

# FS-LASIK 与 SMILE 手术前后视网膜周边屈光状态及像差的变化

杜玉芹<sup>1,2,3</sup>, 周跃华<sup>1,2,3</sup>, 李羽<sup>1,2</sup>

引用:杜玉芹,周跃华,李羽. FS-LASIK 与 SMILE 手术前后视网膜周边屈光状态及像差的变化. 国际眼科杂志 2023; 23(12): 1961-1966

作者单位:<sup>1</sup>(610036)中国四川省成都市,成都中医药大学眼科学院;<sup>2</sup>(610036)中国四川省成都市,成都中医大银海眼科医院;<sup>3</sup>(100010)中国北京市,北京茗视光眼科

作者简介:杜玉芹,在读博士研究生,主治医师,研究方向:视光学、屈光手术。

通讯作者:周跃华,毕业于哈尔滨医科大学,博士,主任医师,博士研究生导师,教授,研究方向:视光学、屈光手术. YH06236677@163.com

收稿日期:2023-08-08 修回日期:2023-11-02

## 摘要

**目的:**观察比较飞秒激光制瓣准分子激光原位角膜磨镶术(FS-LASIK)与飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)矫正近视术后视网膜周边屈光和像差的变化。

**方法:**选取2022-10/2023-04来院行FS-LASIK的近视患者71例71眼作为FS-LASIK组,行SMILE的近视患者80例80眼作为SMILE组。所有患者于术前,术后3mo均行角膜像差检查和多光谱地形图检查,检查黄斑周围0°~10°、10°~20°、20°~30°、30°~40°、40°~53°环形视网膜相对离焦值(RDV),并记录为RDV-(0°~10°)、RDV-(10°~20°)、RDV-(20°~30°)、RDV-(30°~40°)、RDV-(40°~53°)。对两组患者检查结果进行比较。

**结果:**术后3mo,两组患者RDV-(0°~10°)、RDV-(10°~20°)、RDV-(20°~30°)、RDV-(30°~40°)、RDV-(40°~53°)比较均无差异(均 $P>0.05$ )。两组术后3mo的RDV-(20°~30°)、RDV-(30°~40°)、RDV-(40°~53°)均显著低于术前(均 $P<0.05$ )。SMILE组患者术后3mo时的彗差(水平)及球差(SA)分别为0.106(0.056, 0.171)、0.115(0.081, 0.182)  $\mu\text{m}$ ,均显著低于FS-LASIK组[0.206(0.104, 0.355)、0.197(0.128, 0.254)  $\mu\text{m}$ ]( $Z=-4.170$ 、 $-5.016$ ,均 $P<0.05$ )。术后SA与术后RDV-(10°~53°)呈负相关( $r_s=-0.205$ 、 $-0.181$ 、 $-0.226$ 、 $-0.244$ ,均 $P<0.05$ )。

**结论:**FS-LASIK与SMILE均能减少黄斑周围20°~53°离心率范围的视网膜远视离焦,且SMILE术后彗差(水平)和SA的改变比FS-LASIK小。术后SA与术后的周边视网膜离焦存在一定的相关性。

**关键词:**周边屈光;飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE);飞秒激光制瓣准分子激光原位角膜磨镶术(FS-LASIK);像差;近视

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.12.05

## Changes in retinal peripheral refractive status and aberrations before and after femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis and small incision lenticule extraction

Yu-Qin Du<sup>1,2,3</sup>, Yue-Hua Zhou<sup>1,2,3</sup>, Yu Li<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Eye School of Chengdu University of TCM, Chengdu 610036, Sichuan Province, China; <sup>2</sup>In eye Hospital of Chengdu University of TCM, Chengdu 610036, Sichuan Province, China; <sup>3</sup>Beijing Ming Vision and Ophthalmology, Beijing 100010, China

**Correspondence to:** Yue-Hua Zhou. Eye School of Chengdu University of TCM, Chengdu 610036, Sichuan Province, China; In eye Hospital of Chengdu University of TCM, Chengdu 610036, Sichuan Province, China; Beijing Ming Vision and Ophthalmology, Beijing 100010, China. YH06236677@163.com

Received:2023-08-08 Accepted:2023-11-02

## Abstract

• **AIM:** To observe and compare the changes in retinal peripheral refraction and aberrations after femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis (FS-LASIK) versus small incision lenticule extraction (SMILE) for myopia correction.

• **METHODS:** A total of 71 patients (71 eyes) with myopia who underwent FS-LASIK from October 2022 to April 2023 in our hospital were selected as the FS-LASIK group, and 80 patients (80 eyes) with myopia who underwent SMILE were selected as the SMILE group. All patients underwent corneal wavefront aberration measurement and multispectral refractive topography preoperatively and 3mo postoperatively, as well as refraction difference value (RDV) in the range of 0°~10°, 10°~20°, 20°~30°, 30°~40°, and 40°~53° in the annulus of the retina, which were recorded as RDV-(0°~10°), RDV-(10°~20°), RDV-(20°~30°), RDV-(30°~40°), and RDV-(40°~53°). The results of two groups of patients were compared.

• **RESULTS:** No significant differences were observed in RDV-(0°~10°), RDV-(10°~20°), RDV-(20°~30°), RDV-(30°~40°), RDV-(40°~53°) between the two groups at 3mo post-operation (all  $P>0.05$ ). Furthermore, the RDV-(20°~30°), RDV-(30°~40°) and RDV-(40°~53°) of the two groups at 3mo postoperatively were all significantly lower than those preoperatively (all  $P<0.05$ ). The changes in coma (horizontal) and spherical aberration (SA) at 3mo postoperatively were smaller in the SMILE group

[0.106 (0.056, 0.171) and 0.115 (0.081, 0.182)  $\mu\text{m}$ ] than in the FS-LASIK group [0.206 (0.104, 0.355) and 0.197 (0.128, 0.254)  $\mu\text{m}$ ] ( $Z = -4.170, -5.016$ , all  $P < 0.05$ ). A negative correlation was found between postoperative SA and postoperative RDV ( $-10^\circ \sim 53^\circ$ ) ( $r_s = -0.205, -0.181, -0.226, -0.244$ , all  $P < 0.05$ ).

• **CONCLUSION:** Both FS-LASIK and SMILE reduced retinal hyperopic defocus in the peripapillary macular range of  $20^\circ \sim 53^\circ$  eccentricity, and the postoperative changes in coma (horizontal) and SA were smaller with SMILE than with FS-LASIK. There was a certain correlation between postoperative SA and postoperative retinal peripheral defocus.

• **KEYWORDS:** peripheral refraction; small incision lenticule extraction (SMILE); femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis (FS-LASIK); aberration; myopia

**Citation:** Du YQ, Zhou YH, Li Y. Changes in retinal peripheral refractive status and aberrations before and after femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis and small incision lenticule extraction. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023; 23(12): 1961-1966

## 0 引言

近年来,周边视网膜屈光状态已成为近视防控的热门研究课题,动物实验和临床研究均表明,视网膜的外周屈光状态可能与近视的发展密切相关<sup>[1-2]</sup>。周边视网膜的远视离焦会刺激眼轴增长,而近视离焦会抑制眼轴增长<sup>[3-5]</sup>。光学离焦对眼轴的控制效果取决于周边视网膜的离焦程度<sup>[6-7]</sup>。因此,视网膜周边离焦,特别是相对远视性离焦,对眼轴的增长和屈光不正的进展有重要影响。多光谱屈光地形图仪(multispectral refractive topography, MRT)可以收集眼底图像,通过特定的计算机算法与不同波长的单光谱光进行比较和分析,计算每个像素点的实际折射值,能广域快速检测视网膜离焦状态,量化 $53^\circ$ 以内视网膜的离焦值,具有较好的重复性和准确性<sup>[8-9]</sup>。随着屈光手术的迅速发展,越来越多的近视患者选择手术矫正屈光不正。在角膜屈光手术领域,飞秒激光制瓣的准分子激光原位角膜磨镶术(femtosecond laser-assisted laser *in situ* keratomileusis, FS-LASIK)具有良好的安全性和有效性,是目前矫正近视及散光较为常用的手术方式<sup>[10]</sup>。飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)是一种较新的屈光矫正手术方式,其因切口小,无需制作角膜瓣,可保持角膜上皮层和前弹力层之间的连接,角膜生物力学更稳定的特点,在临床取得了较好的效果<sup>[11-12]</sup>。Liu等<sup>[13]</sup>的研究在矫正近视和散光方面,FS-LASIK和SMILE具有相似的安全性和有效性。但目前对FS-LASIK和SMILE术引起视网膜不同部位离焦值变化的研究鲜见报道。在本研究中,我们比较了两组手术方式术后不同离心率范围的视网膜离焦量、像差的差异,以期对近视的个性化矫正和防控提供一定的参考和理论依据。

## 1 对象和方法

1.1 对象 连续收集 2022-10/2023-04 在成都中医大银

海眼科医院接受 FS-LASIK 和 SMILE 手术矫正近视的成年人。入选标准:(1)年龄 18~48 岁;(2)每年屈光度增长不超过 0.50D,稳定 $\geq 2\text{a}$ ;(3)最佳矫正远视力(LogMAR) $\leq 0.10$ ;(4)符合角膜屈光手术条件;(5)无相关手术禁忌证;(6)依从性好,患者术后能按时到院行常规检查;(7)患者及家属均对治疗方案知情同意并自愿签署知情同意书。排除标准:(1)已确诊的圆锥角膜或疑似圆锥角膜患者;(2)未控制的全身结缔组织疾病及自身免疫性疾病患者;(3)眼底疾病和超高度近视患者;(4)术后 3mo 内随访资料有缺如的患者。根据手术方式的不同分为 FS-LASIK 组(接受 FS-LASIK 手术的患者)和 SMILE 组(接受 SMILE 手术的患者)。本研究符合《赫尔辛基宣言》的原则,并获得成都中医大银海眼科医院机构评审委员会伦理审批(审批号:2022yh-022)。

## 1.2 方法

1.2.1 术前常规检查 包括裸眼视力、最佳矫正远视力、屈光度数、裂隙灯显微镜、眼压、泪液功能、眼底视网膜等检查。使用 IOL Master 光学生物测量仪(LS900)测量眼轴长度(axial length, AL)和角膜中央厚度(central corneal thickness, CCT);使用角膜地形图仪(TMS-4)检查双眼地形图,记录角膜陡峭曲率(steep keratometry, Ks)、平坦曲率(flattened keratometry, Kf)、平均曲率(average keratometry, avg-K);采用多光谱屈光地形图仪(MRT, MSIC2000)测量视网膜相对离焦值(refraction difference value, RDV)(图 1),包括黄斑周围  $0^\circ \sim 10^\circ$ 、 $10^\circ \sim 20^\circ$ 、 $20^\circ \sim 30^\circ$ 、 $30^\circ \sim 40^\circ$ 、 $40^\circ \sim 53^\circ$  离心率范围离焦值,并记录为 RDV-( $0^\circ \sim 10^\circ$ )、RDV-( $10^\circ \sim 20^\circ$ )、RDV-( $20^\circ \sim 30^\circ$ )、RDV-( $30^\circ \sim 40^\circ$ )、RDV-( $40^\circ \sim 53^\circ$ )。应用 iTrace 像差仪(TX77060)进行波前像差测量,获取 5.0mm 瞳孔直径的全眼总高阶像差(higher-order aberrations, HOA)、角膜水平和垂直方向的三阶三叶草、角膜水平和垂直方向的三阶彗差、角膜四阶球差(spherical aberration, SA)的 Zernike 数值。使用复方托吡卡胺滴眼液进行睫状肌麻痹,随后采用电脑验光、检影验光和主观验光测量受试者的屈光力,并计算等效球镜度数(spherical equivalent, SE),SE = 球镜度数 + 1/2 柱镜度数。

1.2.2 手术方法 所有患者均由同一位对角膜屈光手术有丰富经验的医师完成手术。术前 3d 双眼点玻璃酸钠和左氧氟沙星滴眼液,均为 4 次/天。SMILE 手术使用 Visu Max 飞秒激光器制作角膜帽和基质透镜,帽直径为 7.3mm,帽厚度为 100~110 $\mu\text{m}$ ,透镜直径为 6.5mm,手术切口位于  $90^\circ$ ,长度 2mm。嘱患者注视固视灯,负压吸引压平固定眼球,激光扫描制作透镜,依次分离透镜前、后表面角膜组织并取出,用平衡盐溶液冲洗角膜基质床。FS-LASIK 手术采用 Visu Max 飞秒激光器制作角膜瓣,角膜瓣直径 7.9mm,角膜瓣厚度为 90~100 $\mu\text{m}$ ,角膜瓣蒂位置位于角膜 12:00 位。制作角膜瓣制作并掀起,采用 STAR S4 IR 准分子激光机设定切削区直径为 6.5mm,进行激光切削。切削完毕后,用平衡盐溶液冲洗碎屑,将角膜瓣复位。

1.2.3 术后随访 术后随访 3mo,随访内容包括裸眼视力、最佳矫正远视力、屈光度、眼压、视网膜离焦值、角膜地形图、角膜像差、眼前节和眼底。

统计学分析:采用 SPSS27.0 软件进行统计分析,数据经 K-S 正态性检验。对通过正态性检验的计量资料采用  $\bar{x}\pm s$  表达,组间比较采用独立样本 *t* 检验,组内比较采用配对样本 *t* 检验。对未通过正态性检验的计量资料以  $M(P_{25}, P_{75})$  表达,组间比较采用 Mann-Whitney *U* 检验,组内比较采用 Wilcoxon 符号秩检验。相关性分析采用 Spearman 相关分析。组间性别比较采用  $\chi^2$  检验。 $P<0.05$  表示差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 基线情况** 本研究共纳入近视患者 151 例 151 眼(仅纳入右眼),其中男 69 例,女 82 例;年龄 18~42 岁。FS-LASIK 组有 71 例 71 眼,SMILE 组有 80 例 80 眼。两组患者性别、年龄、SE、CCT、Avg-K、AL 比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ ,表 1)。

**2.2 两组患者手术前后视网膜周边离焦量变化** 术前所

有的近视患者 RDV 在离心率  $20^\circ\sim 53^\circ$  范围内的平均值均显示为远视离焦。两组术前和术后 3mo 的 RDV- $(0^\circ\sim 10^\circ)$ 、RDV- $(10^\circ\sim 20^\circ)$ 、RDV- $(20^\circ\sim 30^\circ)$ 、RDV- $(30^\circ\sim 40^\circ)$ 、RDV- $(40^\circ\sim 53^\circ)$  比较,差异均无统计学意义( $P>0.05$ )。术后 3mo,两组 RDV- $(20^\circ\sim 30^\circ)$ 、RDV- $(30^\circ\sim 40^\circ)$ 、RDV- $(40^\circ\sim 53^\circ)$  均显著低于术前,差异有统计学意义(均  $P<0.05$ ),见表 2。

**2.3 两组患者手术前后像差变化** 术后 3mo,FS-LASIK 组的彗差、三叶草、SA 和 HOA 均显著高于术前(均  $P<0.05$ )。术后 3mo,SMILE 组的彗差、三叶草、HOA 明显高于术前(均  $P<0.05$ ),SA 在手术前后差异不明显( $Z=-1.823, P=0.068$ )。两组术前的彗差、三叶草、SA 和 HOA 均无明显差异(均  $P>0.05$ )。术后 3mo,FS-LASIK 组的彗差(水平)和 SA 明显高于 SMILE 组,差异有统计学意义( $Z=-4.170, -5.016$ ,均  $P<0.001$ ),见表 3。

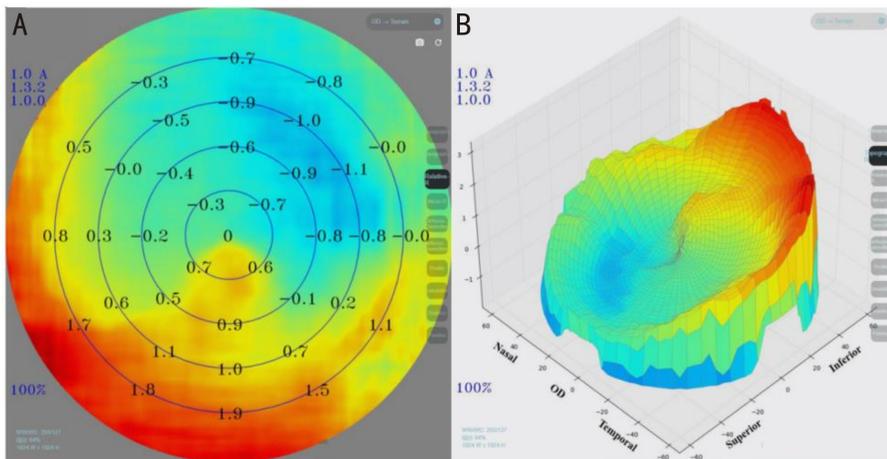


图 1 RDV 的点位图及三维立体地形图 A:点位图,中心圆形为 RDV- $(0^\circ\sim 10^\circ)$  区域,第一个环形区域为 RDV- $(10^\circ\sim 20^\circ)$  区域,第二个环形区域为 RDV- $(20^\circ\sim 30^\circ)$  区域,第三个环形区域为 RDV- $(30^\circ\sim 40^\circ)$  区域,第 4 个环形区域为 RDV- $(40^\circ\sim 53^\circ)$  区域;B:三维立体地形图。

表 1 FS-LASIK 组和 SMILE 组的基线比较

组别	眼数	性别(男/女,例)	年龄( $\bar{x}\pm s$ ,岁)	SE( $\bar{x}\pm s$ ,D)	CCT( $\bar{x}\pm s$ , $\mu\text{m}$ )	Avg-K( $\bar{x}\pm s$ ,D)	AL( $\bar{x}\pm s$ ,mm)
FS-LASIK 组	71	33/38	28.76 $\pm$ 5.54	-5.22 $\pm$ 1.60	532.35 $\pm$ 26.06	43.76 $\pm$ 1.54	25.59 $\pm$ 1.08
SMILE 组	80	36/44	28.76 $\pm$ 7.23	-5.29 $\pm$ 1.27	536.35 $\pm$ 23.23	43.75 $\pm$ 1.45	25.78 $\pm$ 0.87
$\chi^2/t$		0.033	-0.002	0.284	-0.997	0.025	-1.204
<i>P</i>		0.856	0.999	0.777	0.321	0.980	0.230

表 2 两组手术前后 RDV 差异比较

组别	RDV- $(0^\circ\sim 10^\circ)$				RDV- $(10^\circ\sim 20^\circ)$				RDV- $(20^\circ\sim 30^\circ)$			
	术前	术后 3mo	<i>t</i>	<i>P</i>	术前	术后 3mo	<i>t</i>	<i>P</i>	术前	术后 3mo	<i>t</i>	<i>P</i>
FS-LASIK 组	0.00 $\pm$ 0.04	0.015 $\pm$ 0.052	-1.728	0.088	-0.012 $\pm$ 0.094	-0.016 $\pm$ 0.146	0.189	0.851	0.203 $\pm$ 0.225	0.084 $\pm$ 0.300	2.955	0.004
SMILE 组	-0.01 $\pm$ 0.04	0.001 $\pm$ 0.043	-1.842	0.069	-0.012 $\pm$ 0.121	-0.011 $\pm$ 0.121	-0.036	0.972	0.219 $\pm$ 0.284	0.039 $\pm$ 0.299	4.372	<0.001
<i>t</i>	1.392	1.813			-0.005	-0.202			-0.383	0.928		
<i>P</i>	0.166	0.072			0.996	0.840			0.702	0.355		
组别	RDV- $(30^\circ\sim 40^\circ)$				RDV- $(40^\circ\sim 53^\circ)$							
	术前	术后 3mo	<i>t</i>	<i>P</i>	术前	术后 3mo	<i>t</i>	<i>P</i>				
FS-LASIK 组	0.472 $\pm$ 0.418	0.294 $\pm$ 0.421	2.791	0.007	0.782 $\pm$ 0.667	0.498 $\pm$ 0.586	2.970	0.004				
SMILE 组	0.533 $\pm$ 0.483	0.302 $\pm$ 0.492	3.667	<0.001	0.942 $\pm$ 0.687	0.645 $\pm$ 0.699	3.539	<0.001				
<i>t</i>	-0.823	-0.111			-1.443	-1.392						
<i>P</i>	0.412	0.912			0.151	0.166						

2.4 术后 3mo 视网膜离焦值与像差相关性分析  
 Spearman 相关分析提示, 术后 3mo SA 与 RDV-(10°~20°)、RDV-(20°~30°)、RDV-(30°~40°)、RDV-(40°~

53°)呈负相关( $r_s = -0.205, P = 0.011$ ;  $r_s = -0.181, P = 0.026$ ;  $r_s = -0.226, P = 0.005$ ;  $r_s = -0.244, P = 0.003$ ), 其余像差与 RDV 均不相关(均  $P > 0.05$ ) (表 4, 图 2)。

表 3 两组术中和术后 3mo 像差比较

[ $M(P_{25}, P_{75}), \mu\text{m}$ ]

组别	三叶草(垂直)				彗差(垂直)			
	术前	术后 3mo	Z	P	术前	术后 3mo	Z	P
FS-LASIK 组	0.056(0.025,0.101)	0.093(0.039,0.148)	-3.552	<0.001	0.068(0.026,0.112)	0.135(0.071,0.340)	-4.773	<0.001
SMILE 组	0.053(0.024,0.086)	0.072(0.034,0.119)	-2.511	0.012	0.057(0.029,0.108)	0.195(0.100,0.305)	-6.598	<0.001
Z	-0.591	-1.588			-0.403	-0.889		
P	0.555	0.112			0.687	0.374		

组别	彗差(水平)				三叶草(水平)			
	术前	术后 3mo	Z	P	术前	术后 3mo	Z	P
FS-LASIK 组	0.050(0.028,0.086)	0.206(0.104,0.355)	-6.607	<0.001	0.043(0.022,0.088)	0.080(0.041,0.127)	-2.937	0.003
SMILE 组	0.053(0.023,0.086)	0.106(0.056,0.171)	-5.943	<0.001	0.045(0.022,0.083)	0.064(0.031,0.110)	-2.585	0.010
Z	-0.246	-4.170			-0.183	-1.325		
P	0.806	<0.001			0.855	0.185		

组别	SA				HOA			
	术前	术后 3mo	Z	P	术前	术后 3mo	Z	P
FS-LASIK 组	0.104(0.067,0.129)	0.197(0.128,0.254)	-6.186	<0.001	0.306(0.225,0.461)	0.402(0.311,0.530)	-3.435	<0.001
SMILE 组	0.113(0.081,0.132)	0.115(0.081,0.182)	-1.823	0.068	0.294(0.215,0.361)	0.380(0.281,0.471)	-3.384	<0.001
Z	-0.833	-5.016			-0.917	-1.417		
P	0.405	<0.001			0.359	0.157		

表 4 术后 3mo 像差和 RDV 相关性分析

$r_s$

指标	RDV-(0°~10°)	RDV-(10°~20°)	RDV-(20°~30°)	RDV-(30°~40°)	RDV-(40°~53°)
三叶草(垂直)	-0.010	-0.124	-0.029	0.061	0.072
彗差(垂直)	-0.061	-0.095	-0.023	-0.015	-0.011
彗差(水平)	0.070	0.028	0.103	0.066	0.020
三叶草(水平)	-0.011	-0.104	-0.024	-0.018	-0.056
SA	0.030	-0.205*	-0.181*	-0.226*	-0.244*
HOA	0.056	-0.035	0.017	-0.015	-0.012

注: \* :  $P < 0.05$ 。

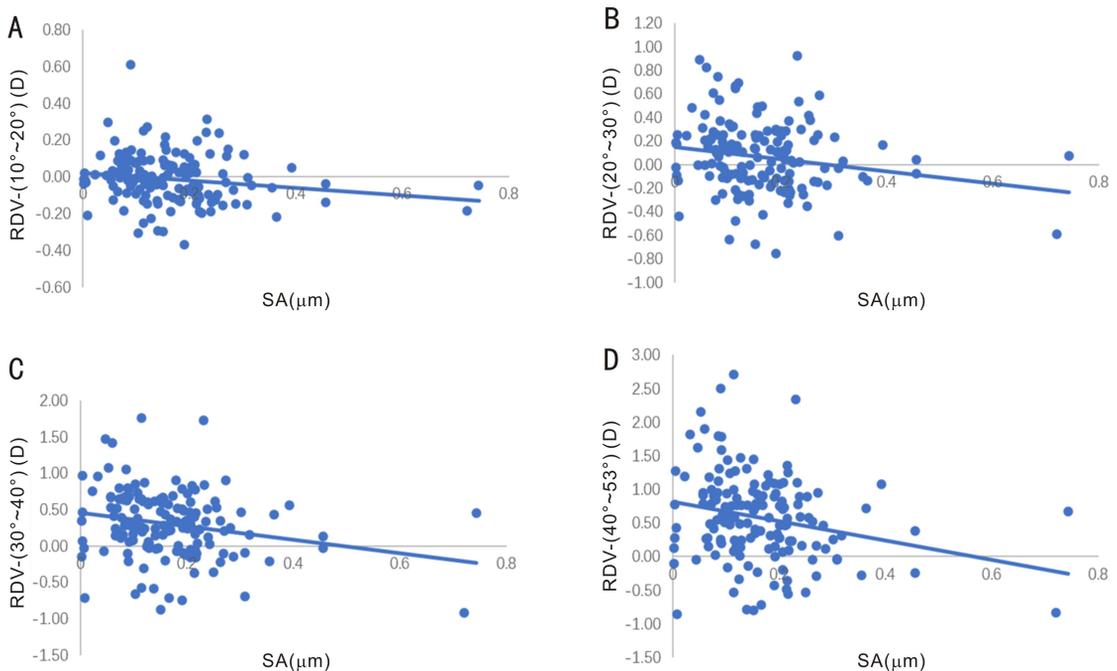


图 2 术后 3mo SA 与 RDV 的相关性分析 A: RDV-(10°~20°); B: RDV-(20°~30°); C: RDV-(30°~40°); D: RDV-(40°~53°)。

### 3 讨论

周边离焦是指周边视网膜的屈光不正状态,眼睛的光学结构和视网膜形状会影响周边视网膜屈光度<sup>[14]</sup>。临床研究表明,外周视网膜的屈光状态随着SE的变化而变化,近视的儿童和成人通常在外周视网膜表现出更多的远视离焦(周边视网膜的图像落在了视网膜的后方),外周视网膜的远视离焦程度随着轴性近视的增加而增加,AL与周边视网膜离焦呈正相关关系<sup>[15-17]</sup>。外周屈光不正与近视之间的关系仍存在争议。目前有两种主要观点:部分研究者认为外周远视离焦可能是眼睛生长的结果,而不是其前兆<sup>[18]</sup>,而另一部分研究者坚持认为外周远视离焦是轴性近视发展的重要诱因<sup>[1]</sup>。外周视网膜的离焦影响AL增长的机制有待进一步研究,它可能与离焦诱导的脉络膜厚度变化有关<sup>[19]</sup>。Smith等<sup>[2]</sup>还发现,当视网膜周围的离焦信号与中心相矛盾时,视网膜周围的离焦信号在眼睛生长发育过程中占据主导地位。Wallman等<sup>[20]</sup>指出,外周视网膜的屈光状态对眼睛生长和屈光发育的影响比黄斑中央凹的屈光状态更大,主要是因为外周视网膜中的视神经纤维比中央区域多。然而,现在许多相当有效的近视控制的干预措施是依赖于减少周边视网膜远视离焦,甚至逆转为近视的离焦,以延缓眼轴的增长,较为常见的方法是角膜塑形术、离焦软镜、离焦框架眼镜和多焦点软镜<sup>[21-23]</sup>。在角膜塑形术中,过夜配戴的逆几何硬性隐形眼镜,可以使角膜中心变平,周边变陡来降低角膜屈光力并矫正近视<sup>[24]</sup>。与角膜塑形术相似,角膜屈光手术也是通过改变角膜中心及周边区域的曲率来达到矫正近视的目的,了解角膜屈光手术对周边视网膜离焦的影响对临床有重要意义。

本研究比较了角膜屈光手术前后不同范围视网膜离焦值的变化,发现术前两组患者在 $20^{\circ}\sim 53^{\circ}$ 离心率范围均存在明显的视网膜远视离焦,两组术后3mo的RDV- $(20^{\circ}\sim 30^{\circ})$ 、RDV- $(30^{\circ}\sim 40^{\circ})$ 、RDV- $(40^{\circ}\sim 53^{\circ})$ 均显著低于术前,两组组间离焦值差异不大。反映两种术式均能显著减小 $20^{\circ}\sim 53^{\circ}$ 离心率范围内视网膜远视性离焦值;并对以黄斑为中心的 $0\sim 20^{\circ}$ 范围内的中央区域视网膜离焦值影响较小。与我们的研究相似,Lin等<sup>[25]</sup>通过对FS-LASIK术、Q值引导的Q-LASIK术、SMILE术和晶状体植入(implantable collamer lens, ICL)术的30例60眼成年患者,使用定制的Hartmann-Shack波前周边自动折射仪对水平在 $60^{\circ}$ 内(从颞侧 $30^{\circ}$ 到鼻侧 $30^{\circ}$ )和垂直在 $36^{\circ}$ 以内(从上方 $20^{\circ}$ 到下方 $16^{\circ}$ )范围视野的周边屈光和光学像差进行检测,发现所有组的视网膜周边都存在相对远视离焦,尤其是在 $20^{\circ}$ 视场离心率以外的区域;手术后,激光角膜屈光手术组周边视网膜的相对屈光度较术前显著降低,导致视网膜周边屈光度相对平坦。相反,ICL组在手术后周边视网膜的相对远视离焦无明显变化。外周区域角膜受到角膜厚度和曲率变化的影响,角膜屈光手术矫正近视降低了角膜中周部曲率和角膜伤口愈合过程可能会导致视网膜周边屈光度发生的变化。Kim等<sup>[26]</sup>报道,角膜屈光手术导致角膜中央、中周部和周边切削角膜变薄,周边角膜扁平化,且术后3mo,FS-LASIK组和SMILE组的中央角膜曲率、中周部角膜曲率、周边角膜曲率和周边角膜厚度差异不明显,这可能是两种术式均能显著减小 $20^{\circ}\sim 53^{\circ}$ 范围内视网膜远视性离焦,是术后两组组间视网膜离焦值差异不大的原因之一。Ye等<sup>[27]</sup>报道,SMILE术

后角膜中央区和旁中心区的上皮增生随矫正SE的增加而增加,而周边区的相关性则相反。近视矫正度数越高,曲率变化越明显,这将导致中央光学区的上皮增厚越突出。相反,在光学区的外缘,角膜直径为 $5.6\sim 8\text{mm}$ 的环形区域,上皮层会明显变薄,以恢复光滑的角膜表面<sup>[28]</sup>。因此,术后角膜中周部的重塑可能会影响角膜屈光手术的周边屈光结果。由于目前对角膜屈光手术引起周边视网膜屈光变化的研究较少,要验证这些发现,还需要进一步的临床研究。日常生活中,中心视力占主导地位,但是在某些特定的情况下,在驾驶或移动中检测运动和方位都需要良好的周边视力<sup>[29-31]</sup>。由于角膜屈光手术能减少周边视网膜远视性离焦值,外周视网膜的光学焦点从手术前的视网膜后方转移到视网膜上或更靠近视网膜,理论上能在一定程度上提高视网膜周边视力。因此,我们一方面可以通过外周离焦检查来评估患者的周边视力;另一方面这一研究结果也能为角膜屈光手术的个性化设计和近视的防控提供一定的参考和理论依据。

波前像差是客观评估角膜屈光术后视觉质量常用的指标之一。在本研究中,我们使用iTrace分析仪测量了术前和术后3mo的角膜高阶像差和全眼总像差。我们发现,FS-LASIK组术后3mo的像差(三叶草、彗差、SA和HOA)和SMILE组术后3mo的像差(三叶草、彗差和HOA)明显高于术前,这表明这两种术式均引入一些术源性高阶像差。这可能与手术引起的角膜形态变化有关。手术切口、术后角膜重塑和周边伤口愈合,以及眼球平面的不对称,如倾斜、偏斜和不规则,都可能影响SA的诱导<sup>[32-34]</sup>。术后,FS-LASIK组的彗差(水平)和SA均明显高于SMILE组,这表明FS-LASIK比SMILE术引入了更多的高阶像差。Kim等<sup>[26]</sup>的研究还发现FS-LASIK组术后的SA和总HOA的诱导比SMILE组更高。Yin等<sup>[35]</sup>对FS-LASIK组和SMILE组矫正高度近视术后1mo比较SA发现,FS-LASIK引入了更多的HOA和彗差。上述研究结果与本研究结果相似,FS-LASIK组中SA更大的原因可以用“余弦效应”来解释<sup>[36]</sup>。在“余弦效应”中一部分入射能量在从角膜中央区域向外周移动时,由于激光束入射角度的变化,使部分激光能量丢失,导致周边角膜处于欠矫状态,SA相应增加。SMILE术通过取出微透镜矫正近视,避免了周边角膜因激光消融能量丢失造成欠矫的情况。术后FS-LASIK组彗差的增加高于SMILE组,可能由于SMILE仅2mm小切口,无角膜瓣的掀开,保持角膜前表面结构的稳定,对彗差的影响相对更小。有研究发现,SMILE术后角膜上皮厚度增加小于FS-LASIK,且各区域角膜上皮厚度增加的均一性好于FS-LASIK,两组角膜像差增加量与平均角膜上皮厚度增加量呈正相关<sup>[37]</sup>,此外SMILE导致的中心、中周部和外周角膜变薄明显比FS-LASIK更多<sup>[25]</sup>。因此两种手术方式在术后不同的角膜重塑模式也可能是术后高阶像差差异的原因之一。

我们通过研究术后视网膜离焦值与术后像差的关系时发现,SA与RDV- $(10^{\circ}\sim 53^{\circ})$ 呈负相关关系,表明手术引起的 $10^{\circ}\sim 53^{\circ}$ 视网膜离焦值减少,相应的SA变化会增加。这可能是由于手术引起角膜形态的变化导致了这一现象,术后CCT变薄,中央区曲率平坦而周边的曲率相对陡峭,其矢状面呈垂直椭圆形(oblate shape)的非球面形态,在切削与非切削区交界处,光线可发生漫反射,均可能引起患者术后像差和视网膜周边离焦值的变化。由于术

后周边视网膜离焦值与术后 SA 有明显的相关性,因此可以在一定程度上反映 SMILE 术后患者的视觉质量。术后使用 MRT 进行 RDV 检查可能会成为评估屈光手术后视觉质量的一种有价值的补充测量方法。

综上所述,FS-LASIK 和 SMILE 术均能减少视网膜周边远视性离焦,但同时也引入了部分高阶像差,FS-LASIK 引入的彗差(水平)和 SA 较 SMILE 多,且术后 SA 与术后的周边视网膜离焦存在一定的相关性。但本次研究中因样本量少,观察时间短,研究结果有一定的局限性。因此还需延长随访时间、增加样本量进一步深入研究。

#### 参考文献

1 Chen X, Sankaridurg P, Donovan L, et al. Characteristics of peripheral refractive errors of myopic and non-myopic Chinese eyes. *Vision Res* 2010;50(1):31-35

2 Smith EL, Hung LF, Huang J. Relative peripheral hyperopic defocus alters central refractive development in infant monkeys. *Vis Res* 2009;49(19):2386-2392

3 Irving EL, Sivak JG, Callender MG. Refractive plasticity of the developing chick eye: a summary and update. *Ophthalmic Physiol Opt* 2015;35(6):600-606

4 Benavente-Pérez A, Nour A, Troilo D. Axial eye growth and refractive error development can be modified by exposing the peripheral retina to relative myopic or hyperopic defocus. *Investig Ophthalmol Vis Sci* 2014;55(10):6765-6773

5 Smith EL 3rd, Hung LF, Huang J, et al. Effects of local myopic defocus on refractive development in monkeys. *Optom Vis Sci* 2013;90(11):1176-1186

6 Koumbo mekountchou IO, Conrad F, Sankaridurg P, et al. Peripheral eye length measurement techniques: a review. *Clin Exp Optom* 2020;103(2):138-147

7 Atchison DA, Pritchard N, Schmid KL, et al. Shape of the retinal surface in emmetropia and myopia. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46(8):2698-2707

8 Liao YR, Yang ZL, Li ZJ, et al. A quantitative comparison of multispectral refraction topography and autorefractometer in young adults. *Front Med* 2021;8:715640

9 Lu W, Ji R, Ding W, et al. Agreement and repeatability of central and peripheral refraction by one novel multispectral-based refractor. *Front Med (Lausanne)* 2021;8:777685

10 Zhang YJ, Shen Q, Jia Y, et al. Clinical outcomes of SMILE and FS-LASIK used to treat myopia: a meta-analysis. *J Refract Surg* 2016;32(4):256-265

11 He SY, Luo YQ, Ye YM, et al. A comparative and prospective study of corneal biomechanics after SMILE and FS-LASIK performed on the contralateral eyes of high myopia patients. *Ann Transl Med* 2022;10(13):730

12 Klokova OA, Sakhnov SN, Geydenrikh MS, et al. Quality of life after refractive surgery: ReLEx SMILE vs Femto-LASIK. *Clin Ophthalmol* 2019;13:561-570

13 Liu ML, Chen YL, Wang DY, et al. Clinical outcomes after SMILE and femtosecond laser-assisted LASIK for myopia and myopic astigmatism. *Cornea* 2016;35(2):210-216

14 Verkicharla PK, Mathur A, Mallen EA, et al. Eye shape and retinal shape, and their relation to peripheral refraction. *Ophthalmic Physiol Opt* 2012;32(3):184-199

15 Zheng XY, Cheng DJ, Lu XL, et al. Relationship between peripheral refraction in different retinal regions and myopia development of young Chinese people. *Front Med* 2021;8:802706

16 Zhao Q, Du X, Yang Y, et al. Quantitative analysis of peripheral retinal defocus checked by multispectral refraction topography in myopia among youth. *Chin Med J (Engl)* 2023;136(4):476-478

17 Lu XL, Zheng XY, Lian LH, et al. Comparative study of relative peripheral refraction in children with different degrees of myopia. *Front Med* 2022;9:800653

18 Rosén R, Lundström L, Unsbo P, et al. Have we misinterpreted the study of Hoogerheide et al. (1971)? *Optom Vis Sci* 2012;89(8):1235-1237

19 Huang YY, Wang YL, Shen Y, et al. Defocus-induced spatial changes in choroidal thickness of chicks observed by wide-field swept-source OCT. *Exp Eye Res* 2023;233:109564

20 Wallman J, Winawer J. Homeostasis of eye growth and the question of myopia. *Neuron* 2004;43(4):447-468

21 Ni NJ, Ma FY, Wu XM, et al. Novel application of multispectral refraction topography in the observation of myopic control effect by orthokeratology lens in adolescents. *World J Clin Cases* 2021;9(30):8985-8998

22 Chen YY, Ding CL, Li X, et al. Comparison of visual performance between peripheral gradient high-addition multifocal soft contact lenses and orthokeratology. *Ophthalmic Physiol Opt* 2023;43(4):874-884

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

24 Li SY, Li SM, Zhou YH, et al. Effect of undercorrection on myopia progression in 12-year-old children. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015;53(8):1363-1368

25 Lin ZH, Lu YQ, Artal P, et al. Two-dimensional peripheral refraction and image quality for four types of refractive surgeries. *J Refract Surg* 2023;39(1):40-47

26 Kim B, Chung Y. Comparison of changes in corneal thickness and curvature after myopia correction between SMILE and FS-LASIK. *J Refract Surg* 2023;39(1):15-22

27 Ye YM, Chen P, Yu N, et al. Evaluation of wide corneal epithelial remodeling after small incision lenticule extraction (SMILE) with wide-field optical coherence tomography. *J Ophthalmol* 2022;2022:8764103

28 Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Rate of change of curvature of the corneal stromal surface drives epithelial compensatory changes and remodeling. *J Refract Surg* 2014;30(12):800-802

29 Romashchenko D, Rosén R, Lundström L. Peripheral refraction and higher order aberrations. *Clin Exp Optom* 2020;103(1):86-94

30 Wetton MA, Horswill MS, Hatherly C, et al. The development and validation of two complementary measures of drivers' hazard perception ability. *Accid Anal Prev* 2010;42(4):1232-1239

31 Patino CM, McKean-Cowdin R, Azen SP, et al. Central and peripheral visual impairment and the risk of falls and falls with injury. *Ophthalmology* 2010;117(2):199-206. e1

32 Yu Y, Zhang WW, Cheng XL, et al. Impact of treatment decentration on higher-order aberrations after SMILE. *J Ophthalmol* 2017;2017:9575723

33 Li XJ, Wang Y, Dou R. Aberration compensation between anterior and posterior corneal surfaces after Small incision lenticule extraction and Femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis. *Ophthalmic Physiol Opt* 2015;35(5):540-551

34 Wang J, Ren YL, Liang K, et al. Changes of corneal high-order aberrations after femtosecond laser-assisted in situ keratomileusis. *Medicine* 2018;97(18):e0618

35 Yin YW, Lu Y, Xiang AQ, 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. *BMC Ophthalmol* 2021;21(1):292

36 Khalifa MA, Mossallam E, Massoud TH, et al. Comparison of visual outcomes after variable spot scanning ablation versus wavefront-optimized myopic LASIK. *J Refract* 2015;31(1):22-28

37 王芸, 张晓峰, 钱一峰, 等. SMILE 与 FS-LASIK 术后角膜上皮修复的对比研究. *中华眼科杂志* 2020;56(2):93-102