

SMILE 与 FS-LASIK 术后散射变化特性的比较

徐路路 王雁 刘洋辰 吴文静

【摘要】 **背景** 飞秒激光小切口基质透镜取出术 (SMILE) 是一种新的微创无瓣屈光矫治手术方式, 具有良好的安全性及可预测性, 但目前有关其术后视觉质量的研究尚少。了解 SMILE 术后散射的变化情况对于评估其术后视觉质量具有重要意义。 **目的** 对比分析 SMILE 与飞秒激光辅助准分子激光角膜原位磨镶术 (FS-LASIK) 矫治近视及近视散光术后眼内散射光计量值的变化情况。 **方法** 采用回顾性研究方法, 选取 2011 年 1 月至 2013 年 6 月在天津市眼科医院拟行 SMILE 和 FS-LASIK 的近视及近视散光患者 68 例 127 眼, 其中 SMILE 组 35 例 64 眼, FS-LASIK 组 33 例 63 眼, 使用 C-Quant 散射光计量仪分别于术前及术后 1 周、1 个月、6 个月测量散射光计量值, 比较 2 个组术眼术后不同时间眼内散射光计量值的改变, 并分析 2 种手术因素与术眼内散射光计量值的关系。 **结果** FS-LASIK 组术后 1 周、1 个月时散射光计量值分别为 $(1.03 \pm 0.19)D$ 和 $(0.95 \pm 0.16)D$, 明显高于术前的 $(0.88 \pm 0.18)D$, 差异均有统计学意义 ($P = 0.000, 0.012$), 而 SMILE 组术后 1 周、1 个月和 6 个月散射光计量值分别为 (0.98 ± 0.16) 、 (0.95 ± 0.14) 和 $(0.94 \pm 0.16)D$, 与术前的 $(0.91 \pm 0.15)D$ 相比, 差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$), 但 2 个组间术眼散射光计量值的总体比较差异无统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 0.077, P = 0.781$)。术后不同时间点 FS-LASIK 组散射光计量值的变化量均高于 SMILE 组 ($F_{\text{分组}} = 14.798, P < 0.001$), 术后 1 周时 2 个组间差异有统计学意义 ($P < 0.01$)。术后 1 周、1 个月、6 个月 SMILE 组术眼内散射光计量值的变化量与切削比均呈负相关 ($R^2 = 0.123, 0.145, 0.098$, 均 $P < 0.05$)。 **结论** SMILE 手术前后术眼内散射光计量值变化不明显, 而 FS-LASIK 术后眼内散射光计量值增加, 尤以早期最为显著。2 种手术后的散射光计量值随时间的延长逐渐恢复。

【关键词】 散射; 近视, 近视散光/手术; 视觉质量; 飞秒激光小切口基质透镜取出术; 飞秒激光辅助准分子激光角膜原位磨镶术

Characteristics of straylight after small incision lenticule extraction versus femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis Xu Lulu, Wang Yan, Liu Yangchen, Wu Wenjing. Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Vision Science, Tianjin Eye Institute, Tianjin Eye Hospital, Tianjin Medical University, Tianjin 300020, China
Corresponding author: Wang Yan, Email: wangyan7143@vip.sina.com

[Abstract] **Background** Small incision lenticule extraction (SMILE) was a new procedure which is mini-invasion and flapless, but few attentions were paid to the visual quality after SMILE. To understand the changes of intraocular straylight after SMILE is of important significance for the assessment of the visual quality after the procedure. **Objective** This study was to compare the characteristic of straylight between SMILE and femtosecond laser assisted laser in situ keratomileusis (FS-LASIK) after surgery. **Methods** A retrospective study was designed. Written informed consent was obtained from each patient prior to accepting the surgery. One hundred and twenty-seven eyes of 68 patients with myopia and myopic astigmatism were included in Tianjin Eye Hospital from January 2011 to July 2013. SMILE was performed on 64 eyes of 35 patients and FS-LASIK was carried out in 63 eyes of 33 patients at the same period. Stray light was detected with C-Quant stray light meter before and 1 week, 1 month and 6 months after surgery. The changes of stray light values following the surgery were compared between the two groups, and the correlations between postoperative stray light values with operative parameters were analyzed.

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.02.013

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81170873)

作者单位: 300020 天津医科大学眼科临床学院 天津市眼科医院 天津市眼科学与视觉科学重点实验室 天津市眼科研究所

通信作者: 王雁, Email: wangyan7143@vip.sina.com

Results The mean stray light values were (1.03 ± 0.19) D and (0.95 ± 0.16) D at 1 week and 1 month after surgery, which were higher than (0.88 ± 0.18) D at preoperation in the FS-LASIK group ($P = 0.000, 0.012$). The stray light values were (0.98 ± 0.16), (0.95 ± 0.14) and (0.94 ± 0.16) D at 1 week, 1 month or 6 months after surgery, and no statistically significant differences were found in comparison with (0.91 ± 0.15) D in preoperation in the SMILE group (all at $P > 0.05$). No significant intergroup difference was seen in the stray light values ($F_{group} = 0.077, P = 0.781$). The stray light differences of various time points after surgery and before surgery were increased in the FS-LASIK group compared with SMILE group ($F_{group} = 14.798, P < 0.001$), with the significant difference in postoperative 1 week between the two groups ($P < 0.01$). The negative correlations were found between stray light values at 1 week, 1 month and 6 months after SMILE with the lenticule thickness/central corneal thickness (CCT) ($R^2 = 0.123, 0.145, 0.098$, all at $P < 0.05$) or between stray light change. **Conclusions** Intraocular stray light appears less change in operative eyes after SMILE. However, intraocular stray light increases in the eyes received FS-LASIK, especially at early stage after operation. The stray light shifts return to normal with the lapse of postoperative time.

[Key words] Straylight; Myopia, myopia astigmatism/surgery; Visual quality; Small incision lenticule extraction; Femtosecond laser assisted laser in situ keratomileusis

近年来,飞秒激光辅助准分子激光角膜原位磨镶术(femtosecond laser assisted laser in situ keratomileusis, FS-LASIK)将飞秒激光制作超薄角膜瓣与准分子激光角膜基质切削完美结合,提高了手术的安全性及有效性,目前已成为角膜屈光手术的主流术式之一^[1-2],但 FS-LASIK 术中仍需制作角膜瓣,因此与制瓣相关的并发症仍不可避免。随着科学技术和医疗技术的不断进步,飞秒激光小切口基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE)成为全新的手术方式,SMILE 利用飞秒激光直接在角膜基质进行透镜形状的精确切割和制作,同时无需制作角膜瓣,减少或避免了角膜瓣制作相关并发症的发生,治疗效果好^[3]。然而,屈光手术的最终目的不仅是提高视力,同时还需提升视觉质量,因此,术后视功能和视觉质量引起了屈光手术医师的重视。由像差引起的视功能及视觉质量的改变已得到广泛研究^[4-5],而散射作为影响视觉质量的重要因素之一,其引起的术后视觉质量变化的研究较少。本研究对比分析了 SMILE 与 FS-LASIK 术后散射光计量值的变化,探讨 2 种术式术后术眼的散射光计量值随时间的变化情况。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用回顾性研究方法,收集 2011 年 1 月至 2013 年 6 月于天津市眼科医院行 FS-LASIK 或 SMILE 的近视及近视散光患者 68 例 127 眼,其中男 26 例 50 眼,女 42 例 77 眼。SMILE 组 35 例 64 眼;年龄 18 ~ 36 岁;球镜度为 -2.50 ~ -8.25 D,等效球镜度(spherical equivalent, SE)为 -3.125 ~ -8.875 D;中央角膜厚度

(center corneal thickness, CCT)为 512 ~ 614 μm。FS-LASIK 组 33 例 63 眼;年龄 18 ~ 36 岁;球镜度为 -2.50 ~ -9.00 D, SE 为 -3.750 ~ -9.125 D; CCT 为 488 ~ 633 μm。患者纳入标准:(1)年龄 ≥ 18 岁。(2)近视或近视散光患者, -2.50 D ≤ 屈光度 ≤ -10.00 D,散光度 ≤ -6.00 D,2 年内屈光度数稳定(增长 ≤ -0.50 D)。(3)最佳矫正视力 ≥ 0.8。(4)角膜厚度 ≥ 500 μm。(5)停戴角膜接触镜 2 周及以上。排除标准:(1)有严重的系统性疾病。(2)有眼部活动性病变。(3)有严重的眼表疾病,如干眼、角膜内皮病变、角膜瘢痕等。(4)有其他眼部疾病及眼部外伤史。(5)圆锥角膜及可疑圆锥角膜患者。所有患者均自愿接受手术并签署知情同意书。术前 SMILE 组与 FS-LASIK 组组内左右眼间散射光计量值差异均无统计学意义($t = 2.863, 2.768$, 均 $P > 0.05$)。术前基线资料比较见表 1。

表 1 2 个组患者术前基线资料比较(̄x±s)

组别	例数	年龄(岁)	球镜度(D)	SE(D)	CCT(μm)	散射光计量值
SMILE 组	64	22.70±5.60	-5.13±1.25	-5.55±1.23	551.78±24.10	0.91±0.16
FS-LASIK 组	63	23.30±4.14	-5.90±1.85	-5.84±1.90	540.48±31.55	0.89±0.18
<i>t</i>		-0.680	1.249	1.562	2.076	1.097
<i>P</i>		0.499	0.056	0.061	0.468	0.275

注:SE:等效球镜度;CCT:中央角膜厚度;SMILE:飞秒激光小切口基质透镜取出术;FS-LASIK:飞秒激光辅助准分子激光角膜原位磨镶术(独立样本 *t* 检验)

1.2 方法

1.2.1 术前检查 术前进行常规的眼科检查,包括裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视

力 (best corrected visual acuity, BCVA)、电脑验光、扩瞳检影、综合验光仪验光、眼前节裂隙灯显微镜检查、直接检眼镜检查,用 TF-x 型非接触式眼压计(日本 Canon 公司)进行眼压测量,应用 1.17r37 型 Pentacam 眼前节分析系统(德国 Oculus 公司)进行角膜地形图测量。

1.2.2 散射光计量值的测量 采用 C-Quant 散射光计量仪(Oculus GmbH,德国 Wetzlar 公司)进行散射光计量值的测量。检查均在同一自然光线下由同一有经验的医师操作完成。检查时,受检者采用双眼矫正视力以确保清晰注视测试区,双眼距目镜约 10 cm 以先右眼后左眼的顺序进行检测。受检者通过目镜注视仪器呈现的图像,判断中央测试区中 2 个半圆闪烁灯的闪烁频率并按动相应侧按钮进行应答。当 $Esd \leq 0.08$ 且 $Q \geq 1$ 时,表示测量结果可靠,记录 $\log(s)$ 值,每次每眼各记录 2 次合格结果。若结果差异较大,需再次进行测量,取相近 2 次结果的平均值。散射光计量值的差值是术后值减去术前的散射光计量值,正值表示散射光计量值升高,负值表示降低。

1.2.3 手术方法与术后处理 所有患者手术均由同一有经验的医师完成。术前常规用质量分数 0.3% 左氧氟沙星滴眼液点眼 2 d,术前常规结膜囊冲洗,眼周皮肤和组织消毒,质量分数 0.5% 盐酸丙美卡因滴眼液点眼表面麻醉。

1.2.3.1 FS-LASIK 采用 Visu Max 飞秒激光(德国 Carl Zeiss 公司)制作角膜瓣,设置角膜瓣的直径、厚度、形状、能量及瓣蒂的位置等参数。角膜瓣厚度根据患者情况设置为 90~105 μm ,角膜瓣蒂的位置位于上方,角度均为 50°,侧切角为 90°。飞秒激光扫描间距为 3.0 μm ,点间距为 3.0 μm ,侧切角的行间距均为 1.5 μm ,点间距为 1.5 μm 。制瓣后用 VISX S4 准分子激光仪(美国 VISX 公司)行基质激光切削,切削完毕后将角膜瓣复位,用 BSS 溶液冲洗角膜。术后用 0.3% 左氧氟沙星滴眼液和酮咯酸氨丁三醇滴眼液点眼 2 滴,眼罩覆盖。术后 3 d 用 0.3% 左氧氟沙星滴眼液点眼,每天 4 次,术后第 1 天开始质量分数 0.1% 氟米龙滴眼液点眼,每日 4 次,每 2 周递减 1 次,共用 2 个月。患者于术后 1 d、1 周、1 个月、3 个月、6 个月复查。

1.2.3.2 SMILE 基质透镜的制作采用 Visu Max 飞秒激光器完成,激光扫描频率为 500 KHz,小切口位于上方,弧度为 50°,侧切角度为 90°。负压吸引环压平固定眼球,对准中心后按预设的参数进行扫描,扫描顺序为基质内透镜的后表面、侧切面和前表面,并进行小切口的制作。透镜前表面和后表面的点间距为

3.0 μm ,透镜的侧切点间距为 2.5 μm ,小切口和帽的侧切点间距为 2.0 μm 。扫描完成后用显微铲先分离透镜前表面和上方角膜组织,再分离透镜后表面,将其游离后用显微镊取出。术后用药及随访同 FS-LASIK 患者。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计学软件进行统计分析。本研究眼中内散射光测量的数据资料经 Shapiro-Wilk 检验证实呈正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,术前 SMILE 组与 FS-LASIK 组组内左右眼间散射光计量值的比较采用配对 t 检验,2 个组术眼在不同时间点术眼散射光计量值的差异比较采用重复测量两因素方差分析,多重比较采用 LSD- t 检验。各组中术眼术后散射光计量值与手术参数的关系评估采用线性回归分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 SMILE 组与 FS-LASIK 组术眼术后不同时间散射光计量值的比较

2 个组术眼术前及手术后 1 周、1 个月、6 个月的散射光计量值均有一定的变化,术后 1 周时 FS-LASIK 组较 SMILE 组增加更为明显,随着时间的延长,2 个组散射光计量值均有所下降,但仍高于术前。2 个组术眼手术前后不同时间点间散射光计量值的差异均有统计学意义($F_{\text{时间}} = 7.550, P = 0.001$),其中 SMILE 组术眼术后 1 周、1 个月、6 个月散射光计量值与术前比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$),而 FS-LASIK 组术后 1 周、1 个月与术前比较,差异均有统计学意义($P = 0.000, 0.012$),术后 6 个月与术前比较差异无统计学意义($P = 0.137$),术后 1 周与 1 个月之间比较差异有统计学意义($P = 0.001$),但 2 个组间术眼散射光计量值的总体比较差异无统计学意义($F_{\text{分组}} = 0.077, P = 0.781$)(表 2)。

表 2 SMILE 组和 FS-LASIK 组术眼手术前后不同时间点散射光计量值的比较($\bar{x} \pm s, D$)

组别	眼数	不同时间点散射光计量值			
		术前	术后 1 周	术后 1 个月	术后 6 个月
SMILE 组	64	0.91±0.15	0.98±0.16	0.95±0.14	0.94±0.16
FS-LASIK 组	63	0.88±0.18	1.03±0.19 ^a	0.95±0.16 ^{bc}	0.94±0.18

注: $F_{\text{分组}} = 0.077, P = 0.781; F_{\text{时间}} = 7.550, P = 0.001; F_{\text{交互作用}} = 0.058, P = 0.180$ 。与 FS-LASIK 组内术前值比较,^a $P < 0.01, ^b P < 0.05$;与 FS-LASIK 组内术后 1 周值比较,^c $P < 0.01$ (重复测量两因素方差分析, LSD- t 检验) SMILE:飞秒激光小切口基质透镜取出术;FS-LASIK:飞秒激光辅助准分子激光角膜原位磨镶术

2.2 2 个组术眼手术前后不同时间散射光计量值变化量的比较

SMILE 组和 FS-LASIK 组术眼术后 1 周、1 个月和 6 个月散射光计量值与术前的变化量比较显示, 术后各时间点 FS-LASIK 组散射光计量值变化量均高于 SMILE 组。同时, 随着术后时间的延长, 2 个组散射光计量值的变化量均逐渐下降, 但 FS-LASIK 组在术后各时间点的散射光计量值变化量均高于 SMILE 组 ($F_{\text{时间}} = 8.558, P < 0.001$)。2 个组散射光计量值变化量的整体比较差异有统计学意义 ($F_{\text{分组}} = 14.789, P < 0.001$), 术后 1 周时 2 个组比较差异有统计学意义 ($P < 0.01$), 术后 1 个月、6 个月时差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$) (表 3)。

表 3 SMILE 组和 FS-LASIK 组术眼手术前后不同时间点散射光计量值变化量的比较 ($\bar{x} \pm s, D$)

组别	总眼数	不同时间点散射光计量值变化量 (术后散射光计量值-术前散射光计量值)		
		术后 1 周	术后 1 个月	术后 6 个月
SMILE 组	64	0.07±0.21	0.04±0.20	0.02±0.23
FS-LASIK 组	63	0.15±0.25 ^a	0.07±0.22	0.05±0.22

注: $F_{\text{分组}} = 14.789, P < 0.001$; $F_{\text{时间}} = 8.558, P < 0.001$; $F_{\text{交互作用}} = 1.261, P = 0.287$ 。与 SMILE 组术后 1 周值比较, ^a $P < 0.01$ (重复测量两因素方差分析, LSD-*t* 检验) SMILE: 飞秒激光小切口基质透镜取出术; FS-LASIK: 飞秒激光辅助准分子激光角膜原位磨镶术

2.3 2 个组手术后散射光计量值变化程度分布

术后 1 周、1 个月和 6 个月 SMILE 组分别有 2 眼、2 眼和 4 眼散射光计量值增加量 > 0.4 , 所占比例分别为 3%、3% 和 6% (图 1A)。术后早期仅 2 例 4 眼发生 0.5 级 haze (Fantes 分级法), 局部点用 0.1% 氟米龙滴眼液 1 个月后 haze 消失, 散射光计量值变化量分别为 -0.22、0.06、-0.07 和 0.05 D。而术后 1 周、1 个月和 6 个月 FS-LASIK 组分别有 11 眼、2 眼和 3 眼散射光计量值增加量 > 0.4 , 所占比例分别为 17%、3% 和 5% (图 1B)。同时, SMILE 组术后各时间点散射光计量值变化量较术前减少 (变化量 ≤ 0) 及低度增加者 ($0 < \text{变化量} \leq 0.2$) 所占比例明显高于 FS-LASIK 组, 而 FS-LASIK 组术后各时间点散射光计量值增加大于 0.2 以上者所占百分比显著高于 SMILE 组, 且术后 1 周及 1 年时散射光计量值增加量大于 0.4 以上者 FS-LASIK 组更为明显。2 例 3 眼于术后 1 周内出现弥漫性板层角膜炎 (diffuse lamellar keratitis, DLK), 程度分级均为 1 级, 散射光计量值变化量分别为 0.41、0.45 和 0.21 D, 术后 1 个月时散射光计量值变化量降至 0.16、

0.23 和 0.05 D。2 眼术后 1 周后出现 0.5 级 haze, 散射光计量值变化量分别为 0.08 D 和 0.05 D, 术后 1 个月时变化量分别为 0.07 D 和 0.02 D。1 眼于手术 1 个月时出现上皮内生, 散射光计量值较术前增加 0.12 D。

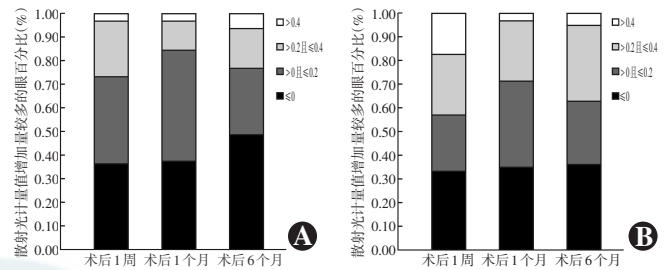


图 1 SMILE 组与 FS-LASIK 组术后散射光计量值增加量较多的眼百分比比较 A: SMILE 组 B: FS-LASIK 组

2.4 SMILE 组和 FS-LASIK 组术后散射光计量值与手术因素的关系

2.4.1 SMILE 组术后散射光计量值与手术因素的关系

SMILE 组术后眼内散射光计量值与术前 SE、CCT、帽直径、切削比均无相关性 (均 $P > 0.05$), 术后 1 周、1 个月、6 个月术眼眼内散射光计量值变化量与切削比均呈负相关 [$(R^2 = 0.123, P = 0.004, Y = 0.508 - 2.535 X)$ 、 $(R^2 = 0.145, P = 0.002, Y = 0.474 - 2.526 X)$ 、 $(R^2 = 0.098, P = 0.012, Y = 0.444 - 2.435 X)$] (图 2)。

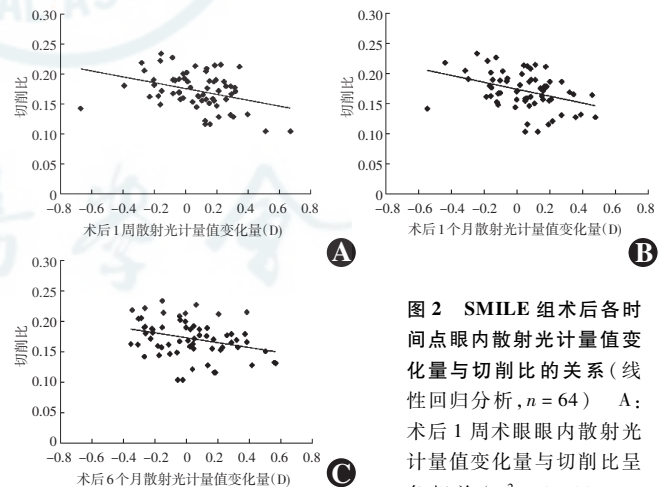


图 2 SMILE 组术后各时间点眼内散射光计量值变化量与切削比的关系 (线性回归分析, $n = 64$) A: 术后 1 周末眼眼内散射光计量值变化量与切削比呈负相关 ($R^2 = 0.123, P = 0.004, Y = 0.508 - 2.535 X$) B: 术后 1 个月眼内散射光计量值变化量与切削比呈负相关 ($R^2 = 0.145, P = 0.002, Y = 0.474 - 2.526 X$) C: 术后 6 个月眼内散射光计量值变化量与切削比呈负相关 ($R^2 = 0.098, P = 0.012, Y = 0.444 - 2.435 X$)

2.4.2 FS-LASIK 组术后散射光计量值与手术因素的关系

FS-LASIK 组术后眼内散射光计量值与术前 SE、CCT、瓣直径、切削比等均无明显相关性 (均 $P > 0.05$)。

3 讨论

人眼屈光介质是不均匀的光学介质,当光线通过人眼各屈光介质时会偏离原方向而分散传播,使视网膜成像模糊,对比度下降,视觉质量也随之下落,这种光学现象即为散射引起。正常情况下,眼内散射从出生起即存在,由于人的适应而不被感知^[6],其主要受角膜、晶状体等屈光介质透明度的变化及其表面规则性的影响,且以角膜源性散射为主。角膜屈光手术主要通过切削角膜组织而达到矫治屈光不正的目的,因此,术后角膜厚度及组织结构形态等均有所变化。以往的研究证实,角膜屈光手术后早期散射多有增加^[7-8],我们既往的研究也证实了这一点^[9-12]。散射的增加往往引起光晕、眩光、星芒、夜间视力及对比敏感度下降等多种视觉不适,严重影响屈光手术后的视觉质量。飞秒激光角膜屈光手术是屈光手术的一个新阶段,其矫治近视及近视散光的安全性、有效性、可预测性等已得到证明^[13],但术后视觉质量的研究仍处于探索阶段。本研究对比分析 SMILE 与 FS-LASIK 术后散射光计量值的变化情况,以期对 2 种术式术后术眼的光学成像质量加以评估。

FS-LASIK 主要以飞秒激光代替机械刀制作角膜瓣,用准分子激光进行基质切削来矫治屈光不正,SMILE 则无需制作角膜瓣,直接以飞秒激光在基质内进行透镜形状的切削,并通过上方约 3 mm 的微切口将透镜取出而达到矫治屈光不正的目的,后者更好地保留了角膜的组织结构和表面形态,理论上术后视觉质量应更好。本研究结果证明,SMILE 组术后散射变化不明显,基本与术前相同,而 FS-LASIK 组术后散射明显增加,且早期尤为显著,考虑主要与角膜愈合反应、基质床表面不规则及术后角膜光密度不同有关。

角膜伤口愈合过程可改变角膜正常的纤维排列方式,粗大而排列紊乱的胶原纤维可改变光线的传播方向,再加上炎性细胞堆积、晶状体蛋白减少,其对光线的通透性也随之下落,最终导致散射的明显增加。Riau 等^[14]研究显示,FS-LASIK 较飞秒激光基质透镜取出术向周围组织传输能量高,因此伤口愈合反应更强烈。薄瓣 LASIK 制作角膜瓣过程中,飞秒激光组织光爆破作用可损伤邻近的上皮层及基底层,从而加大 haze 发生的可能^[15]。同时,有研究也证明飞秒激光制瓣 LASIK 术后炎症反应剧烈,DLK 及瓣边缘 DLK 较为显著^[16],而 haze 及 DLK 均在一定程度上影响了角膜的透明性,从而使散射增加。SMILE 无需制作角膜瓣,上述情况很少发生,且 SMILE 相对能量较低,可减

少角膜炎症反应及基质重塑^[17],Dong 等^[18]以家兔为研究对象,对比了 SMILE 与 FS-LASIK 术后角膜伤口愈合及炎症反应,证实 SMILE 较少诱发角膜细胞凋亡,组织增生及炎症反应较轻。本研究中 FS-LASIK 组有 2 例 3 眼出现 1 级 DLK,2 眼出现 haze,并有 1 眼出现上皮内生,散射均有不同程度增加,而 SMILE 组仅 2 例 4 眼出现 0.5 级 haze,且 2 例均为 SMILE 早期病例,但均未对散射造成影响。同时,本研究还显示 FS-LASIK 组与 SMILE 组术后散射光计量值与角膜帽直径均无相关性,考虑与帽直径大小不影响角膜帽黏附力在角膜各个方向的平均分布相关^[19]。此外,与角膜组织对不同能量的飞秒激光反应有所不同有关,较低的能量可以降低术后炎症反应的发生,减少 DLK 的发生^[20],而本研究中 FS-LASIK 组能量平均高于 SMILE 组,因此术后炎症反应造成的散射增加可能性相对较大。

研究证明,角膜基质床表面的规则性与术后屈光状态及视觉效果密不可分^[21],基质床表面的不规则性可影响光线的分布,从而诱发射散及像差。准分子激光脉冲激光为纳秒级,消融所产生的光斑较大,很难达到较为准确的组织切削。有研究显示,准分子激光作用于角膜基质后,热损伤诱发基质胶原纤维的横向收缩而使残余基质呈横向收缩状态,致表面粗糙不平^[22],这些均导致角膜瓣与基质床之间在解剖与生理上难以达到完全黏合,术后角膜屈光指数不一,从而引起散射的增加。飞秒激光的脉冲为飞秒级,脉宽相对窄,组织切削更精确^[23],且其主要通过光爆破作用对角膜组织进行切削,切削深度及形状精确可控,切削面光滑平整^[24];此外,角膜帽与残余角膜基质均由飞秒激光切削,解剖与生理变化十分相似,角膜帽与基质黏合较为紧密;扫描电子显微镜分析取出的透镜可见胶原纤维保存完好且排列规整,以上均对光线的分布影响较小,因此 SMILE 术后散射无明显变化。另外,本研究显示 SMILE 组术后各时间段,散射光计量值较术前减小者所占比例均高于 FS-LASIK 组,且 SMILE 组术后散射光计量值显著增高者比例非常低,同时证明 SMILE 术后散射光计量值与切削比呈负相关,即在一定范围内切削的基质越多,术后角膜相对越薄,散射光计量值即相对越小。证明 SMILE 术后角膜光学介质均匀性破坏极小,且部分患者由于透镜取出后角膜厚度相对变薄,对光线的偏折作用削弱且不受飞秒激光作用后结构改变的影响,散射较术前有所下降,而 FS-LASIK 术后尽管也有角膜厚度变薄,但是基质床表面的不规则可能抵消了这部分散射的减少。

研究还发现,散射还与角膜细胞密度及光密度有明显关系。术后中央角膜上皮层的增厚和角膜瓣与基质床之间的细胞密度降低均可使角膜屈光指数不均。Nieto-Bona 等^[25] 研究显示, LASIK 术后角膜细胞密度减小,散射随之增加,推测者也是 FS-LASIK 术后散射增加的原因。我们之前的研究显示,散射与角膜光密度呈正相关^[26],但有关 SMILE 与 FS-LASIK 术后角膜光密度变化对散射的影响仍在探索中。

综上所述, SMILE 由于受其独特手术方式的影响,术后散射较术前变化不明显,而 FS-LASIK 因仍需制作角膜瓣,角膜瓣相关的角膜伤口愈合反应相对明显,且准分子激光切削致基质床表面不规则等弊端均使术后散射有所增加。然而,影响散射变化的因素多样,其机制仍需进一步探讨。

参考文献

- [1] Netto MV, Mohan RR, Medeiros FW, et al. Femtosecond laser and microkeratome corneal flaps: comparison of stromal wound healing and inflammation [J]. *J Refract Surg*, 2007, 23 (7) : 667-676.
- [2] Buzzonetti L, Petrocelli G, Valente P, et al. Comparison of corneal aberration changes after laser in situ keratomileusis performed with mechanical microkeratome and IntraLase femtosecond laser: 1-year follow-up [J]. *Cornea*, 2008, 27 (2) : 174-179. doi: 10. 1097/ICO. 0b013e31815a50bf.
- [3] 王雁, 鲍锡柳, 汤欣, 等. 飞秒激光角膜微小切口基质透镜取出术矫正近视及近视散光的早期临床研究 [J]. *中华眼科杂志*, 2013, 49 (4) : 292-298. doi: 10. 3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2013. 04. 002.
- [4] Montés-Micó R, Rodríguez-Galietero A, Alió JL. Femtosecond laser versus mechanical keratome LASIK for myopia [J]. *Ophthalmology*, 2007, 114 (1) : 62-68.
- [5] Calvo R, McLaren JW, Hodge DO, et al. Corneal aberrations and visual acuity after laser in situ keratomileusis: femtosecond laser versus mechanical microkeratome [J]. *Am J Ophthalmol*, 2010, 149 (5) : 785-793. doi: 10. 1016/j. ajo. 2009. 12. 023.
- [6] van den Berg TJ. On the relation between glare and straylight [J]. *Doc Ophthalmol*, 1991, 78 (3-4) : 177-181.
- [7] Lapid-Gortzak R, van der Linden JW, van der Meulen I, et al. Straylight measurements in laser in situ keratomileusis and laser-assisted subepithelial keratectomy for myopia [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2010, 36 (3) : 465-471. doi: 10. 1016/j. jcrs. 2009. 10. 029.
- [8] Rozema JJ, Coeckelbergh T, Van den Berg TJ, et al. Straylight before and after LASEK in myopia: changes in retinal straylight [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2010, 51 (5) : 2800-2804. doi: 10. 1167/iovs. 09-4679.
- [9] 李晶, 王雁, 左彤, 等. 准分子激光角膜屈光手术后散射的变化及其相关影响因素分析 [J]. *中华眼科杂志*, 2011, 47 (7) : 589-595. doi: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2011. 07. 004.
- [10] Li J, Wang Y. Characteristics of straylight in normal young myopic eyes and changes before and after LASIK [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52 (6) : 3069-3073. doi: 10. 1167/iovs. 10-6270.
- [11] 刘洋辰, 王雁, 李晶, 等. 飞秒激光角膜原位磨镶术手术前后散射变化及其影响因素分析 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2012, 30 (12) : 1096-1099. doi: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2012. 12. 012.
- [12] Wang Y, Li J, Liu Y, et al. Intraocular straylight after thin-flap LASIK with a femtosecond laser versus a mechanical microkeratome [J]. *J Refract Surg*, 2013, 29 (8) : 534-539. doi: 10. 3928/1081597X-20130719-03.
- [13] Vestergaard A, Ivarsen AR, Asp S, et al. Small-incision lenticule extraction for moderate to high myopia: Predictability, safety, and patient satisfaction [J]. *J Cataract Refract Surg*, 2012, 38 (11) : 2003-2010. doi: 10. 1016/j. jcrs. 2012. 07. 021.
- [14] Riau AK, Angunawela RI, Chaurasia SS, et al. Early corneal wound healing and inflammatory responses after refractive lenticule extraction (ReLEx) [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52 (9) : 6213-6221. doi: 10. 1167/iovs. 11-7439.
- [15] Rocha KM, Kagan R, Smith SD, et al. Thresholds for interface haze formation after thin-flap femtosecond laser in situ keratomileusis for myopia [J]. *Am J Ophthalmol*, 2009, 147 (6) : 966-972. doi: 10. 1016/j. ajo. 2009. 01. 010.
- [16] Lim T, Yang S, Kim M, et al. Comparison of the IntraLase femtosecond laser and mechanical microkeratome for laser in situ keratomileusis [J]. *Am J Ophthalmol*, 2006, 141 (5) : 833-839.
- [17] Netto MV, Mohan RR, Medeiros FW, et al. Femtosecond laser and microkeratome corneal flaps: comparison of stromal wound healing and inflammation [J]. *J Refract Surg*, 2007, 23 (7) : 667-676.
- [18] Dong Z, Zhou X, Wu J, et al. Small incision lenticule extraction (SMILE) and femtosecond laser LASIK: comparison of corneal wound healing and inflammation [J]. *Br J Ophthalmol*, 2014, 98 (2) : 263-269. doi: 10. 1136/bjophthalmol-2013-303415.
- [19] Zhang YL, Liu L, Cui CX, et al. Comparative study of visual acuity and aberrations after intralase femtosecond LASIK: small corneal flap versus big corneal flap [J]. *Int J Ophthalmol*, 2013, 6 (5) : 641-645. doi: 10. 3980/j. issn. 2222-3959. 2013. 05. 16.
- [20] 魏升升, 王雁, 王璐, 等. 飞秒激光制作角膜瓣对猪眼角膜表面特征的影响 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2013, 31 (6) : 524-528. doi: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2013. 06. 002.
- [21] Heichel J, Blum M, Duncker GI, et al. Surface quality of porcine corneal lenticules after femtosecond lenticule extraction [J]. *Ophthalmic Res*, 2011, 46 (2) : 107-112. doi: 10. 1159/000323814.
- [22] McCafferty SJ, Schwiegerling JT, Enikov ET. Corneal surface asphericity, roughness, and transverse contraction after uniform scanning excimer laser ablation [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2012, 53 (3) : 1296-1305. doi: 10. 1167/iovs. 11-9267.
- [23] Miclea M, Skrzypczak U, Fankhauser F, et al. Applanation-free femtosecond laser processing of the cornea [J]. *Biomed Opt Express*, 2011, 2 (3) : 534-542. doi: 10. 1364/BOE. 2. 000534.
- [24] Soong HK, Malta JB. Femtosecond lasers in ophthalmology [J]. *Am J Ophthalmol*, 2009, 147 (2) : 189-197. doi: 10. 1016/j. ajo. 2008. 08. 026.
- [25] Nieto-Bona A, Lorente-Velázquez A, Collar CV, et al. Intraocular straylight and corneal morphology six months after LASIK [J]. *Curr Eye Res*, 2010, 35 (3) : 212-219. doi: 10. 3109/02713680903470548.
- [26] 武志清, 王雁, 张琳, 等. 健康人眼角膜光密度分析及与眼内散射光的相关性研究 [J]. *中华眼科杂志*, 2014, 50 (1) : 20-26. doi: 10. 3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2014. 01. 006.

(收稿日期: 2014-07-23)

(本文编辑: 刘艳)