK组(32眼)		SMILE组(45眼)		t/Z	P
	$\bar{x} \pm s / M(P_{25}, P_{75})$	范围	$\bar{x} \pm s / M(P_{25}, P_{75})$	范围		
年龄(岁)	23.5(21,27)	18~37	25(21,30)	18~40	-1.11	0.27
球镜(D)	-1.95±0.71	-3.00~-0.75	-2.20±0.52	-3.00~-1.00	-1.73	0.09
柱镜(D)	-0.66±0.38	-1.5~0	0.69±0.39	-1.5~0	-0.37	0.72
SE(D)	-2.22±0.68	-3.50~-1.00	-2.48±0.55	-3.50~-1.50	1.85	0.07
CCT( $\mu m$ )	547.86±26.92	500~598	516.09±34.89	460~578	-3.71	<0.01
IOP(mmHg)	16.00±2.24	12~20	16.87±1.60	14~20	-1.87	0.67
UCVA(LogMAR)	1.0(0.7,1.0)	0.3~1.5	1.0(0.8,1.3)	0.5~1.5	-1.31	0.19
BCVA(LogMAR)	0(-0.1,0)	-0.1~0	0(-0.05,0)	-0.1~0	-1.50	0.13

注:CCT:中央角膜厚度;BCVA:最佳矫正视力;UCVA:裸眼视力。

表2 T-PRK组和SMILE组术后3mo临床结果

指标	T-PRK组(32眼)		SMILE组(45眼)		t/Z	P
	$\bar{x} \pm s / M(P_{25}, P_{75})$	范围	$\bar{x} \pm s / M(P_{25}, P_{75})$	范围		
残余球镜(D)	0.23±0.39	-0.25~1.00	0.29±0.38	-0.50~1.25	-0.82	0.41
残余柱镜(D)	-0.21±0.26	-0.75~0	-0.16±0.26	-1.00~0	-0.92	0.37
残余SE(D)	0.09±0.38	-0.50~0.75	0.22±0.36	-0.50~0.75	-1.59	0.12
UCVA(LogMAR)	-0.1(-0.1,0)	-0.2~0.1	-0.1(-0.1,0)	-0.2~0.1	-0.30	0.76
BCVA(LogMAR)	-0.1(-0.1,-0.1)	-0.2~0	-0.1(-0.1,0)	-0.2~0	-0.30	0.76
有效指数	1.10±0.20	0.80~1.50	1.15±0.18	0.80~1.50	-1.10	0.27
安全指数	1.13±0.16	1.0~1.50	1.16±0.17	1.0~1.50	-0.72	0.48

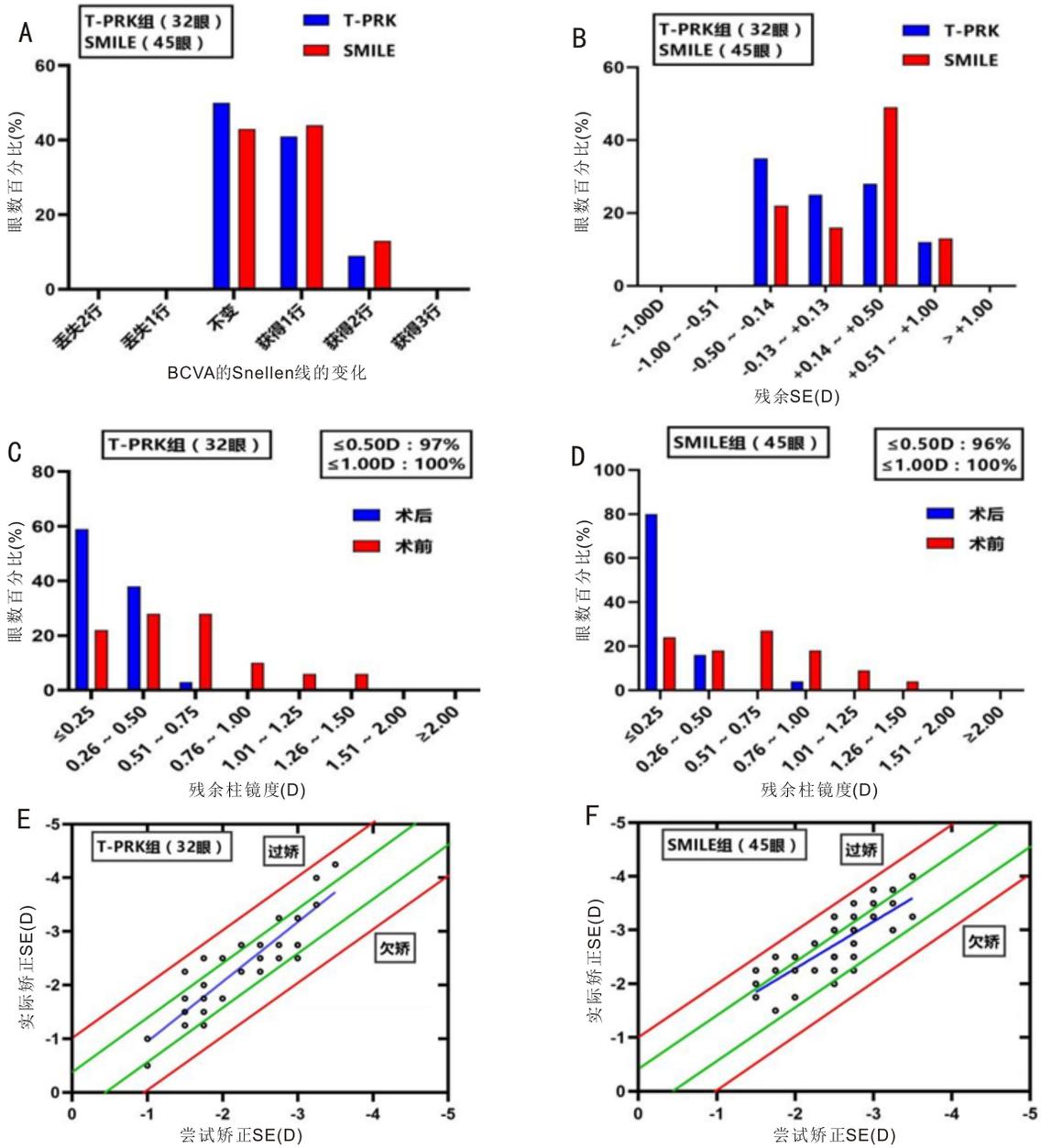


图1 两组术后3mo视觉效果比较 A:两组术后与术前BCVA的变化情况;B:两组术后残余SE的分布情况;C:T-PRK组术后残余柱镜度的分布情况;D:SMILE组术后残余柱镜度的分布情况;E:T-PRK组尝试与实际SE的散点图;F:SMILE组尝试与实际SE的散点图。

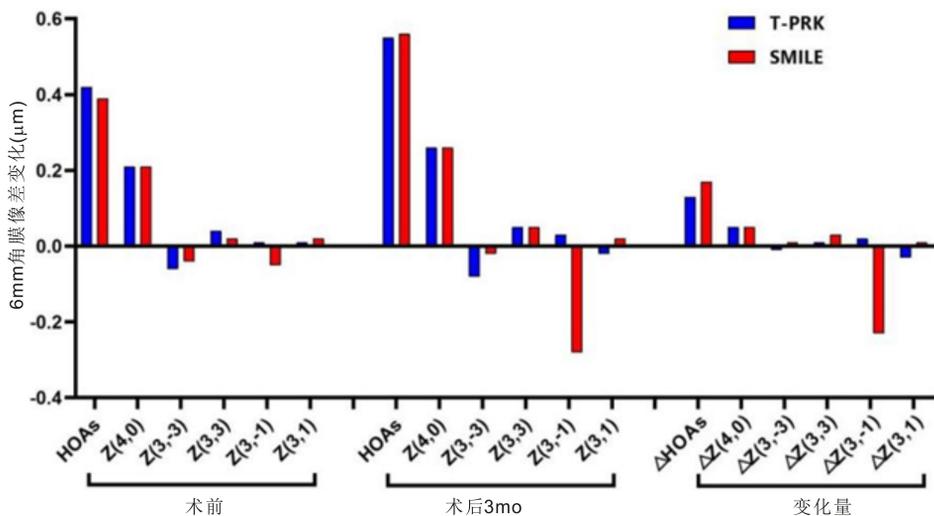


图2 两组患者手术前后各高阶像差变化 HOAs:高阶像差;Z40:球差;Z(3,-3):垂直三叶草;Z(3,3):水平三叶草;Z(3,-1):垂直彗差;Z(3,1):水平彗差。

表3 两组患者手术前后各高阶像差变化

		( $\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$ )					
组别	时间	HOAs	Z40	Z(3,-3)	Z(3,3)	Z(3,-1)	Z(3,1)
T-PRK 组	术前	0.42±0.08	0.21±0.08	-0.06±0.18	0.04±0.14	0.01±0.23	0.01±0.14
	术后 3mo	0.55±0.14	0.26±0.10	-0.08±0.18	0.05±0.14	0.03±0.27	-0.02±0.15
	<i>P</i>	<0.001	0.01	0.78	0.64	0.50	0.18
SMILE 组	术前	0.39±0.08	0.21±0.08	-0.04±0.14	0.02±0.11	-0.05±0.18	0.02±0.14
	术后 3mo	0.56±0.14	0.26±0.11	-0.02±0.13	0.05±0.10	-0.28±0.22	0.02±0.18
	<i>P</i>	<0.001	<0.01	0.50	0.09	<0.001	0.76

表4 手术前后各高阶像差的变化量

		( $\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$ )					
组别	$\Delta$ HOAs	$\Delta$ Z40	$\Delta$ Z(3,-3)	$\Delta$ Z(3,3)	$\Delta$ Z(3,-1)	$\Delta$ Z(3,1)	
T-PRK 组	0.13±0.15	0.05±0.11	-0.01±0.24	0.01±0.17	0.02±0.15	-0.03±0.12	
SMILE 组	0.17±0.14	0.05±0.12	0.01±0.12	0.03±0.11	-0.23±0.19	0.01±0.10	
<i>t</i>	-1.03	-0.14	-0.53	-0.46	6.13	-1.31	
<i>P</i>	0.31	0.89	0.60	0.65	<0.001	0.19	

表5 两组手术前后 OQAS 指标的变化

		$\bar{x} \pm s$					
组别	时间	OSI	MTF <sub>cut off</sub> (c/deg)	SR	VA100%	VA20%	VA9%
T-PRK 组	术前	0.56±0.33	41.56±8.92	0.24±0.06	1.40±0.30	1.04±0.30	0.66±0.20
	术后 3mo	0.54±0.30	39.76±8.85	0.23±0.06	1.33±0.29	0.99±0.25	0.61±0.17
	<i>P</i>	0.76	0.46	0.48	0.41	0.52	0.35
SMILE 组	术前	0.58±0.54	43.19±8.96	0.26±0.07	1.44±0.30	1.10±0.28	0.69±0.21
	术后 3mo	0.60±0.27	40.48±8.19	0.23±0.05	1.34±0.28	0.99±0.24	0.60±0.16
	<i>P</i>	0.83	0.17	0.01	0.15	0.10	0.04

表6 手术前后 OQAS 指标的变化量

		$\bar{x} \pm s$					
组别	$\Delta$ OSI	$\Delta$ MTF <sub>cut off</sub> (c/deg)	$\Delta$ SR	$\Delta$ VA100%	$\Delta$ VA20%	$\Delta$ VA9%	
T-PRK 组	-0.02±0.28	-1.79±13.45	-0.01±0.08	-0.07±0.44	-0.05±0.40	-0.04±0.26	
SMILE 组	0.02±0.55	-2.70±13.08	-0.03±0.08	-0.10±0.44	-0.10±0.40	-0.08±0.26	
<i>t</i>	-0.32	0.30	1.10	0.29	0.58	0.64	
<i>P</i>	0.75	0.77	0.27	0.77	0.57	0.53	

### 3 讨论

本研究首次评价了 T-PRK 和 SMILE 矫正低度近视的手术效果, 研究结果显示 T-PRK 和 SMILE 矫正低度近视都是安全、有效的手术方式。T-PRK 组和 SMILE 组的安全指数分别为 1.13±0.16 和 1.16±0.17, 有效指数分别为 1.10±0.20 和 1.15±0.18, 这与既往的研究结果一致<sup>[3-6]</sup>。有学者对 SMILE 矫正低度近视术后 3mo 的研究中得出, 97% 患者视力达到 20/20 以上, 100% 患者视力在 20/25 及以上, 40% 患者 BCVA 提高 1 行及以上, 没有 1 眼 BCVA 丢失 1 行, 97% 患者残余 SE 在 ±0.05D 以内, 安全指数和有效指数分别为 1.03 和 1.21, 认为 SMILE 手术是矫正低度近视的有效术式<sup>[5]</sup>。也有学者研究认为, 与术中应用 17% 的酒精浸泡 15s 并保留角膜上皮瓣的 LASEK 相比, T-PRK 矫正中低度近视 (SE=3.06±1.5D) 术后疼痛轻, 上皮愈合时间更快, 视力恢复快, 术后 2mo, T-PRK 组的安全指数和有效指数均优于 LASEK 组<sup>[7]</sup>。以往有报道智能脉冲技术辅助的经上皮准分子激光角膜切削术

( smart pulse technology - assisted transepithelial photorefractive keratectomy, SMART) 矫正低度近视, 术后 6mo 随访, 100% 患者视力达到 20/20 或更好, 88% 患者视力达到 20/16 或更好, 60% 患者视力达到 20/13 或更好。37.33% 患者 BCVA 提高 1 行, 16% 患者 BCVA 提高 2 行, 无 1 例下降超过 1 行, 92% 患者 SE 在 ±0.50D 内, 这一结果明显优于本研究, 可能与其采用超高的切削频率 (1050Hz) 和智能脉冲技术有关<sup>[8]</sup>。也有一些学者对 T-PRK 和 SMILE 术的比较各有特点<sup>[9-11]</sup>。显然, T-PRK 和 SMILE 在矫正低度近视中都极具价值, 手术效果和适应证的探讨还需要更多的评估指标。本研究发现, T-PRK 组的安全指数和有效指数与 SMILE 组比较无统计学意义, 表明了 T-PRK 和 SMILE 在矫正低度近视中都具有良好的安全性和有效性, 在适应证方面怎么选择呢? SMILE 手术因保留了角膜上皮及前弹力层的完整性, 术后恢复快, 舒适度好。但由于 SMILE 手术要在角膜基质扫描 2 次, 并且需要增加 10~30 $\mu\text{m}$  的基底厚度, 相比准分子激光

手术会消耗更多的角膜组织。飞秒激光扫描过程中,缺乏中心定位及跟踪系统,需要患者更好的配合。此外,低度近视 SMILE 手术中受到屈光度调整方案(nomogram)的调整、激光能量及飞秒激光的扫描质量等多方面影响,在手术设计的时候要更加慎重<sup>[5]</sup>。T-PRK 也是无瓣的手术,与 LASIK 相比,避免了角膜瓣相关的并发症;与 SMILE 相比,消耗更小的角膜组织,是薄角膜,从事对抗性运动等特殊人群的最佳选择。此外,T-PRK 术后用药时间长,如果不方便随访的患者,可以选择 SMILE 手术。

研究表明,角膜屈光术后,低阶像差减少,高阶像差增加<sup>[12]</sup>,并且以球差和彗差为主的波前像差与视觉质量密切相关。因此,本研究选择角膜 HOAs、彗差、球差和三叶草作为观察指标。Yildirim 等<sup>[13]</sup>报道,T-PRK 矫正中低度近视术后 1a 角膜 HOAs 和球差增加。也有学者观察了 SMILE 矫正低度近视术后角膜 HOAs 的变化,发现 SMILE 术后 2a 角膜 HOAs 和垂直彗差增加<sup>[14]</sup>。另外研究表明,SMILE 比 T-PRK 诱导更多的 HOAs,主要是彗差<sup>[10]</sup>。本研究发现术后 3mo,两组 HOAs 和球差均显著升高,但两组间增加量无统计学意义。由于 SMILE 术中需取出透镜及激光能量的损伤,改变了角膜非球面性,不可避免会影响 HOAs 和球差。而 T-PRK 术后 HOAs 和球差增加主要与角膜上皮愈合过程中分布不对称有关。SMILE 组的垂直彗差明显大于 T-PRK 组,两组间水平彗差、水平三叶草和垂直三叶草未见显著性差异,这与既往的研究结果一致<sup>[15]</sup>。分析可能与以下因素有关:(1)SMILE 切口的位置设置在 120°方向,术后切口的炎症反应及愈合过程形成的轻微瘢痕不可避免地增加了角膜上下方向的不对称性;(2)SMILE 手术缺乏虹膜识别、眼球跟踪系统等技术,中心定位的准确性依靠主刀医生的经验和患者的配合度,这可能导致偏中心切削更容易发生<sup>[16]</sup>;(3)负压环接触眼球,生理性闭眼导致的眼球上转可能增加垂直方向的偏心,引起垂直彗差的变大。

研究表明,除了波前像差之外,散射和衍射也是影响视觉质量的重要因素<sup>[17]</sup>。OQAS II 视觉质量分析仪能够综合高阶像差、散射和衍射等信息,更全面分析人眼视觉质量。研究证实它具有良好的可重复性和准确性<sup>[18]</sup>,已被广泛用于评估眼内视网膜成像质量<sup>[19-20]</sup>。有学者发现,PRK 和 LASIK 术后 3mo MTF<sub>cut off</sub> 和 SR 均低于术前,OSI 高于术前,表明两种手术方式均会导致早期视觉质量下降<sup>[21]</sup>。也有学者发现,SMILE 术后 20d 可导致 OSI 增加,术后 3mo 恢复至术前水平,并且 MTF<sub>cut off</sub> 和 SR 与术前值相比没有显著变化<sup>[22]</sup>。近期,有学者发现 FS-LASIK 术后 6mo 的 OSI 和 MTF<sub>cut off</sub> 均高于 SMART 术后,两组间 SR 无统计学意义,表明 SMART 术后远期客观视觉质量略好于 FS-LASIK 术后<sup>[23]</sup>。本研究结果显示两组间各指标无明显差异性,T-PRK 和 SMILE 术后的视网膜图像质量和眼内散射情况是相当的。Zhu 等<sup>[24]</sup>一项类似的研究表明,SMILE 与 LASEK 术后 OSI、MTF<sub>cut off</sub> 也没有显示出差异性。研究表明,瞳孔大小<sup>[25]</sup>、年龄<sup>[26]</sup>、屈光度<sup>[17]</sup>对视网膜成像质量和散射存在影响,在本试验中均得到控制。此

外, Lee 等<sup>[27]</sup>认为 OSI、MTF<sub>cut off</sub> 与眼球像差没有显著相关性,这消除了垂直彗差引入差异的影响。

本研究的局限性包括仅纳入球镜 ≤ -3.00D,柱镜度数 ≤ 1.50D 的患者,结果尚不能外推到其他屈光度范围。样本量小、随访时间短,下一步需要增加样本量和更长时间的随访观察。

总之,T-PRK 与 SMILE 矫正低度近视均有良好的安全性、有效性和可预测性。SMILE 手术与 T-PRK 手术比诱导的垂直彗差更多。

#### 参考文献

- 1 Xi L, Zhang C, He YL. Clinical outcomes of Transepithelial photorefractive keratectomy to treat low to moderate myopic astigmatism. *BMC Ophthalmol* 2018;18(1):115
- 2 Bokhary KA, Alshamrani ES, Fahmy R. Visual outcomes and quality of life before and after photorefractive keratectomy. *Indian J Ophthalmol* 2022;70(1):65-70
- 3 Khalifa MA, Ghoneim A, Shafik Shaheen M, et al. Comparative analysis of the clinical outcomes of SMILE and wavefront-guided LASIK in low and moderate myopia. *J Refract Surg* 2017;33(5):298-304
- 4 Li KJ, Wang Z, Wang MX. Implantable collamer lens implantation (ICL) versus small incision lenticule extraction (SMILE) in low to moderate myopia: study protocol for a randomized, non-inferiority trial. *Trials* 2022;23(1):910
- 5 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. *Int Ophthalmol* 2018;38(3):1147-1154
- 6 Alasmari M, Alfawaz AM. Transepithelial photorefractive keratectomy to treat mild myopia. *Int Ophthalmol* 2021;41(7):2575-2583
- 7 Naderi M, Jadidi K, Mosavi SA, et al. Transepithelial photorefractive keratectomy for low to moderate myopia in comparison with conventional photorefractive keratectomy. *J Ophthalmic Vis Res* 2016;11(4):358-362
- 8 杜玉芹,周春阳,文龙,等.智能脉冲技术辅助的经上皮准分子激光角膜切削术(Trans-PRK)矫正中低度近视. *眼科新进展* 2019;39(10):973-975, 979
- 9 Jun I, Kang DSY, Reinstein DZ, et al. Clinical outcomes of SMILE with a triple centration technique and corneal wavefront-guided transepithelial PRK in high astigmatism. *J Refract Surg* 2018;34(3):156-163
- 10 Zheng ZY, Zhang MZ, Jhanji V, et al. Comparison between aberration-free transepithelial photorefractive keratectomy and small incision lenticule extraction for correction of myopia and myopic astigmatism. *Int Ophthalmol* 2021;41(1):303-314
- 11 Wang LX, Li Y. Regeneration of corneal nerve after SMILE, FS-LASIK and T-PRK surgery and study its relationship with subjective visual quality. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi* 2018;54(10):737-743
- 12 Liu TX, Chen YT, Dan TT, et al. Four-year follow-up of corneal aberrations and visual functions of myopic patients after laser in situ keratomileusis. *Pak J Med Sci* 2015;31(6):1453-1456
- 13 Yildirim Y, Olcucu O, Alagoz N, et al. Comparison of visual and refractive results after transepithelial and mechanical photorefractive keratectomy in myopia. *Int Ophthalmol* 2018;38(2):627-633
- 14 Fu MJ, Li MY, Xian YY, et al. Two-year visual outcomes of evolution implantable collamer lens and small incision lenticule extraction for the correction of low myopia. *Front Med (Lausanne)* 2022;9:780000
- 15 Lin M, Zhou HT, Hu ZL, et al. Comparison of small incision

- lenticule extraction and transepithelial photorefractive keratectomy in terms of visual quality in myopia patients. *Acta Ophthalmol* 2021;99(8):e1289-e1296
- 16 Rios LC, Silva PGD, Canamary Junior AM, *et al.* Centration in refractive surgery. *Arq Bras Oftalmol* 2020;83(1):76-81
- 17 Miao HM, Tian M, He L, *et al.* Objective optical quality and intraocular scattering in myopic adults. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014;55(9):5582-5587
- 18 Xu CC, Xue T, Wang QM, *et al.* Repeatability and reproducibility of a double-pass optical quality analysis device. *PLoS One* 2015;10(2):e0117587
- 19 Vieira R, Marta A, Abreu AC, *et al.* Quality of vision after LASIK, PRK and FemtoLASIK: an analysis using the double pass imaging system HD Analyzer™. *Clin Ophthalmol* 2022;16:3351-3359
- 20 Varenne F, Malecaze F, Mahieu L, *et al.* Evaluation of the effects of vitrectomy with primary epiretinal membrane peel on optical quality using double-pass aberrometry. *Ophthalmic Res* 2022;65(5):546-555
- 21 Ondategui JC, Vilaseca M, Arjona M, *et al.* Optical quality after myopic photorefractive keratectomy and laser *in situ* keratomileusis: comparison using a double-pass system. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(1):16-27
- 22 Miao HM, He L, Shen Y, *et al.* Optical quality and intraocular scattering after femtosecond laser small incision lenticule extraction. *J Refract Surg* 2014;30(5):296-302
- 23 Wu Y, Huang Y, Wang SH, *et al.* Comparative study of objective visual quality between FS-LASIK and SMART in myopia. *Int J Ophthalmol* 2022;15(3):502-509
- 24 Zhu XY, Zou LL, Yu MR, *et al.* Comparison of postoperative visual quality after SMILE and LASEK for high myopia: a 1-year outcome. *PLoS One* 2017;12(8):e0182251
- 25 Hu AL, Qiao LY, Zhang Y, *et al.* Reproducibility of optical quality parameters measured at objective and subjective best focuses in a double-pass system. *Int J Ophthalmol* 2015;8(5):1043-1050
- 26 Martínez-Roda JA, Vilaseca M, Ondategui JC, *et al.* Effects of aging on optical quality and visual function. *Clin Exp Optom* 2016;99(6):518-525
- 27 Lee K, Ahn JM, Kim EK, *et al.* Comparison of optical quality parameters and ocular aberrations after wavefront-guided laser *in situ* keratomileusis versus wavefront-guided laser epithelial keratomileusis for myopia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013;251(9):2163-2169