

三种不同手术对屈光不正患者术后视觉质量及高阶像差的比较

张新, 王晓华, 李奕萍, 任俊, 张雅兰, 苗永凤, 张华

引用: 张新, 王晓华, 李奕萍, 等. 三种不同手术对屈光不正患者术后视觉质量及高阶像差的比较. 国际眼科杂志 2021; 21(8): 1356-1362

作者单位: (621000) 中国四川省绵阳市, 四川省精神卫生中心绵阳市第三人民医院

作者简介: 张新, 毕业于重庆医科大学, 硕士研究生, 副主任医师, 眼科副主任, 研究方向: 屈光手术和白内障。

通讯作者: 张新. 3858097@qq.com

收稿日期: 2020-11-08 修回日期: 2021-07-09

摘要

目的: 探讨飞秒激光制瓣的准分子激光原位角膜磨镶术(FS-LASIK)、角膜地形图引导LASIK(TG-LASIK)和飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)对屈光不正患者术后视觉质量及高阶像差的效果。

方法: 纳入2019-12/2020-02本院屈光中心收治的296例586眼单纯近视或近视散光患者。在明确手术适应证的前提下, 患者自行选择接受FS-LASIK、TG-LASIK、SMILE手术, 其中FS-LASIK组95例189眼, TG-LASIK组104例205眼, SMILE组97例192眼。收集患者术前及术后6、12mo时视力、屈光度、角膜地形图、高阶像差及对比敏感度。

结果: 术后6、12mo各组患者裸眼视力、最佳矫正视力及球镜度数、柱镜度数、等效球镜度数均优于术前($P < 0.05$), 组间比较均无差异($P > 0.05$)。术后6、12mo TG-LASIK组角膜表面规则指数、表面非对称指数均显著低于SMILE组、FS-LASIK组($P < 0.05$); SMILE组、FS-LASIK组组间比较无差异($P > 0.05$)。术后6、12mo时FS-LASIK组总高阶像差、彗差、球差及术后6mo时三叶草像差高于TG-LASIK组、SMILE组($P < 0.05$); 术后6、12mo时SMILE组球差显著低于其他两组($P < 0.05$)。术后6、12mo时TG-LASIK组在无眩光及有眩光时12.0、18.0c/d频率下对比敏感度显著高于SMILE组、FS-LASIK组($P < 0.05$)。

结论: FS-LASIK、TG-LASIK、SMILE三种手术均可获得较为满意的治疗效果, 但TG-LASIK术后像差增加较小, 角膜形态更规则, 视觉质量更高。

关键词: 角膜地形图引导; 飞秒激光; 准分子激光原位角膜磨镶术; 近视; 视觉质量

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2021.8.09

Comparative analysis on the effects of three surgical methods on postoperative visual quality and higher-order aberrations in patients with refractive errors

Xin Zhang, Xiao-Hua Wang, Yi-Ping Li, Jun Ren, Ya-Lan Zhang, Yong-Feng Miao, Hua Zhang

Sichuan Mental Health Center; The Third Hospital of Mianyang,

Mianyang 621000, Sichuan Province, China

Correspondence to: Xin Zhang. Sichuan Mental Health Center; The Third Hospital of Mianyang, Mianyang 621000, Sichuan Province, China. 3858097@qq.com

Received: 2020-11-08 Accepted: 2021-07-09

Abstract

• **AIM:** To explore the effects of femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis (FS-LASIK), topography guided LASIK (TG-LASIK) and small incision lenticule extraction (SMILE) on postoperative visual quality and higher-order aberrations (HOA) in patients with refractive errors.

• **METHODS:** A total of 296 patients (586 eyes) with simple myopia or myopic astigmatism who were admitted to refractive center of the hospital between December 2019 and February 2020 were enrolled. Under the premise of determining surgical indications, the patients chose to undergo FS-LASIK, TG-LASIK and SMILE voluntarily. Among them, there were 95 cases (189 eyes) in FS-LASIK group, 104 cases (205 eyes) in TG-LASIK group and 97 cases (192 eyes) in SMILE group. The data such as visual acuity, diopter, corneal topography, HOA and contrast sensitivity were collected before and at 6, 12mo after surgery.

• **RESULTS:** The uncorrected visual acuity, best corrected visual acuity, spherical equivalent and spherical equivalent refraction at 6mo after surgery were better than those before surgery ($P < 0.05$), and there was no significant difference among different groups ($P > 0.05$). At 6, 12mo after surgery, regularity index of corneal surface and surface asymmetry index in TG-LASIK group were significantly lower than those in SMILE group and FS-LASIK group ($P < 0.05$), and there was no significant difference between SMILE group and FS-LASIK group ($P > 0.05$). At 6, 12mo after surgery, total HOA, clover aberration and coma at 6mo spherical aberration in FS-LASIK group were significantly higher than those in TG-LASIK group and SMILE group ($P < 0.05$), while the spherical aberration in the SMILE group was significantly lower than that of the other two groups ($P < 0.05$). At 6, 12mo after surgery, contrast sensitivities with or without glare in TG-LASIK group were significantly higher than those in SMILE group and FS-LASIK group at frequencies of 12.0c/d and 18.0c/d ($P < 0.05$).

• **CONCLUSION:** The curative effect of FS-LASIK, TG-LASIK and SMILE are satisfactory. However, the aberration increase is less after TG-LASIK, the corneal

topography is more regular, and the visual quality is higher.

• **KEYWORDS:** corneal topography guidance; femtosecond laser; laser-assisted *in situ* keratomileusis; myopia; visual quality

Citation: Zhang X, Wang XH, Li YP, *et al.* Comparative analysis on the effects of three surgical methods on postoperative visual quality and higher-order aberrations in patients with refractive errors. *Guoji Yanke Zazhi(Int Eye Sci)* 2021;21(8):1356-1362

0 引言

随着电子产品的广泛应用,我国近视问题日益严重,且呈现逐渐低龄化趋势。据调查研究显示,我国中小学生学习近视率高达 55% 以上,大学生近视人数更是达到 90% 以上^[1]。激光角膜屈光手术是临床常见的屈光矫正手术,有较长的历史。飞秒激光是一种近红外激光,可精准聚焦设定位置,通过光爆破作用对角膜进行切割而不损伤其他组织,疗效及安全性均较高^[2-3]。飞秒激光制瓣的准分子激光原位角膜磨镶术(FS-LASIK)采用飞秒激光制备角膜瓣,相较于传统角膜刀制瓣更薄,更好地保留角膜基质床,降低角膜瓣制作的风险^[4]。除制瓣方式的差异,切割方式也是屈光手术的变量。普通FS-LASIK采用准分子激光切割角膜基质从而矫正近视及散光,角膜地形图引导的LASIK(TG-LASIK)是个性化手术方式,以角膜地形图为基础,通过引导可改善前表面的不规则形态,从而改善视觉质量^[5-6]。飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(SMILE)是将激光精准定位在角膜基质上直接进行三维立体切割,制作角膜基质内镜片,通过制作小切口的方式取出透镜,与LASIK手术相比,SMILE仅需一台仪器即可完成屈光手术全过程^[7]。目前已有部分研究探讨了FS-LASIK、TG-LASIK、SMILE等手术方式的应用效果及安全性^[8-10],但较少针对3种术式进行对比,本研究比较了3种术式术后角膜形态、高阶像差、成像质量参数,探讨三者的优劣,旨在为手术方式的选择提供参考。

1 对象和方法

1.1 对象 前瞻性研究,纳入2019-12/2020-02本院屈光中心收治的296例586眼单纯近视或近视散光患者。纳入标准:(1)术前最佳矫正视力 ≥ 1.0 ;(2)中央角膜厚度 $\geq 460\mu\text{m}$;(3)自愿接受手术治疗;(4)临床资料完整,对本研究知情并签署同意书。排除标准:(1)角膜病变者,如角膜营养不良、瘢痕、疱疹性角膜病等;(2)既往有眼部外伤史或其他眼部手术史者;(3)合并严重干眼、青光眼者;(4)合并全身系统性疾病者。在明确手术适应证的前提下,患者自行选择接受FS-LASIK、TG-LASIK、SMILE手术,其中FS-LASIK组95例189眼,其中男49例,女46例,年龄 27.41 ± 6.25 岁;TG-LASIK组104例205眼,男60例,女44例,年龄 27.79 ± 6.10 岁;SMILE组97例192眼,男47例,女50例,年龄 28.11 ± 6.89 岁。经比较,各组患者性别组成、年龄比较,差异均无统计学意义($P>0.05$)。本研究获得绵阳市第三人民医院伦理委员会认定通过批准。

1.2 方法 所有手术均由同一组经验丰富手术医师完成,FS-LASIK组、TG-LASIK组患者均采用Wavelight FS200飞秒激光机制作角膜瓣,角膜瓣厚度 $120\mu\text{m}$,直径 8.5mm ,

边缘切削角度为 90° 。采用准分子激光机(wavelight ex500)准分子切削,FS-LASIK组直接根据需要进行矫正的近视及散光度数进行切削;TG-LASIK组在保证患者瞳孔 $<3.5\text{mm}$ 条件下选取4幅重复性较好角膜地形图,选择topolyzer guided模式,观察地形图散光、临床检查结果散光度数与轴位的差异,散光轴位差 $<10^\circ$ 、散光度数差 $<0.75\text{D}$,超过上述范围即改为普通模式(wfo);手术时在保证术眼瞳孔直径与术前测定的直径相匹配情况下调整角度,进行角膜基质的切削。对于术中出现前房溢气、严重不透明气泡层等影响瞳孔定位的病例均取消地形图引导。切削完成后用含有 0.001% 地塞米松的平衡液冲洗角膜瓣并复位。SMILE组按照设定好的程序进行角膜切削,激光斑距基质透镜为 $4.5\mu\text{m}$,透镜边缘 $2.0\mu\text{m}$,角膜瓣厚度 $120\mu\text{m}$,直径 $7.5\sim 8.5\text{mm}$,透镜直径 $6.0\sim 6.5\text{mm}$ 。术后给予人工泪液及左氧氟沙星滴眼液、氟米龙滴眼液点眼。

观察指标:患者术前及术后6、12mo时检查视力、屈光度、角膜地形图、高阶像差及对比敏感度。其中视力采用标准视力表,收集裸眼视力(UCVA)、最佳矫正视力(BCVA),换算成LogMAR视力进行统计分析;进行眼节前检查,收集6mm瞳孔直径下角膜高阶像差、球差、彗差及三叶草像差;进行角膜地形图检查收集角膜表面规则指数(SRI)、表面非对称指数(SAI)等指标;采用WAVESCAN Vision3.68进行视觉质量检查,获得有眩光及无眩光条件下对比敏感度。

统计学分析:采用SPSS19.0进行数据处理与统计学分析,计数资料以频数及率表示,组间比较行 χ^2 检验或Fisher精确检验,计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,多组多时间点比较行重复测量方差分析,各时间点的组间差异比较、各组的时间差异比较采用两两比较的方法LSD-*t*检验。多组间比较行单因素方差分析,两组间比较行独立样本*t*检验,不符合正态分布的计量资料先进行秩转换再进行分析,以 $P<0.05$ 表示差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 各组手术前后视力比较 各组患者术前均进行充分评估,TG-LASIK组患者均成功进行手术,无改行FS-LASIK手术患者。术前术后不同时间各组患者UCVA、BCVA比较,差异均有统计学意义($F_{\text{组间/时间/交互}} = 1.274、85.632、5.714, P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.115、<0.001、<0.001$; $F_{\text{组间/时间/交互}} = 2.714、28.526、4.178, P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.104、<0.001、<0.001$)。各组患者术前UCVA、BCVA比较,差异均无统计学意义($P>0.05$),术后6、12mo各组患者UCVA、BCVA值均明显降低($P<0.05$),组间比较差异无统计学意义($P>0.05$),见表1。

2.2 各组手术前后屈光状态比较 术前术后不同时间各组患者球镜度数、柱镜度数、等效球镜度数比较,差异均有统计学意义($F_{\text{组间/时间/交互}} = 1.748、74.186、5.632, P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.152、<0.001、<0.001$; $F_{\text{组间/时间/交互}} = 0.748、34.152、3.126, P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.556、<0.001、<0.001$; $F_{\text{组间/时间/交互}} = 1.102、44.718、3.859, P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.352、<0.001、<0.001$)。各组患者术前球镜度数、柱镜度数、等效球镜度数比较差异无统计学意义($P>0.05$),术后6、12mo各组患者球镜度数、柱镜度数、等效球镜度数均明显降低($P<0.05$),组间比较差异均无统计学意义($P>0.05$),见表2。

表1 各组手术前后视力比较

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

组别	眼数	UCVA					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	1.01±0.18	-0.10±0.07	-0.14±0.10	203.466/<0.001	122.189/<0.001	26.396/<0.001
TG-LASIK 组	205	1.03±0.27	-0.11±0.07	-0.15±0.11	229.085/<0.001	96.014/<0.001	21.898/<0.001
SMILE 组	192	1.04±0.18	-0.10±0.08	-0.13±0.12	192.257/<0.001	121.013/<0.001	26.647/<0.001

组别	眼数	BCVA					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	-0.01±0.07	-0.11±0.04	-0.13±0.08	24.996/<0.001	19.640/<0.001	4.583/<0.001
TG-LASIK 组	205	-0.02±0.06	-0.10±0.05	-0.14±0.11	20.826/<0.001	20.826/<0.001	7.159/<0.001
SMILE 组	192	-0.01±0.07	-0.10±0.05	-0.12±0.12	20.785/<0.001	20.323/<0.001	3.260/<0.001

表2 各组手术前后屈光状态比较

($\bar{x} \pm s, D$)

组别	眼数	球镜度数					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	-5.22±1.41	0.08±0.10	0.10±0.12	96.507/<0.001	95.605/<0.001	2.500/<0.001
TG-LASIK 组	205	-5.14±1.36	0.09±0.11	0.12±0.11	101.880/<0.001	102.465/<0.001	3.905/<0.001
SMILE 组	192	-5.10±1.29	0.07±0.12	0.10±0.15	101.614/<0.001	100.074/<0.001	3.079/<0.001

组别	眼数	柱镜度数					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	-0.60±0.10	-0.22±0.10	-0.23±0.09	52.241/<0.001	53.544/<0.001	1.447/0.250
TG-LASIK 组	205	-0.59±0.09	-0.20±0.14	-0.25±0.14	48.556/<0.001	104.582/<0.001	5.114/<0.001
SMILE 组	192	-0.61±0.14	-0.21±0.10	-0.24±0.16	46.188/<0.001	34.179/<0.001	3.198/<0.001

组别	眼数	等效球镜度数					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	-5.25±1.01	-0.19±0.14	-0.25±0.16	120.980/<0.001	117.502/<0.001	5.499/<0.001
TG-LASIK 组	205	-5.33±1.12	-0.20±0.12	-0.27±0.18	118.468/<0.001	111.459/<0.001	6.672/<0.001
SMILE 组	192	-5.17±1.14	-0.19±0.11	-0.24±0.14	110.408/<0.001	487.943/<0.001	5.523/<0.001

表3 各组手术前后角膜地形图检查结果比较

$\bar{x} \pm s$

组别	眼数	SRI					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	0.10±0.03	0.17±0.05	0.18±0.04	12.021/<0.001	30.638/<0.001	1.529/0.214
TG-LASIK 组	205	0.11±0.04	0.13±0.04	0.14±0.02	2.694/0.041	15.272/<0.001	2.041/0.058
SMILE 组	192	0.10±0.02	0.17±0.03	0.17±0.04	7.408/<0.001	32.332/<0.001	0.274/0.745
$t_{1,2}/P_{1,2}$		1.673/0.095	3.960/<0.001	12.800/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		0.767/0.137	0.948/0.343	1.463/0.144			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		0.444/0.213	6.167/<0.001	10.813/<0.001			

组别	眼数	SAI					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	0.33±0.08	0.47±0.10	0.47±0.10	21.233/<0.001	21.233/<0.001	0.275/0.745
TG-LASIK 组	205	0.33±0.10	0.37±0.09	0.38±0.08	5.426/<0.001	7.318/<0.001	1.684/0.210
SMILE 组	192	0.34±0.09	0.49±0.10	0.50±0.09	22.170/<0.001	18.315/<0.001	0.115/0.714
$t_{1,2}/P_{1,2}$		0.327/0.744	10.446/<0.001	9.900/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		0.802/0.423	1.951/0.052	1.602/0.110			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		0.417/0.676	12.582/<0.001	9.687/<0.001			

注: $t_{1,2}/P_{1,2}$ 为FS-LASIK组及TG-LASIK组比较统计量值; $t_{1,3}/P_{1,3}$ 为FS-LASIK组与SMILE组比较统计量值; $t_{2,3}/P_{2,3}$ 为TG-LASIK组与SMILE组比较统计量值。

2.3 各组手术前后角膜地形图检查结果比较 术前术后不同时间各组患者SRI、SAI比较,差异均有统计学意义($F_{\text{组间/时间/交互}} = 7.145, 10.174, 6.258$, 均 $P < 0.001$; $F_{\text{组间/时间/交互}} = 4.178, 9.526, 3.859$, 均 $P < 0.001$)。术前各组患者SRI、

SAI比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$),术后6、12mo TG-LASIK组SRI、SAI均显著低于SMILE组、FS-LASIK组($P < 0.001$);SMILE组、FS-LASIK组组间比较差异无统计学意义($P > 0.05$),见表3。

表 4 各组手术前后波前像差比较

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

组别	眼数	总高阶像差					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	0.33±0.09	0.51±0.11	0.52±0.11	26.121/<0.001	26.121/<0.001	1.250/0.301
TG-LASIK 组	205	0.32±0.07	0.41±0.10	0.40±0.10	13.476/<0.001	13.476/<0.001	1.431/0.201
SMILE 组	192	0.33±0.08	0.40±0.09	0.41±0.09	11.411/<0.001	13.041/<0.001	1.540/0.152
$t_{1,2}/P_{1,2}$		1.236/0.217	9.452/<0.001	11.342/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		0.000/1.000	10.669/<0.001	10.690/<0.001			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		1.328/0.185	1.045/0.297	1.045/0.297			
组别	眼数	彗差					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	0.17±0.05	0.33±0.10	0.34±0.11	29.214/<0.001	29.328/<0.001	1.309/0.214
TG-LASIK 组	205	0.18±0.07	0.27±0.09	0.28±0.08	19.080/<0.001	16.108/<0.001	1.507/0.147
SMILE 组	192	0.17±0.06	0.28±0.08	0.29±0.08	23.753/<0.001	21.774/<0.001	1.630/0.115
$t_{1,2}/P_{1,2}$		0.809/0.420	6.268/<0.001	6.226/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		0.353/0.724	5.393/<0.001	5.080/<0.001			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		1.066/0.287	1.167/0.244	1.245/0.214			
组别	眼数	三叶草像差					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	0.14±0.05	0.13±0.03	0.12±0.05	0.459/0.714	3.437/<0.001	3.440/<0.001
TG-LASIK 组	205	0.14±0.04	0.11±0.05	0.13±0.08	0.881/0.385	10.182/<0.001	4.405/<0.001
SMILE 组	192	0.15±0.04	0.12±0.04	0.12±0.04	0.308/0.852	10.392/<0.001	0.693/0.596
$t_{1,2}/P_{1,2}$		0.440/0.660	4.765/<0.001	0.245/0.807			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		1.079/0.281	2.757/0.006	1.445/0.149			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		1.742/0.082	2.191/0.029	0.949/0.343			
组别	眼数	球差					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{\text{术前-术后6mo}}/P$	$t_{\text{术前-术后12mo}}/P$	$t_{\text{术后6mo-术后12mo}}/P$
FS-LASIK 组	189	0.10±0.05	0.22±0.07	0.26±0.10	36.661/<0.001	27.495/<0.001	6.470/<0.001
TG-LASIK 组	205	0.09±0.04	0.17±0.05	0.20±0.12	34.999/<0.001	25.454/<0.001	4.053/<0.001
SMILE 组	192	0.09±0.04	0.16±0.04	0.14±0.09	10.659/<0.001	24.249/<0.001	4.264/<0.001
$t_{1,2}/P_{1,2}$		1.320/0.188	8.206/<0.001	9.847/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		1.079/0.281	10.292/<0.001	14.512/<0.001			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		0.249/0.804	2.191/0.029	8.278/<0.001			

注: $t_{1,2}/P_{1,2}$ 为 FS-LASIK 组及 TG-LASIK 组比较统计量值; $t_{1,3}/P_{1,3}$ 为 FS-LASIK 组与 SMILE 组比较统计量值; $t_{2,3}/P_{2,3}$ 为 TG-LASIK 组与 SMILE 组比较统计量值。

2.4 各组手术前后波前像差比较 术前术后不同时间各组患者总高阶像差、彗差、三叶草像差、球差比较,差异均有统计学意义 ($F_{\text{组间/时间/交互}} = 7.415、15.152、8.526、5.125、13.256、8.552、3.528、9.632、4.115、7.415、35.265、9.632$, 均 $P < 0.001$)。术前各组患者总高阶像差、彗差、三叶草像差、球差比较,差异均无统计学意义 ($P > 0.05$); 术后 6、12mo 时 FS-LASIK 组总高阶像差、彗差、球差及术后 6mo 时三叶草像差显著高于 TG-LASIK 组、SMILE 组 ($P < 0.05$); 术后 6、12mo 时 SMILE 组球差显著低于 TG-LASIK 组 ($P < 0.05$), 见表 4。

2.5 各组手术前后视觉质量比较 术前术后不同时间各组患者无眩光下 1.5、3.0、6.0、12.0、18.0c/d 下对比敏感度比较,差异均有统计学意义 ($F_{\text{组间/时间/交互}} = 0.526、4.125、3.968、P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.665、<0.001、0.003、F_{\text{组间/时间/交互}} = 1.335、15.748、4.526、P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.258、<0.001、<0.001$;

$F_{\text{组间/时间/交互}} = 1.025、4.152、3.015、P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.452、<0.001、0.010; F_{\text{组间/时间/交互}} = 6.526、10.274、7.112$, 均 $P < 0.001; F_{\text{组间/时间/交互}} = 10.415、14.126、13.296$, 均 $P < 0.001$)。术前术后不同时间各组患者有眩光下 1.5、3.0、6.0、12.0、18.0c/d 下对比敏感度比较,差异均有统计学意义 ($F_{\text{组间/时间/交互}} = 0.748、6.152、4.010、P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.526、<0.001、<0.001; F_{\text{组间/时间/交互}} = 0.745、12.415、5.829、P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.526、<0.001、<0.001; F_{\text{组间/时间/交互}} = 0.665、6.526、3.859、P_{\text{组间/时间/交互}} = 0.652、<0.001、<0.001; F_{\text{组间/时间/交互}} = 10.145、8.529、7.148$, 均 $P < 0.001; F_{\text{组间/时间/交互}} = 6.259、10.274、7.552$, 均 $P < 0.001$)。各组患者术前各空间频率下对比敏感度比较,差异均无统计学意义 ($P > 0.05$); 术后 6、12mo 时 TG-LASIK 组在无眩光及有眩光时 12.0、18.0c/d 频率下对比敏感度显著高于 SMILE 组、FS-LASIK 组,差异均有统计学意义 ($P < 0.001$), 见表 5、6。

表5 各组手术前后无眩光下不同空间频率下对比敏感度

$\bar{x} \pm s$

组别	眼数	1.5c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	1.90±0.15	1.92±0.08	1.92±0.10	2.199/<0.001	2.391/<0.001	0.239/0.901
TG-LASIK 组	205	1.90±0.14	1.92±0.09	1.92±0.09	2.490/<0.001	2.490/<0.001	0.125/0.915
SMILE 组	192	1.91±0.15	1.93±0.10	1.93±0.10	2.217/<0.001	2.490/<0.001	0.222/0.859
组别	眼数	3.0c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	1.95±0.07	2.03±0.07	2.02±0.12	9.985/<0.001	16.104/<0.001	1.734/0.110
TG-LASIK 组	205	1.96±0.07	2.03±0.03	2.03±0.10	11.454/<0.001	20.045/<0.001	0.526/0.662
SMILE 组	192	1.96±0.10	2.04±0.07	2.04±0.10	10.531/<0.001	13.041/<0.001	0.449/0.685
组别	眼数	6.0c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	1.95±0.05	1.95±0.07	1.96±0.11	1.718/0.096	0.459/0.701	1.528/0.135
TG-LASIK 组	205	1.96±0.07	1.96±0.07	1.98±0.10	3.368/<0.001	0.204/0.902	3.369/<0.001
SMILE 组	192	1.95±0.06	1.95±0.08	1.96±0.14	1.386/0.201	0.594/0.601	1.260/0.332
组别	眼数	12.0c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	1.33±0.12	1.33±0.09	1.35±0.12	2.499/<0.001	0.262/0.798	2.357/0.005
TG-LASIK 组	205	1.35±0.09	1.45±0.10	1.45±0.10	15.071/<0.001	15.071/<0.001	0.286/0.812
SMILE 组	192	1.34±0.09	1.34±0.08	1.36±0.08	3.260/<0.001	0.163/0.879	3.291/<0.001
$t_{1,2}/P_{1,2}$		1.789/0.075	12.482/<0.001	9.011/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		1.026/0.305	1.147/0.252	0.958/0.339			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		0.934/0.351	12.052/<0.001	9.860/<0.001			
组别	眼数	18.0c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	0.90±0.10	0.90±0.10	0.92±0.10	2.750/<0.001	1.374/0.196	1.375/0.165
TG-LASIK 组	205	0.91±0.10	1.07±0.12	1.07±0.12	22.128/<0.001	20.826/<0.001	0.239/0.912
SMILE 组	192	0.90±0.09	0.90±0.09	0.91±0.09	1.539/0.135	1.539/0.135	0.308/0.882
$t_{1,2}/P_{1,2}$		0.198/0.842	15.207/<0.001	13.418/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		0.103/0.918	2.053/<0.001	1.026/0.304			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		0.104/0.917	14.017/<0.001	14.951/<0.001			

注: $t_{1,2}/P_{1,2}$ 为FS-LASIK组及TG-LASIK组比较统计量值; $t_{1,3}/P_{1,3}$ 为FS-LASIK组与SMILE组比较统计量值; $t_{2,3}/P_{2,3}$ 为TG-LASIK组与SMILE组比较统计量值。

3 讨论

屈光不正手术矫正方式多样,为患者及医师提供了更多的选择,评估各种方式的效果及安全性是临床应用的前提。FS-LASIK、TG-LASIK、SMILE作为临床常见的手术方式,探讨其特点、优势、安全性对于手术方式的选择可提供更多参考依据。视力及屈光度是屈光不正重要手术效果指标,本研究结果显示,3种术式术后患者视力及屈光度明显改善,且三组组间比较未见明显差异,提示3种术式均可较好地改善近视患者屈光不正状态,改善患者视力,这一结果与既往报道的3种手术术式对近视视力改善效果类似^[11-12]。

除UCVA,更好的视觉质量也是屈光手术术后患者及医师追求的目标,视觉质量受多种因素影响,其中角膜表面规则程度即为重要影响因素^[13]。角膜屈光手术是通过切削角膜组织从而改变角膜表面屈光力达到矫正的目的,在手术过程中多种手术因素均可导致角膜表面对称性的降低,包括术中不规则切削、角膜瓣制作基质床状态、切削时中心位置的偏移等;此外飞秒激光进行角膜组织切割时

可能出现气泡的不连续、凹陷,在手术操作过程中可对角膜表面产生细微划伤,引起角膜表面规则性改变^[14-15]。本研究结果显示,术后TG-LASIK手术患者SRI、SAI等角膜规则程度指标显著低于其他两组,提示该术式可减少手术引起的角膜不规则及不对称。与其他两种术式比较,TG-LASIK手术是一种个性化手术方式,手术操作是基于个体角膜前表面形态开展,其切削信息来自角膜地形图,因此受个体瞳孔、环境等差异的影响较小;另外该术式在术中对虹膜及瞳孔进行精确的定位及追踪,减少手术中的偏心切削,提高切削的准确性,这些可能为降低角膜表面不规则程度的重要原因^[16]。

像差是影响光学成像的因素,目前传统的LASIK手术主要矫正低阶像差,在这一过程中可引入高阶像差;另外对于高度散光、不规则角膜的患者这些改变可更为明显,导致术后出现更为复杂的高阶像差^[17-18]。本研究中3种术式患者FS-LASIK高阶相差最高,明显高于其他两组,提示FS-LASIK手术不可避免可增加术后高阶像差。目前认为屈光手术后高阶像差增加的原因主要为角膜前

表 6 各组手术前后有眩光下不同空间频率下对比敏感度

$\bar{x} \pm s$

组别	眼数	1.5c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	1.85±0.10	1.89±0.11	1.90±0.12	6.249/<0.001	3.928/<0.001	2.391/0.025
TG-LASIK 组	205	1.85±0.10	1.87±0.10	1.88±0.12	3.905/<0.001	2.864/0.018	1.302/0.206
SMILE 组	192	1.87±0.11	1.85±0.12	1.89±0.10	2.639/<0.001	1.205/0.335	3.779/<0.001
组别	眼数	3.0c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	1.95±0.10	2.10±0.11	2.11±0.13	19.127/<0.001	19.640/<0.001	1.146/0.325
TG-LASIK 组	205	1.94±0.09	2.09±0.09	2.10±0.11	22.909/<0.001	23.863/<0.001	1.432/0.185
SMILE 组	192	1.95±0.10	2.10±0.10	2.09±0.12	17.635/<0.001	20.785/<0.001	1.260/0.225
组别	眼数	6.0c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	1.85±0.07	1.90±0.10	1.91±0.12	8.593/<0.001	8.087/<0.001	1.250/0.256
TG-LASIK 组	205	1.86±0.07	1.90±0.11	1.92±0.14	8.182/<0.001	6.363/<0.001	2.604/0.010
SMILE 组	192	1.85±0.06	1.91±0.10	1.91±0.14	8.315/<0.001	10.392/<0.001	0.859/0.247
组别	眼数	12.0c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	1.33±0.10	1.22±0.09	1.30±0.12	3.749/<0.001	15.918/<0.001	10.474/<0.001
TG-LASIK 组	205	1.34±0.15	1.42±0.10	1.42±0.18	10.605/<0.001	9.163/<0.001	0.205/0.852
SMILE 组	192	1.35±0.11	1.20±0.10	1.33±0.18	1.911/0.078	19.795/<0.001	12.867/<0.001
$t_{1,2}/P_{1,2}$		0.772/0.441	20.804/<0.001	7.718/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		1.856/0.064	2.051/0.041	1.911/0.057			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		0.753/0.452	21.906/<0.001	4.979/<0.001			
组别	眼数	18.0c/d					
		术前	术后 6mo	术后 12mo	$t_{术前-术后6mo}/P$	$t_{术前-术后12mo}/P$	$t_{术后6mo-术后12mo}/P$
FS-LASIK 组	189	0.77±0.15	0.78±0.10	0.81±0.17	3.437/<0.001	1.099/0.215	3.056/<0.001
TG-LASIK 组	205	0.78±0.14	0.90±0.20	0.92±0.20	11.791/<0.001	10.107/<0.001	1.432/0.185
SMILE 组	192	0.77±0.12	0.81±0.11	0.85±0.15	8.211/<0.001	4.920/<0.001	4.264/<0.001
$t_{1,2}/P_{1,2}$		0.342/0.732	7.436/<0.001	5.858/<0.001			
$t_{1,3}/P_{1,3}$		0.359/0.720	2.784/0.06	1.219/0.224			
$t_{2,3}/P_{2,3}$		0.762/0.447	5.504/<0.001	5.046/<0.001			

注： $t_{1,2}/P_{1,2}$ 为 FS-LASIK 组及 TG-LASIK 组比较统计量值； $t_{1,3}/P_{1,3}$ 为 FS-LASIK 组与 SMILE 组比较统计量值； $t_{2,3}/P_{2,3}$ 为 TG-LASIK 组与 SMILE 组比较统计量值。

表面形态为非球面,且中间曲率高于周边,手术可使得这种特性发生变化,近视程度越高,切削后剩余的基质床越薄,角膜形态改变越大,因此术后引入的高阶像差也越大。在 3 种术式中,TG-LASIK 术式彗差增加较少,其原因可能为 TG-LASIK 手术可通过角膜地形图采集到角膜、瞳孔、虹膜特征,在这些特征的引导下进行精确切削,较少因切削偏心导致的彗差增加^[19-20];而 SMILE 手术患者引入的球差较少,其原因可能为一方面该术式切削直径较大,另一方面在术中使用负压吸引眼球,在术中能保持眼球的固定,降低眼位偏移对手术的影响;另外该术式在切削模式中加入降低球差的设计,降低高阶像差的产生^[21],既往唐忠等^[22]开展的一项研究也证实 TG-LASIK 术后高阶像差、球差、彗差均方根值均显著低于 FS-LASIK 组;王嘉南等^[23]也比较了 FS-LASIK 及 SMILE 手术对角膜高阶像差的影响,结果显示 FS-LASIK 手术术后可出现球差、总高阶像差及三叶草像差的变化,SMILE 主要以球差为主,两者比较 FS-LASIK 手术术后各高阶像差参数均高于 SMILE,本研究与其研究结果类似。

对比敏感度是评估视觉质量的敏感指标之一,本研究对 3 种手术术后对比敏感度进行比较,结果显示,在无眩光及有眩光的环境下,TG-LASIK 组在无眩光及有眩光时 12.0、18.0c/d 频率下对比敏感度显著高于 SMILE 组、FS-LASIK 组,结合上文参数研究结果分析其原因可能为 TG-LASIK 手术可降低角膜不规则程度、高阶像差的产生,在术中虹膜定位技术也可避免眼位偏移对散光轴位的影响^[24-25]。

综上,FS-LASIK、TG-LASIK、SMILE 3 种手术均可获得较为满意的治疗效果,但 TG-LASIK 术后像差增加较小,角膜形态更规则。本研究样本量较小,且随访时间较短,且还有较多因素可影响视觉质量,未来仍有待进一步扩大样本量进行验证研究。

参考文献

1 周佳, 马迎华, 马军, 等. 中国 6 省市中小学生学习近视流行现状及其影响因素分析. 中华流行病学杂志 2016;37(1):29-34
 2 Nivas JJ, Anoop KK, Bruzzese R, et al. Direct femtosecond laser surface structuring of crystalline silicon at 400nm. *Appl Phys Lett* 2018; 112(12):121601

- 3 Qin B, Li M, Chen X, *et al.* Early visual outcomes and optical quality after femtosecond laser small-incision lenticule extraction for myopia and myopic astigmatism correction of over - 10 dioptres. *Acta Ophthalmol* 2018;96(3):e341-e346
- 4 Zhou J, Gu W, Li S, *et al.* Predictors affecting myopic regression in - 6.0D to -10.0D myopia after laser-assisted subepithelial keratomileusis and laser *in situ* keratomileusis flap creation with femtosecond laser-assisted or mechanical microkeratome-assisted. *Int Ophthalmol* 2020;40(1):213-225
- 5 康盈, 王华, 陈蛟. 角膜地形图引导的 FS-LASIK 治疗近视及散光的视觉质量评估. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2019;21(6):414-419
- 6 Liu B, Chen W, Shao DW, *et al.* Using LaserSight Astrapro Planner 2.2 Z software in corneal topography-guided laser *in situ* keratomileusis for myopia with asymmetric corneal shape. *Int J Ophthalmol* 2014;7(3):452-456
- 7 Lee H, Roberts CJ, Arba-Mosquera S, *et al.* Relationship between decentration and induced corneal higher-order aberrations following small-incision lenticule extraction procedure. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2018;59(6):2316-2324
- 8 Kobashi H, Kamiya K, Igarashi A, *et al.* Two-years results of small-incision lenticule extraction and wavefront-guided laser *in situ* keratomileusis for Myopia. *Acta Ophthalmol* 2018;96(2):e119-e126
- 9 Kepez Yildiz B, Kemer Atik B, Yildirim Y, *et al.* Laser *in situ* keratomileusis (LASIK) in patients with superior steepening on corneal topography: Is it safe and predictable? *Int Ophthalmol* 2020;40(9):2353-2359
- 10 Crispim J, Allemann N, Hallak JA, *et al.* Direct and indirect flap measurements in femtosecond laser-assisted *in situ* keratomileusis. *Cornea* 2019;38(3):297-303
- 11 宋学英, 李岳美, 李庆和, 等. SMILE 及 LASEK 治疗近视散光的临床对比研究. *眼科新进展* 2016;36(10):970-972
- 12 Zhang J, Zheng L, Zhao X, *et al.* Corneal aberrations after small-incision lenticule extraction versus Q value-guided laser-assisted *in situ* keratomileusis. *Medicine* 2019;98(5):e14210
- 13 张耀花, 王雁, 窦瑞, 等. 近视眼角膜生物力学特性与角膜高阶像差的相关性. *中华实验眼科杂志* 2018;36(5):368-372
- 14 张明悦, 张丰菊, 宋彦铮, 等. SMILE 手术前后角膜形态学和生物力学特性变化的研究. *中华眼科杂志* 2020;6(2):103-109
- 15 Vega-Estrada A, Alio JL. Keratoconus corneal posterior surface characterization according to the degree of visual limitation. *Cornea* 2019;38(6):730-736
- 16 Fan L, Xiong L, Zhang B, *et al.* Longitudinal and regional non-uniform remodeling of corneal epithelium after topography-guided FS-LASIK. *J Refract Surg* 2019;35(2):88-95
- 17 冯子卿, 王倩茹, 李雪. 不同角膜屈光手术方式对高阶像差的影响. *眼科新进展* 2018;38(8):797-800
- 18 Shao T, Wang Y, Ng ALK, *et al.* The effect of intraoperative angle kappa adjustment on higher-order aberrations before and after small incision lenticule extraction. *Cornea* 2020;39(5):609-614
- 19 El Awady HE, Ghanem AA, Saleh SM. Wavefront-optimized ablation versus topography-guided customized ablation in myopic LASIK: comparative study of higher order aberrations. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging* 2011;42(4):314-320
- 20 张丽, 翟长斌, 周跃华, 等. 近视患者角膜地形图引导与波前像差优化的 FS-LASIK 术后视觉质量比较. *中华实验眼科杂志* 2019;28(11):914-920
- 21 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;1(3):193-201
- 22 唐恣, 马代金. 角膜地形图引导的 FS-LASIK 与常规 FS-LASIK 术后视觉质量比较. *中华眼视光学与视觉科学杂志* 2020;22(6):427-433
- 23 王嘉南, 肖玥言, 郗平, 等. FS-LASIK 与 SMILE 矫正近视术后角膜高阶像差的变化. *眼科新进展* 2019;39(6):540-543
- 24 Ryan DS, Sia RK, Rabin J, *et al.* Contrast sensitivity after wavefront-guided and wavefront-optimized PRK and LASIK for myopia and myopic astigmatism. *J Refract Surg* 2018;34(9):590-596
- 25 高欢欢, 杜之淦, 晏丕松, 等. 近视眼患者波前像差和对比敏感度相关分析. *中华眼科杂志* 2018;54(10):748-755