

SMILE 与 LASIK 矫正低中度散光效果的 矢量分析和比较

张佳媚 王雁 陈晓琴 李晓晶 徐路路 窦瑞

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

DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2016. 05. 010

【摘要】 **背景** 小切口角膜微透镜取出术 (SMILE) 术中无准分子激光虹膜跟踪技术, 故矫正散光的效果存在争议, 了解其矫正近视散光的效果将对临床有一定的指导意义。 **目的** 探讨 SMILE 与飞秒激光辅助的准分子激光角膜原位磨镶术 (FS-LASIK) 矫正低中度近视散光的临床效果。 **方法** 采用回顾性研究设计。纳入 2013 年 12 月至 2014 年 7 月在天津市眼科医院分别接受 SMILE 的患者 51 例 95 眼及同期接受 FS-LASIK 的低中度近视散光患者 40 例 69 眼, SMILE 组与 FS-LASIK 组间术前球镜度、柱镜度和等效球镜度 (SE) 的差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。术眼于术前及术后 1 d、1 周、1 个月、3 个月均检查裸眼视力 (UCVA)、最佳矫正视力 (BCVA), 并进行显然验光、裂隙灯显微镜检查、眼压测量及角膜地形图测量。利用矢量分析法计算 2 种手术方式术前及术后残余散光的分布情况, 并选取矫正指数 (CI)、成功指数 (IOS)、误差角 (AofE) 和变平指数 (FI) 等指标评价散光的矫正效果, 以安全性指数、有效性指数作为评价视力恢复程度的指标, 对 2 个组间疗效指标的差异进行比较, 对术前 Kappa 角与各参数之间的关系进行分析。 **结果** SMILE 组术后球镜度、柱镜度和 SE 分别为 (0.003 ± 0.106) 、 (-0.063 ± 0.126) 和 (-0.029 ± 0.101) D, FS-LASIK 组分别为 (0.112 ± 0.212) 、 (-0.091 ± 0.142) 和 (0.067 ± 0.198) D, SMILE 组术后球镜度和 SE 均明显低于 FS-LASIK 组, 差异均有统计学意义 ($Z = -4.328, -3.197$, 均 $P < 0.05$)。矢量计算结果显示, SMILE 组术后以顺规散光为主, 而 FS-LASIK 组术后则以斜轴散光为主, SMILE 组术后 CI 和 FI 均明显低于 FS-LASIK 组, 差异均有统计学意义 ($Z = -3.051, -3.126$, 均 $P < 0.05$), SMILE 组术后 CI 略低于 1, 而 FS-LASIK 组术后 CI 略高于 1。SMILE 组 IOS 和 AofE 小于 FS-LASIK 组, 但差异均无统计学意义 ($Z = -1.557, P = 0.119; Z = -1.923, P = 0.054$)。2 个组中术眼术后的安全性指数和有效性指数差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$)。SMILE 组安全性指数和有效性指数与术前 Kappa 角的偏移量均呈负相关 ($r = -0.258, -0.257$, 均 $P < 0.05$)。 **结论** SMILE 和 FS-LASIK 均能有效矫正低中度近视散光, 术后均能达到预期视力。SMILE 手术切口的愈合反应轻于 FS-LASIK, 故术后残余散光轴向偏差小。SMILE 术后散光呈欠矫趋势, 术者可根据经验适当增加散光矫正度。

【关键词】 角膜外科手术; 飞秒激光; 近视; 散光; 矢量分析; 飞秒激光小切口角膜微透镜取出术
基金项目: 国家自然科学基金项目 (81470658)

Vector analysis and comprison of small incision lenticule extraction versus laser in-situ keratomileusis for low to moderate myopic astigmatism Zhang Jiamei, Wang Yan, Chen Xiaoqin, Li Xiaojing, Xu Lulu, Dou Rui

Clinical College of Ophthalmology, Tianjin Medical University, Tianjin Eye Hospital, Tianjin Key Laboratory of Ophthalmology and Vision Science, Tianjin Eye Institute, Tianjin 300020, China

Corresponding author: Wang Yan, Email: wangyan7143@vip. sina. com

【Abstract】 **Background** Small incision lenticule extraction (SMILE) is lack of eye-tracking system and there is controversy in the treatment of astigmatism. It is very important to understand its correction effectiveness for myopic astigmatism. **Objective** This study was to evaluate the clinical outcomes in the correction of myopic astigmatism between SMILE and femtosecond laser assisted laser in situ keratomileusis (FS-LASIK). **Methods** In this retrospective study, 95 eyes of 51 patients and 69 eyes of 40 patients with myopic astigmatism underwent the SMILE surgery and FS-LASIK surgery respectively in Tianjin Eye Hospital from December 2013 to July 2014 under the informed consent. No significant differences were found in spherical power, astigmatic power and spherical equivalent (SE) between the SMILE group and FS-LASIK group before surgery (all at $P > 0.05$). The uncorrected visual acuity (UCVA), best corrected visual acuity (BCVA), manifest refraction, slit-lamp microscopy, intraocular pressure and corneal topography were measured before surgery and 1 day, 1 week, 1 month, 3 months after surgery. Vector analysis was used to calculate the components of astigmatism before and after surgery. Correction index (CI), index of success (IOS), angle of error (AofE) and flattening index (FI) were used to evaluate the correction

effectiveness of astigmatism. Safety index and efficacy index were used to evaluate the recovery status of visual acuity. The corrected effectiveness was compared between the two groups, and the correlations of kappa angle with measured parameter were assessed by Spearman rank correlation analysis. **Results** The mean spherical power, astigmatic power and SE were (0.003 ± 0.106) , (-0.063 ± 0.126) and (-0.029 ± 0.101) D in the SMILE group, which were significantly lower than (0.112 ± 0.212) , (-0.091 ± 0.142) and (0.067 ± 0.198) D in the FS-LASIK group ($Z = -4.328, -3.197$, both at $P < 0.05$). Vector analysis showed the postoperative with-the-rule astigmatism in the SMILE group and oblique astigmatism in the FS-LASIK group respectively, and the CI and FI in the SMILE group were significantly lower than those in the FS-LASIK group ($Z = -3.051, -3.126$, both at $P < 0.05$). The insignificant reduce in IOS and AofE were seen in the SMILE group compared with the FS-LASIK group ($Z = -1.557, P = 0.119$; $Z = -1.923, P = 0.054$). In addition, the safety index and efficacy index were not significantly different between the two groups (both at $P > 0.05$). Negative correlations were found between safety index or efficacy index and preoperative kappa angle in the SMILE group ($r = -0.258, -0.257$, both at $P < 0.05$). **Conclusions** Both SMILE and FS-LASIK surgeries are effective and safe in correcting myopic astigmatism with good postoperative visual acuity. SMILE surgery shows less axis rotation and higher accuracy than FS-LASIK because of small incision and flapless procedure. The correction of cylinder can adjust based on experience of surgeon.

[**Key words**] Cornea/surgery; Femtosecond laser; Myopia; Astigmatism; Vector analysis; Small incision lenticule extraction

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81470658)

自飞秒激光技术应用于角膜屈光手术领域以来,以飞秒激光代替传统机械刀法制作角膜瓣的飞秒激光辅助的准分子激光角膜原位磨镶术(femtosecond laser assisted laser in situ keratomileusis, FS-LASIK)大大减少了角膜瓣相关的并发症,提高了术后的矫正效果^[1-3]。随着技术的进一步发展,飞秒激光已经可以同时完成角膜瓣的制作和角膜基质的切除, Sekundo 等^[4]首次报道了飞秒激光基质透镜取出术(femtosecond lenticule extraction, FLEx)。Shah 等^[5]报道了飞秒激光小切口角膜微透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE),对角膜的创伤变得更小^[6-8]。SMILE 术式由于缺乏准分子激光的虹膜跟踪技术,理论上不利于散光的矫正,因此对于 SMILE 矫正散光的效果一直存在争议。矢量分析法是将既有大小又有方向的散光作为矢量,并可将散光分解为水平和垂直方向,从而计算其矫正程度^[9-11]。既往对 SMILE 矫正近视散光的疗效评价多侧重于其在等效球镜度(spherical equivalent, SE)的矫正水平,对于其对散光的矫正效果也仅考虑了其大小和程度的变化,忽略散光轴向变化对矫正效果的影响,而实际上轴向是否准确是评价散光矫正准确性的重要指标。本研究中依据矢量分析方法观察 SMILE 与 FS-LASIK 矫正散光的疗效,同时对 2 种术式的视力恢复情况及可预测性进行比较。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用回顾性研究设计。纳入 2013 年 12 月至 2014 年 7 月于天津市眼科医院屈光手术中心接受角膜屈光手术治疗的近视散光患者 91 例 164 眼,患者自愿选择

SMILE 或 FS-LASIK。SMILE 组 51 例 95 眼,其中男 23 例 44 眼,女 28 例 51 眼;年龄 18 ~ 37 岁,平均 (24 ± 6) 岁;术前球镜度为 $-1.25 \sim -9.00$ D,术前柱镜度为 $-0.25 \sim -2.00$ D。FS-LASIK 组 40 例 69 眼,其中男 18 例 34 眼,女 22 例 35 眼;年龄 18 ~ 32 岁,平均 (23 ± 4) 岁;术前球镜度为 $-1.50 \sim -9.25$ D,柱镜度为 $-0.25 \sim -2.25$ D。SMILE 组和 FS-LASIK 组间患者屈光度参数的比较差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$) (表 1)。

表 1 SMILE 组和 FS-LASIK 组术前屈光度的比较($\bar{x} \pm s, D$)

组别	眼数	球镜度	柱镜度	SE
SMILE	95	-4.958 ± 1.578	-0.755 ± 0.491	-5.336 ± 1.554
FS-LASIK	69	-4.638 ± 1.918	-0.739 ± 0.466	-5.007 ± 1.945
<i>t</i>		-1.135	-0.212	-1.159
<i>P</i>		0.258	0.832	0.249

注: SMILE: 小切口角膜微透镜取出术; FS-LASIK: 飞秒激光辅助的准分子激光角膜原位磨镶术; SE: 等效球镜度(独立样本 *t* 检验)

1.2 术前检查

所有患者术前检查包括裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)、裂隙灯显微镜眼前节检查、检眼镜检查、扩瞳验光和角膜地形图检查,并采用非接触眼压计(日本 Topcon 公司)测量眼压。病例选择标准:(1)患者年龄在 18 岁以上,屈光度数稳定 2 年以上。(2)角膜透明,形态正常,无角膜扩张倾向。(3)中央角膜厚度大于 500 μm 。(4)眼压 < 21 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa)。(5)软性角膜接触镜停戴 2 周以上,硬性角膜接触镜需停戴 1 个月以上。(6)无其他眼部疾患、全身器质性病变及自身免疫性疾病。所有患者均于术前签署角膜屈光手术知情同意书。

1.3 手术方法

术前术眼进行结膜囊冲洗及眼周消毒,用质量分数 0.4% 盐酸奥布卡因滴眼液点眼 2 次行表面麻醉,所有手术均由同一名经验丰富的医师完成。

1.3.1 SMILE 采用 Visu Max 飞秒激光系统(德国 Carl Zeiss 公司)行 SMILE,飞秒激光脉冲频率为 500 kHz,脉冲能量为 115 nJ,设定激光切削点间距为 2~3 μm 。术中嘱患者注视正上方固视灯,依据瞳孔中心进行定位,中心定位良好并与负压环相匹配时启动负压吸引开始激光扫描。飞秒激光依次扫描微透镜的下表面、侧面、上表面以及切口,术中所制作的透镜直径设为 6.0~6.5 mm,对存在散光的患者其过渡带设为 0.1 mm;角膜帽厚度设为 110 μm ,直径为 7 mm;基底部厚度均为 10 μm 。切口均位于角膜正上方,宽度为 3 mm。激光扫描完成后解除负压,分离透镜并取出。

1.3.2 FS-LASIK 飞秒激光系统制作角膜瓣的方法同 1.3.1。嘱患者注视固视灯,术者依据瞳孔中心进行定位,中心定位良好并与负压环相匹配时启动负压吸引,中心定位准确且无结膜干扰后启动负压,发射激光。角膜瓣厚度设为 110 μm ,直径为 8 mm,角膜瓣蒂部位于鼻侧。激光扫描完成后移除负压吸引环,分离并掀起角膜瓣,用准分子激光切削,切削光学区直径设为 6.5 mm,角膜瓣下冲洗并复位角膜瓣。

术后立即用质量分数 0.3% 左氧氟沙星滴眼液联合质量分数 0.5% 酮咯酸氨丁三醇滴眼液点眼。术后第 1 天应用 0.3% 左氧氟沙星滴眼液点眼,每日 4 次,连续 3 d,同时用质量分数 0.1% 氟米龙滴眼液点眼,每日 4 次,每 2 周递减 1 次,连续点眼 2 个月。

1.3.3 术后评价指标 所有患者分别于术后 1 d、1 周、1 个月、3 个月复查视力、屈光度、角膜曲率和眼压,并选取 3 个月时的观察结果进行分析。主觉验光均由经验丰富的验光师在相同条件下进行,验光结果均表示为负柱镜形式。采用 Alpíns^[9-10] 矢量分析评价指标进行评估:(1) 预期矫正散光(target induced astigmatism, TIA)是手术需要矫正的术前散光量,一般为术前验光柱镜值。(2) 手术矫正散光(surgical induced astigmatism, SIA)即手术中实际矫正的散光。(3) 误差矢量(difference vector, DV)指手术未矫正的散光,即术后残留的散光柱镜值。(4) 矫正指数(correction index, CI)即 SIA 与 TIA 的比值。(5) 成功指数(index of success, IOS)即 DV 与 TIA 的比值。(6) 误差角(angle of error, AofE)即实际矫正的散光轴向与预期矫正散光轴向的角度矢量偏差。(7) 变平指数(flattening index, FI)指在预期矫正的散光方向上手术

实际矫正的散光大小与预期矫正散光大小的比值。散光各矢量间的关系见图 1。同时应用 Thibos 交叉柱镜分解法计算 2 种手术方式术前及术后的散光分量^[11]。根据 Thibos 交叉柱镜分解法,当 J_0 为正值表示散光轴向在 180° 方向,当 J_0 为负值表示散光轴向在 90° 方向,当 J_{45} 为正值表示散光轴向在 45° 方向,当 J_{45} 为负值表示散光轴向在 135° 方向。手术的有效性指数为术后 UCVA 与术前 BCVA 比值,安全性指数即术后 BCVA 与术前 BCVA 比值。应用 Pentacam 眼前节分析仪(德国 Oculus 公司)测量 Kappa 角偏移量,以瞳孔中心和角膜顶点的相对位置计算 Kappa 角偏移量(mm)。对 2 种术式的预测性进行分析。

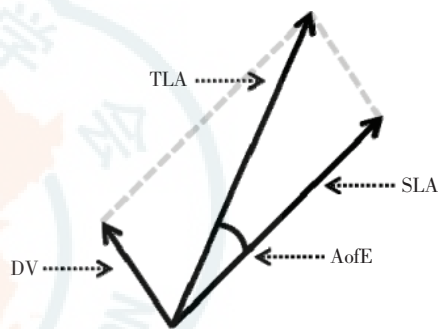


图 1 散光各矢量及其关系的示意图 TIA: 预期矫正散光; SIA: 手术矫正散光; DV: 误差矢量; AofE: 误差角

1.4 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计学软件进行统计分析。本研究中测量指标的数据资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。SMILE 组与 FS-LASIK 组间术前球镜度、SE、柱镜度的差异比较应用独立样本 t 检验,术后屈光度、安全性指数、有效性指数、术前与术后散光分量、CI、IOS、AofE、FI 的差异比较均应用 Mann-Whitney 检验。SMILE 组患者安全性指数和有效性指数与术前 Kappa 角偏移量的关系分析采用 Spearman 秩相关分析,并对相关系数进行假设检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 2 个组患者术后视力及屈光度的比较

SMILE 组术眼术后球镜度为 -0.25~0.50 D,柱镜度为 0~-0.50 D,SE 为 -0.25~0.25 D。FS-LASIK 组术眼术后球镜度为 -0.25~1.00 D,柱镜度为 0~-0.50 D,SE 为 -0.25~0.88 D。SMILE 组术眼术后球镜度和 SE 均明显低于 FS-LASIK 组,差异均有统计学意义($Z = -4.328, -3.197$, 均 $P < 0.05$) (表 2)。术眼术后 UCVA 均 $\geq 20/25$,2 个组患者术后 BCVA 均未下降。术后 SMILE 组术眼的球镜度为 -0.50~0.50 D,94 眼的球镜度为 -0.25~0.25 D,占 98.95%;92 眼柱

镜度 < -0.25 D, 占 96.84%。FS-LASIK 组 67 眼的球镜度为 -0.50 ~ 0.50 D, 占 97.10%; 64 眼球镜度为 -0.25 ~ 0.25 D, 占 92.75%; 66 眼柱镜度为 < -0.25 D, 占 95.65%。球镜和柱镜矫正效果预测性图均显示, FS-LASIK 组术眼术后均呈过矫趋势 (球镜: $Y = 1.036X - 0.057$; 柱镜: $Y = 1.066X - 0.016$), 而 SMILE 组术眼表现为全矫状态 (球镜: $Y = 0.989X + 0.055$; 柱镜: $Y = 0.956X + 0.004$) (图 2)。

表 2 SMILE 组和 FS-LASIK 组术后屈光度的比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	眼数	球镜度(D)	柱镜度(D)	SE(D)	安全性指数	有效性指数
SMILE	95	0.003±0.106	-0.063±0.126	-0.029±0.101	1.149±0.150	1.135±0.154
FS-LASIK	69	0.112±0.212	-0.091±0.142	0.067±0.198	1.173±0.136	1.158±0.137
Z		-4.328	-1.387	-3.197	-1.317	-1.291
P		0.000	0.165	0.001	0.188	0.197

注: SMILE: 小切口角膜微透镜取出术; FS-LASIK: 飞秒激光辅助的准分子激光角膜原位磨镶术; SE: 等效球镜度 (Mann-Whitney 检验)

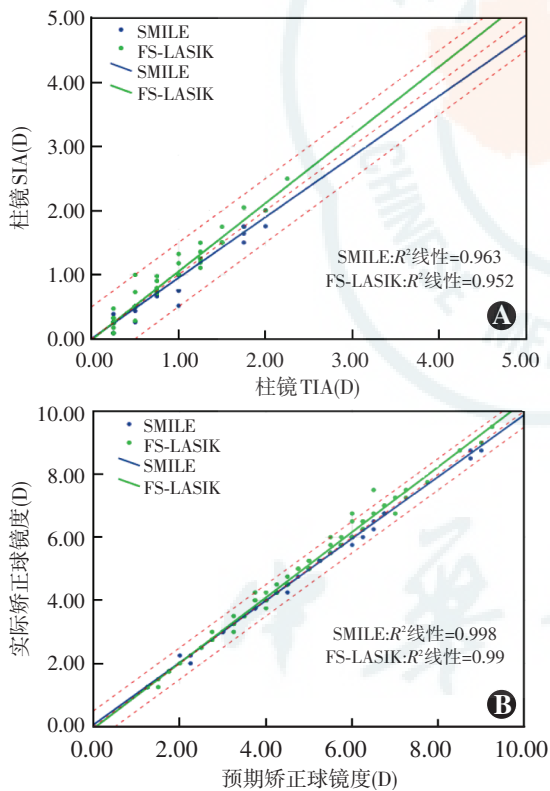


图 2 SMILE 组和 FS-LASIK 组预测性比较 A: SMILE 组和 FS-LASIK 组柱镜预测性 B: SMILE 组和 FS-LASIK 组球镜预测性 红色虚线代表 ±0.50 D SMILE: 小切口角膜微透镜取出术; FS-LASIK: 飞秒激光辅助的准分子激光角膜原位磨镶术; TIA: 预期矫正散光; SIA: 手术矫正散光

2.2 2 个组术眼术后散光的比较

散光分布的倍角矢量图显示, SMILE 组术前散光的分布坐标平均为 (0.560, -0.070), FS-LASIK 组术前散光分布坐标平均为 (0.550, -0.010), 2 个组均以顺规散光为主。术后 SMILE 组散光分布坐标平均为

(0.020, -0.005), FS-LASIK 组散光分布坐标平均为 (-0.003, 0.020) (图 3)。SMILE 组术后残余散光主要体现在 J_0 分量, 即轴向为水平或垂直方向的负柱镜; 而 FS-LASIK 组术后残余散光主要体现在 J_{45} 分量, 即轴向为 45° 或 135° 的斜轴散光。SMILE 组和 FS-LASIK 组间术后残余散光度比较, 差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$) (表 3)。

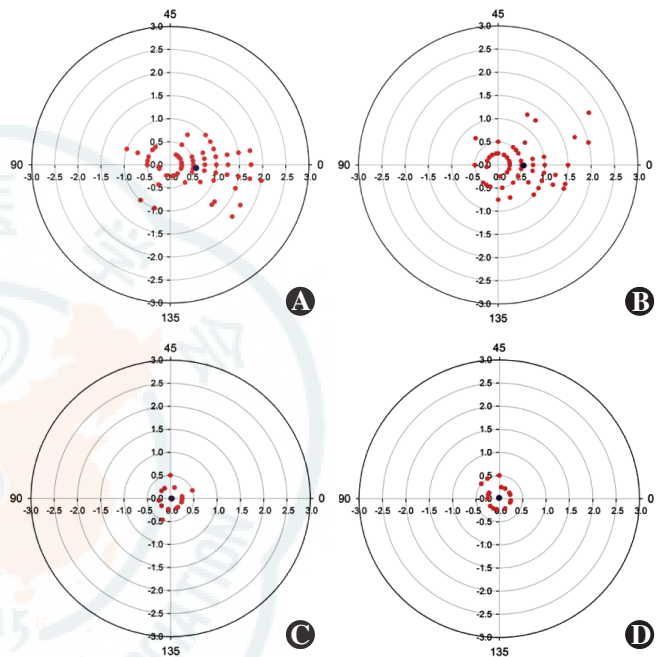


图 3 SMILE 组和 FS-LASIK 组术前及术后散光倍角矢量图 A: SMILE 组术前 TIA B: FS-LASIK 组术前 TIA C: SMILE 组术后 DV D: FS-LASIK 组术后 DV 红点代表各个术眼的散光矢量坐标, 黑点代表全部术眼平均散光矢量坐标

表 3 SMILE 组和 FS-LASIK 组术前及术后散光分量的比较 ($\bar{x} \pm s, D$)

组别	眼数	术前		术后	
		J_0	J_{45}	J_0	J_{45}
SMILE	95	0.280±0.312	-0.036±0.164	0.012±0.051	-0.002±0.047
FS-LASIK	69	0.275±0.283	-0.006±0.190	-0.002±0.058	0.008±0.060
Z		-0.133	-0.313	-1.073	-1.647
P		0.894	0.755	0.283	0.100

注: SMILE: 小切口角膜微透镜取出术; FS-LASIK: 飞秒激光辅助的准分子激光角膜原位磨镶术 (Mann-Whitney 检验)

2.3 2 个组术眼术后散光矫正评价指标的比较

SMILE 组和 FS-LASIK 组术后散光的 CI 均接近于 1, 但 SMILE 组矫正散光 CI 略低于 1, 而 FS-LASIK 组 CI 大于 1, 差异有统计学意义 ($Z = -3.051, P = 0.002$)。SMILE 组矫正散光 IOS 小于 FS-LASIK 组, 即 SMILE 组术眼残余散光度小于 FS-LASIK 组, 差异无统计学意义 ($Z = -1.557, P = 0.119$)。SMILE 组矫正散光轴向的 AofE 小于 FS-LASIK 组, 但差异无统计学意义 ($Z = -1.923, P = 0.054$)。术眼的 FI 显示, 在

TIA 的方向上 SMILE 组的 FI 小于 1, 而 FS-LASIK 组的 FI 大于 1, 与 CI 的改变趋势一致, 差异有统计学意义 ($Z = -3.126, P = 0.002$) (表 4)。SMILE 组安全性指数和有效性指数与术前 Kappa 角的偏移量均呈负相关 ($r = -0.258, P = 0.012; r = -0.257, P = 0.012$); FS-LASIK 组术后安全性指数和有效性指数与术前 Kappa 角的偏移量均无明显相关性 ($r = 0.167, P = 0.171; r = 0.162, P = 0.193$) (图 4)。SMILE 组和 FS-LASIK 组术眼的散光 CI、IOS、AoE 及 FI 均与术前 Kappa 角偏移量无相关性 (均 $P > 0.05$)。

表 4 SMILE 组和 FS-LASIK 组术后 3 个月散光矫正评价指标的比较 ($\bar{x} \pm s$)

组别	眼数	CI	IOS	AoE	FI
SMILE	95	0.965±0.158	0.096±0.158	2.151±6.881	0.960±0.159
FS-LASIK	69	1.035±0.230	0.166±0.312	3.754±8.902	1.025±0.236
Z		-3.051	-1.557	-1.923	-3.126
P		0.002	0.119	0.054	0.002

注: SMILE: 小切口角膜微透镜取出术; FS-LASIK: 飞秒激光辅助的准分子激光角膜原位磨镶术; CI: 矫正指数; IOS: 成功指数; AoE: 误差角; FI: 变平指数 (Mann-Whitney 检验)

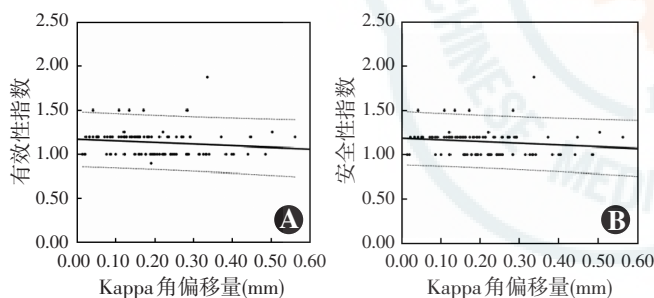


图 4 SMILE 组的 Kappa 角偏移量与安全性指数和有效性指数相关性分析 (Spearman 秩相关分析, $n = 95$) A: SMILE 组的 Kappa 角偏移量与有效性指数关系 ($r = -0.257, P = 0.012$) B: SMILE 组的 Kappa 角偏移量与安全性指数关系 ($r = -0.258, P = 0.012$) 黑色虚线代表 95% 置信区间

3 讨论

FS-LASIK 利用飞秒激光取代机械板层刀制作角膜瓣, 再利用准分子激光的光消融原理切削瓣下的角膜基质层, 之后将角膜瓣复位, 从而达到矫正屈光不正的目的^[12]。SMILE 则利用飞秒激光的光致破裂原理, 在角膜基质层形成具有一定屈光度的微透镜, 并通过角膜边缘的微小切口将透镜移除, 进而达到矫正屈光不正的目的^[5]。本研究结果显示, SMILE 术后术眼的球镜度和 SE 均小于 FS-LASIK 眼, 说明 SMILE 矫正屈光不正的精确性更佳。术后球镜度及球镜可预测性结果分析表明, FS-LASIK 术眼较 SMILE 术眼更易呈现过矫趋势, 其原因可能是 2 种激光作用于角膜的原理不

同以及 2 种手术的切削模式不同所致。

本研究中还发现, SMILE 术后眼与 FS-LASIK 术后眼间残余散光的柱镜度差异无统计学意义, 但矢量分析结果表明, SMILE 术后眼矫正散光呈欠矫状态, 而 FS-LASIK 术后眼则呈过矫趋势。倍角矢量图的应用使得散光可以依照矢量运算的法则, 并可在坐标系统中表达, 从矢量图中可以看出, 术前 SMILE 组和 FS-LASIK 组均以顺规散光为主, 而术后 SMILE 组术后残余散光倾向于顺规方向, FS-LASIK 组残余散光更倾向于斜轴方向。Thibos 的交叉柱镜分解法同样可将散光分解到正交轴方向 J_0 (负柱镜为 180° 或 90° 轴向) 和斜交轴方向 J_{45} (负柱镜为 45° 或 135° 轴向), 本研究中对 2 种手术方式术后眼行 Thibos 的交叉柱镜分解分析, 结果显示 SMILE 组和 FS-LASIK 组术前 J_0 均为正值, 表明术前 2 个组均以顺规散光为主, 而术后 SMILE 组残余散光表现在 J_0 分量更多, FS-LASIK 组残余散光表现在 J_{45} 分量更多, 说明 SMILE 组术后散光轴向多倾向于顺规方向, FS-LASIK 组术后散光则倾向于斜轴方向, 2 个组术眼术前及术后 J_0 和 J_{45} 方向分量均无明显变化。本研究中采用 Alpins 倍角矢量图及 Thibos 分解法进行分析所得的 2 个组术后散光分布的结果比较一致, 说明矢量分析法对于评价散光矫正的效果更加细致和精确。上述结果说明, 虽然 SMILE 缺乏虹膜跟踪功能, 但并不影响对散光的矫正效果。本研究中结果显示, SMILE 组术后斜轴散光量较 FS-LASIK 组更少, 推测是由于 FS-LASIK 形成了角膜瓣, 而 SMILE 仅作一小切口, 理论上角膜切口的愈合反应轻于瓣边缘的愈合反应, 因此愈合反应对角膜表面形态改变的影响更小, 从而减少斜轴方向的散光, 体现了小切口 SMILE 的优越性。

本研究中结果还显示, 2 种术式的 CI 及 FI 均接近于 1, 说明 2 种术式均能较好地矫正散光。CI 越高, 说明实际矫正的散光量越多, 理想的 CI 为 1, CI 大于 1 代表过矫, CI 小于 1 代表欠矫。FI 则说明在预期矫正的散光轴向上实际矫正的散光, FI 为 1 时说明在该方向上散光达到全矫。本研究中结果表明, SMILE 组矫正散光的程度倾向于欠矫, 而 FS-LASIK 组则倾向于过矫, 柱镜可预测性结果与上述矢量分析参数所得结果也一致, 提示我们选择 SMILE 术式且散光度较大的患者可根据经验适当增加散光的矫正量。IOS 是评价手术矫正散光效果的另一个有用指标, IOS 越低, 说明残余散光占术前散光的比例越小, 实际矫正的散光越接近预期, 理想的 IOS 应为 0。本研究结果显示, SMILE 组术眼 IOS 和轴向偏差均小于 FS-LASIK 组, 说

明 SMILE 虽然缺乏虹膜跟踪的能力,但术中发生的散光轴向偏离并不多。Alpins^[10]认为散光轴向偏离 15° 可导致矫正效果下降 13%,当散光轴向偏离 30° 时矫正效果下降 50%。术中体位及头位的轻微改变均会造成散光轴向的偏差,加之从直立位变为卧位时眼球位置会发生一定程度的旋转,这些因素均可导致散光轴向发生偏差而影响矫正效果^[13-14]。Ivarsen 等^[15]将散光分解为极坐标形式并分析了 SMILE 矫正散光的效果,认为随着散光度的增加,散光的矫正程度倾向于欠矫,散光轴向仅发生了轻度的偏转。本研究中得出的结论与这些研究一致。

本研究中发现,SMILE 组和 FS-LASIK 组术眼在术后安全性指数及有效性指数方面差异均无统计学意义,说明在视力恢复方面,SMILE 和 FS-LASIK 效果一致。但由于 SMILE 缺乏虹膜跟踪,其安全性指数及有效性指数与术前 Kappa 角偏移量存在较弱的负相关性,提示 Kappa 角过大的患者可能影响其术后视力的恢复程度。多项研究显示,SMILE 在安全性和有效性方面与 FS-LASIK 相当^[4-5,16-20],Ang 等^[21]的随机对照研究结果显示,SMILE 同 FS-LASIK 一样可以较好地矫正散光,我们先前的研究也证实 SMILE 有较好的安全性、有效性、稳定性及可预测性^[22]。

综上所述,SMILE 和 FS-LASIK 在矫正低中度近视散光方面均是安全、有效的,2 种术式术后术眼均能达到预期视力。此外,SMILE 和 FS-LASIK 术后的残余散光量接近,但其术后术眼散光的轴向不同。SMILE 术后仍以顺规散光为主,而 FS-LASIK 术后则以斜轴散光为主,提示角膜瓣的愈合反应对术后角膜表面形态的改变存在影响。随着散光度数的增加,SMILE 对散光趋向于欠矫,提示术者术前在设计时可根据经验适当增加散光的矫正度。SMILE 术后术眼散光轴向的偏差更小,同时 SMILE 矫正近视更精确,体现了小切口 SMILE 的优越性。

本研究中仅从矢量分析方面对 SMILE 和 FS-LASIK 矫正散光的效果进行了评价和比较,更深入的对比结果还应根据像差、生物力学等其他参数的结果进行综合评价,仍需要更大样本量及更长时间的随访进行观察和验证。

参考文献

- [1] Kymionis GD, Kankariya VP, Plaka AD, et al. Femtosecond laser technology in corneal refractive surgery: a review [J]. J Refract Surg, 2012, 28(12): 912-920. DOI: 10.3928/1081597X-20121116-01.
- [2] Kim P, Sutton GL, Rootman DS. Applications of the femtosecond laser in corneal refractive surgery [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2011, 22(4): 238-244. DOI: 10.1097/ICU.0b013e3283477e9c.
- [3] Santhiago MR, Kara-Junior N, Waring GO. Microkeratome versus femtosecond flaps: accuracy and complications [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2014, 25(4): 270-274. DOI: 10.1097/ICU.0000000000000070.
- [4] Sekundo W, Kunert K, Russmann C, et al. First efficacy and safety study of femtosecond lenticule extraction for the correction of myopia six-month results [J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(9): 1513-1520. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.05.033.
- [5] Shah R, Shah S, Sengupta S. Results of small incision lenticule extraction: All-in-one femtosecond laser refractive surgery [J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(1): 127-137. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.07.033.
- [6] Wei S, Wang Y. Comparison of corneal sensitivity between FS-LASIK and femtosecond lenticule extraction (ReLEx flex) or small-incision lenticule extraction (ReLEx smile) for myopic eyes [J]. Geaefe's Arch Clin Exp Ophthalmol, 2013, 251(6): 1645-1654. DOI: 10.1007/s00417-013-2272-0.
- [7] Reinstein DZ, Archer TJ, Randleman JB. Mathematical model to compare the relative tensile strength of the cornea after PRK, LASIK, and small incision lenticule extraction [J]. J Refract Surg, 2013, 29(7): 454-460. DOI: 10.3928/1081597X-20130617-03.
- [8] Wu D, Wang Y, Zhang L, et al. Corneal biomechanical effects: small-incision lenticule extraction versus femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis [J]. J Cataract Refract Surg, 2014, 40(6): 954-962. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.07.056.
- [9] Alpins NA. A new method of analyzing vector for changes in astigmatism [J]. J Cataract Refract Surg, 1993, 19(4): 524-533.
- [10] Alpins NA. Vector analysis of astigmatism changes by flattening, steepening, and torque [J]. J Cataract Refract Surg, 1997, 23(10): 1503-1514.
- [11] Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vector: an application of fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error [J]. Optom Vis Sci, 1997, 74(6): 367-375.
- [12] Sakimoto T, Rosenblatt MI, Azar DT. Laser eye surgery for refractive errors [J]. Lancet, 2006, 367(9520): 1432-1447. DOI: 10.1016/S0140-6736(06)68275-5.
- [13] Chang J. Cyclotorsion during laser in situ keratomileusis [J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(10): 1720-1726. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.06.027.
- [14] Liu YL, Yeh PT, Huang JY, et al. Pupil centroid shift and cyclotorsion in bilateral wavefront-guided laser refractive surgery and the correlation between both eyes [J]. J Formos Med Assoc, 2013, 112(2): 64-71. DOI: 10.1016/j.jfma.2012.02.028.
- [15] Ivarsen A, Hjortdal J. Correction of myopic astigmatism with small incision lenticule extraction [J]. J Refract Surg, 2014, 30(4): 240-247. DOI: 10.3928/1081597X-20140320-02.
- [16] 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.
- [17] Hjortdal J, Vestergaard A, Ivarsen A, et al. Predictors for the outcome of small incision lenticule extraction for myopia [J]. J Refract Surg, 2012, 28(12): 865-871. DOI: 10.3928/1081597X-20121115-01.
- [18] Ivarsen A, Asp S, Hjortdal J. Safety and complications of more than 1500 small-incision lenticule extraction procedures [J]. Ophthalmology, 2014, 121(4): 822-828. DOI: 10.1016/j.ophtha.2013.11.006.
- [19] Lin F, Xu Y, Yang Y. Comparison of the visual results after SMILE and femtosecond laser-assisted LASIK for myopia [J]. J Refract Surg, 2014, 30(4): 248-254. DOI: 10.3928/1081597X-20140320-03.
- [20] Sekundo W, Gertner J, Bertelmann T, et al. One-year refractive results, contrast sensitivity, high-order aberrations and complications after myopic small-incision lenticule extraction (ReLEx SMILE) [J]. Geaefe's Arch Clin Exp Ophthalmol, 2014, 252(5): 837-843. DOI: 10.1007/s00417-014-2608-4.
- [21] Ang M, Tan D, Mehta JS. Small incision lenticule extraction (SMILE) versus laser in-situ keratomileusis (LASIK): study protocol for a randomized, non-inferiority trial [J/OL]. Trials, 2012, 13: 75 [2015-11-04]. <http://trialsjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1745-6215-13-75>. DOI: 10.1186/1745-6215-13-75.
- [22] 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. Wang Y, Bao XL, Tang X, et al. Clinical study of femtosecond laser corneal small incision lenticule extraction for correction of myopia and myopic astigmatism [J]. Chin J Ophthalmol, 2013, 49(4): 292-298. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2013.04.002.

(收稿日期: 2016-01-24)

(本文编辑: 尹卫靖 杜娟)