

# WaveLight FS200 飞秒激光角膜瓣瞳孔中心偏离与术后疗效的关系

杜绍林 郑文凯 董秀清 周伟 李超

中山大学附属东华医院眼科中心, 东莞 523000

通信作者: 杜绍林, Email: challenge134@126.com

**【摘要】** 目的 探讨 WaveLight FS200 飞秒角膜瓣瞳孔中心偏离与飞秒激光辅助制瓣的准分子激光角膜原位磨镶术(FS-LASIK)术后疗效的关系。方法 采用队列研究方法, 纳入 2017 年 6 月至 2018 年 7 月在中山大学附属东华医院眼科中心应用 Wavelight FS200 进行 FS-LASIK 治疗近视的患者 125 例 125 眼, 依据飞秒激光制作的角膜瓣是否偏离瞳孔中心分成无偏离组 57 眼和偏离组 68 眼, 2 个组年龄、性别构成比、裸眼视力(UCVA)、球镜度、中央角膜厚度(CCT)的基线资料匹配, 差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。追踪观察 2 个组术后 1 周、1 个月的 UCVA、散光、球镜度、角膜曲率及高阶像差情况。结果 术后 1 周和 1 个月, 2 个组视力、角膜曲率、残留球镜度数及球差、彗差比较, 差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ ); 术后 1 周, 无偏离组  $\leq -0.50$  D 和  $> -0.50$  D 的眼数分别占 87.7% (50/57) 和 12.3% (7/57), 偏离组  $\leq -0.50$  D 和  $> -0.50$  D 的眼数分别占 73.5% (50/68) 和 26.5% (18/68), 2 个组间不同散光度数眼数分布比较, 差异有统计学意义( $\chi^2 = 3.902$ ,  $P = 0.048$ ); 术后 1 个月, 2 个组间不同散光度数眼数分布比较差异无统计学意义( $\chi^2 = 2.031$ ,  $P = 0.068$ )。术后 1 周和 1 个月, 无偏离组的三叶草差分别为 0.05 (0.04, 0.08) 和 0.05 (0.03, 0.07), 均低于偏离组的 0.06 (0.04, 0.10) 和 0.06 (0.05, 0.09), 差异均有统计学意义( $Z = -2.245$ ,  $P = 0.022$ ;  $Z = -2.370$ ,  $P = 0.018$ ); 术后 1 周和 1 个月, 2 个组球差和彗差比较差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )。结论 Wavelight FS200 飞秒激光制作角膜瓣过程中的瞳孔中心偏离对于远期视力及散光等视觉质量未发现有意义的影响, 术后早期散光及部分高阶像差可能会影响患者术后早期视觉体验。

**【关键词】** 激光/治疗用途; 飞秒激光; 角膜瓣; 角膜曲率; 高阶像差

基金项目: 广东省医学科研基金项目 (B2018234)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2020.02.006

## Relationship between the offset of a laser-assisted flap using the WaveLight FS200 femtosecond laser and the clinical results

Du Shaolin, Zheng Wenkai, Dong Xiuqing, Zhou Wei, Li Chao

Tungwah Ophthalmic Center, Tungwah Hospital of Sun Yat-Sen University, Dongguan 523000, China

Corresponding author: Du Shaolin, Email: challenge134@126.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the relationship between the offset of a laser-assisted flap using the WaveLight FS200 femtosecond laser and the clinical results after femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis (FS-LASIK). **Methods** In this prospective cohort study, 125 patients who underwent FS-LASIK for myopia by WaveLight FS200 femtosecond laser from June 2017 to July 2018 at the Tungwah Ophthalmic Center were divided into two groups according to the offset of the corneal flap from the pupil center: the no-offset group (57 eyes) and the certain-offset group (68 eyes); the baseline data, including age, sex, uncorrected visual acuity (UCVA), spherical degree, and central corneal thickness were matched in the two groups. UCVA, residual astigmatism, spherical degree, corneal curvature and aberration were observed 1 week and 1 month after surgery. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Tungwah Hospital of Sun Yat-Sen University (No. 2017DHLL004). Written informed consent was obtained from each subject prior to entering the study cohort. **Results** UCVA, corneal curvature, spherical degree, spherical and corneal aberration between the two groups were not significantly different (all at  $P > 0.05$ ). One week after surgery, the residual astigmatism was  $\leq -0.50$  D in 50 eyes (87.7%, 50/57) and  $> -0.50$  D in 7 eyes (12.3%, 7/57) in the no-offset group; the residual astigmatism was  $\leq -0.50$  D in 50 eyes

(73.5%, 50/68) and  $> -0.50$  D in 18 eyes (26.5%, 18/68) in the no-offset group. The residual astigmatism between the two groups 1 week after surgery was significantly different ( $\chi^2 = 3.902, P = 0.048$ ), and there was no significant difference in residual astigmatism 1 month after surgery ( $\chi^2 = 2.031, P = 0.068$ ). The trefoil of the no-offset group was statistically less than of the certain-offset group at 1 week and 1 month after surgery ( $0.05[0.04, 0.08]$  vs.  $0.06[0.04, 0.10]$ ;  $0.05[0.03, 0.07]$  vs.  $0.06[0.05, 0.09]$ ) ( $Z = -2.245, P = 0.022$ ;  $Z = -2.370, P = 0.018$ ). The spherical aberration and coma were not significantly different between the two groups at 1 week and 1 month after surgery (both at  $P > 0.05$ ).

**Conclusions** The offset from femtosecond laser-assisted flap by WaveLight FS200 has no effect on long-term visual acuity or residual astigmatism. Some patients may have different visual experiences because of the residual astigmatism and higher order aberration during the early postoperative stage.

**[Key words]** Laser/therapeutic use; Femtosecond laser; Corneal flap; Corneal curvature; Higher order aberration

**Fund program:** Medical Scientific Research Foundation of Guangdong Province (B2018234)

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2020.02.006

飞秒激光制作角膜瓣是一个精准制作过程,具备可预测性、有稳定蒂部、瓣厚可保持均匀一致的优点<sup>[1-2]</sup>,较传统角膜瓣制作方式有明显优势<sup>[3]</sup>。准分子激光角膜原位磨镶术(laser-assisted laser in situ keratomileusis, LASIK)手术中用飞秒激光制作角膜瓣是近年来屈光手术的重要进展。然而飞秒激光术中的定位是在瞬间完成的,故在制瓣过程中与预期定位中心偏离的现象仍客观存在。Wavelight FS200 在角膜瓣定位过程中针对预期中心位置的 X、Y 轴偏离是全程跟踪可调的,因此所出现的偏离值甚微,但这种微小的偏离是否会对临床疗效产生影响尚不清楚。本研究探讨 WaveLight FS200 飞秒角膜瓣瞳孔中心偏离与飞秒激光辅助制瓣 LASIK 术后疗效的关系。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用队列研究方法,纳入 2017 年 6 月至 2018 年 7 月在中山大学附属东华医院眼科中心应用 Wavelight FS200 接受 FS-LASIK 的近视患者 125 例 125 眼,其中右眼 64 眼,左眼 61 眼;患者年龄 18~51 岁,平均(29.80±6.47)岁;术前平均裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)为 0.14±0.92;平均球镜度数为(-4.90±1.88)D;术前平均中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)为(541.76±28.33)mm。按照角膜瓣瞳孔中心 X、Y 轴偏离值将患者分为无偏离组 57 例 57 眼和偏离组 68 例 68 眼,2 个组患者年龄、性别构成比、UCVA、球镜

度、CCT 比较差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ ) (表 1)。本研究方案经中山大学附属东华医院伦理委员会审核批准(批文号:2017DHLL004),患者知晓本研究目的并签署知情同意书。

### 1.2 方法

**1.2.1 术前检查** 主要包括视力、综合验光、裂隙灯显微镜和眼底检查、眼压测量、超声角膜厚度测量、眼前节分析系统分析及像差检查等。

**1.2.2 手术设计及实施** 手术均由同一位手术熟练医生实施,采用德国鹰视 Wavelight FS200 全个性化飞秒激光制作角膜瓣,角膜瓣厚度为 110 μm,瓣直径为 8.5 mm,角膜瓣蒂位于角膜上方,角度为 45°,角膜瓣边缘切割角度为 70°,用 EX500 进行准分子激光切削,术前设定预期定位中心。以术前 Topolyzer 眼前节分析系统检查获得的瞳孔中心为原点,术中记录偏离瞳孔中心(原点)的实际位置(X、Y 值),然后完成所有手术眼预期定位中心与实际定位中心分别在 X、Y 轴上的差异大小(图 1)。观察并记录飞秒激光制作的角膜瓣是否偏离瞳孔中心。

**1.2.3 术后随访** 术后第 1 天复查 UCVA、屈光状态以及角膜等情况;术后 1 周及 1 个月复查角膜、视力、屈光度、眼压、眼前节分析及像差检查等情况。

表 1 2 个组患者术前基线资料比较  
Table 1 Comparison of demography between the two groups

组别	例数/眼数	年龄 (mean±SD, 岁) <sup>a</sup>	性别构成比 (男/女, 例) <sup>b</sup>	UCVA (mean±SD) <sup>a</sup>	球镜度 (mean±SD, D) <sup>a</sup>	CCT (mean±SD, μm) <sup>a</sup>
无偏离组	57/57	30.19±6.62	18/39	0.14±0.09	-4.73±1.97	539.66±32.37
偏离组	68/68	29.10±6.38	17/51	0.14±0.08	-5.06±1.81	543.54±24.56
t/χ <sup>2</sup> 值		0.935	0.777	0.341	0.978	0.764
P 值		>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

注:UCVA:裸眼视力;CCT:中央角膜厚度(a:独立样本 t 检验;b:χ<sup>2</sup> 检验)

Note:UCVA:uncorrected visual acuity;CCT:central corneal thickness(a:independent-samples t test;b:χ<sup>2</sup> test)

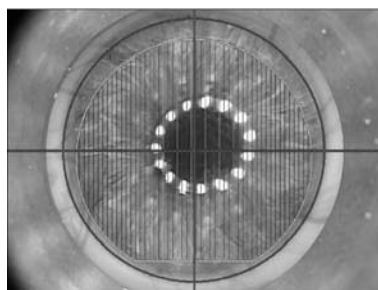


图 1 角膜瓣位置在 X 方向和 Y 方向上距瞳孔中心的偏离  
Figure 1 Offset of the corneal flap from pupil center in the X- and Y-axis

**1.2.4 角膜高阶像分析** 采用 Sirius 三维角膜地形图(意大利 CSO 公司)及眼前节分析诊断系统采集手术前后角膜高阶像差数据。对所有患者手术前后的角膜地形图检查数据进行分析,选择符合检测标准且稳定的 3 次检查结果并计算平均值(最大计算直径为 6 mm)。

**1.3 统计学方法**

采用 SPSS 20.0 统计学软件进行统计分析。2 个组患者术前平均年龄、UCVA、球镜度数、CCT 经 W 检验后证实呈正态分布,以 mean±SD 表示,2 个组间上述指标差异比较采用独立样本 t 检验;2 个组患者术前性别构成比差异比较采用  $\chi^2$  检验。2 个组患者术后 1 周和 1 个月 UCVA、像差的数据资料经 W 检验证实呈偏态分布,以  $M(Q_1, Q_3)$  表示,组间角膜曲率、球镜度和高阶像差差异比较均采用 Mann-Whitney 秩和检验,术后不同散光度眼数分布差异比较采用  $\chi^2$  检验。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 2 个组患者角膜瓣偏离程度**

偏离组术眼 X 轴方向偏离范围为 -0.4~+0.5  $\mu\text{m}$ ,其中负偏离 5 例,平均偏离 -0.24 mm;正偏离 31 例,偏离值均数为 +0.18 mm。术眼 Y 轴方向偏离范围为 -0.5~+0.2  $\mu\text{m}$ ,其中负偏离 43 例,平均偏离 -0.27 mm;正偏离 19 例,平均偏离 +0.13 mm。

**2.2 术后 2 个组患者 UCVA 比较**

术后 1 周及术后 1 个月 2 个组术眼视力比较差异均无统计学意义 ( $Z = -1.051, P = 0.293; Z = -1.389, P = 0.165$ ) (表 2)。

**2.3 术后 2 个组患者散光度比较**

术后 1 周无偏离组散光度数  $\leq -0.5 \text{ D}$  的术眼比例明显高于偏离组,散光度数  $> -0.5 \text{ D}$  的术眼比例明显低于偏离组,2 个组间不同散光度数的眼数比较差异有统计学意义 ( $\chi^2 = 3.902, P = 0.048$ ) (表 3); 术后 1 个月 2 个组间不同散光度数的眼数比较差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 2.031, P = 0.068$ ) (表 4)。

表 2 术后 2 个组术眼 UCVA 比较 [ $M(Q_1, Q_3)$ ]  
Table 2 Comparison of the postoperative UCVA between the two groups [ $M(Q_1, Q_3)$ ]

组别	眼数	术后不同时间点视力	
		1 周	1 个月
无偏离组	57	1.2(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)
偏离组	68	1.0(1.0,1.2)	1.2(1.0,1.2)
Z 值		-1.051	-1.389
P 值		0.293	0.165

注:UCVA:裸眼视力(Mann-Whitney 秩和检验)  
Note:UCVA:uncorrected visual acuity(Mann-Whitney rank test)

表 3 术后 1 周 2 个组不同散光度的眼数比较 [ $n(\%)$ ]  
Table 3 Comparison of the eyes with residual astigmatism one week after surgery between the two groups [ $n(\%)$ ]

组别	总眼数	不同散光度眼数分布	
		$\leq -0.5 \text{ D}$	$> -0.5 \text{ D}$
无偏离组	57	50(87.7)	7(12.3)
偏离组	68	50(73.5)	18(26.5)
$\chi^2$ 值		3.902	
P 值		0.048	

( $\chi^2$  检验)  
( $\chi^2$  test)

表 4 术后 1 个月 2 个组不同散光度的眼数比较 [ $n(\%)$ ]  
Table 4 Comparison of the eyes with residual astigmatism one month after surgery between the two groups [ $n(\%)$ ]

组别	总眼数	不同散光度眼数分布	
		$\leq -0.5 \text{ D}$	$> -0.5 \text{ D}$
无偏离组	57	48(84.22)	9(15.78)
偏离组	68	48(70.59)	20(29.41)
$\chi^2$ 值		2.031	
P 值		0.068	

( $\chi^2$  检验)  
( $\chi^2$  test)

**2.4 术后不同时间点 2 个组术眼角膜曲率及球镜度数比较**

术后 1 周和 1 个月,2 个组术眼角膜曲率比较差异均无统计学意义 ( $Z = -0.258, P = 0.796; Z = -0.436, P = 0.663$ ) (表 5),2 个组患者球镜度比较差异均无统计学意义 ( $Z = -1.246, P = 0.213; Z = -1.527, P = 0.127$ ) (表 6)。

**2.5 术后 1 周和 1 个月 2 个组间术眼高阶像差比较**

术后 1 周和 1 个月,无偏离组术眼三叶草差均低于偏离组,2 个组术眼三叶草差比较差异均有统计学意义 ( $Z = -2.245, P = 0.022; Z = -2.370, P = 0.018$ );



2 个组球差和彗差比较差异均无统计学意义(均  $P > 0.05$ )(表 7,8)。

**表 5 术后 1 周和 1 个月 2 个组术眼角膜曲率比较** $[M(Q_1, Q_3), D]$   
**Table 5 Comparison of corneal curvature one week and one month after surgery between the two groups** $[M(Q_1, Q_3), D]$

组别	眼数	术后不同时间点角膜曲率	
		1 周	1 个月
无偏离组	57	39.00 (37.50, 40.63)	39.76 (37.58, 40.86)
偏离组	68	39.25 (37.25, 40.88)	39.57 (37.70, 41.49)
Z 值		-0.258	-0.436
P 值		0.796	0.663

(Mann-Whitney 秩和检验)  
(Mann-Whitney rank test)

**表 6 术后 1 周和 1 个月 2 个组术眼球镜度数比较** $[M(Q_1, Q_3), D]$   
**Table 6 Comparison of spherical degree one week and one month after surgery between the two groups** $[M(Q_1, Q_3), D]$

组别	眼数	术后不同时间点球镜度数	
		1 周	1 个月
无偏离组	57	+0.25 (0.00, +0.50)	0.00 (-0.25, +0.50)
偏离组	68	+0.50 (0.00, +0.75)	+0.25 (0.00, +0.50)
Z 值		-1.246	-1.527
P 值		0.213	0.127

(Mann-Whitney 秩和检验)  
(Mann-Whitney rank test)

**表 7 术后 1 周 2 个组高阶像差比较** $[M(Q_1, Q_3)]$   
**Table 7 Comparison of higher-order aberrations one week after surgery between the two groups** $[M(Q_1, Q_3)]$

组别	眼数	球差	彗差	三叶草差
无偏离组	57	0.01 (0.01, 0.02)	0.04 (0.02, 0.05)	0.05 (0.04, 0.08)
偏离组	68	0.01 (0.01, 0.02)	0.03 (0.02, 0.05)	0.06 (0.04, 0.10)
Z 值		-1.573	-0.898	-2.245
P 值		0.141	0.321	0.022

(Mann-Whitney 秩和检验)  
(Mann-Whitney rank test)

**表 8 术后 1 个月 2 个组术眼高阶像差比较** $[M(Q_1, Q_3)]$   
**Table 8 Comparison of higher-order aberrations one month after surgery between the two groups** $[M(Q_1, Q_3)]$

组别	眼数	球差	彗差	三叶草差
无偏离组	57	0.01 (0.00, 0.02)	0.03 (0.02, 0.04)	0.05 (0.03, 0.07)
偏离组	68	0.01 (0.00, 0.02)	0.03 (0.02, 0.05)	0.06 (0.05, 0.09)
Z 值		-1.473	-0.798	-2.370
P 值		0.141	0.425	0.018

(Mann-Whitney 秩和检验)  
(Mann-Whitney rank test)

### 3 讨论

准分子激光角膜屈光手术具有较好安全性和可预

测性<sup>[4-5]</sup>,作为 LASIK 术中重要步骤,近年来角膜制瓣相关的并发症明显减少,使手术安全性大大提高。然而由于飞秒激光术中的定位是在瞬间完成的,在制瓣过程中与预期定位中心的偏离现象值得关注<sup>[6-7]</sup>。

中心定位问题是飞秒激光过程中主要环节,切削中心若偏离视觉中心则形成偏心切削,可导致彗差等高阶像差的产生,产生不规则散光、眩光、视物重影等,严重影响术后视觉质量<sup>[8-10]</sup>。目前对术中切削中心的选择仍存在较多争议。理论上,视轴与角膜的交点是最佳的切削中心<sup>[11]</sup>,可对术后视觉质量的影响降到最低限度,患者的术后无眩光区也最大。但视轴无法直接跟踪,故目前临床上试图找到最靠近视轴的点作为切削中心,有研究建议将瞳孔中心作为切削中心的参考<sup>[12]</sup>。目前大部分激光系统均以瞳孔中心作为默认的切削中心,但瞳孔中心的位置并不固定,会随着不同光照条件下瞳孔直径的变化而移位<sup>[13]</sup>。对于 kappa 角较大的远视患者,以瞳孔中心为中心进行切削使术后视觉质量下降的风险升高,报道显示远视性 LASIK 术后有 1.2%~10.0% 的患者最佳矫正视力下降 2 行以上<sup>[14-16]</sup>。共轴视角膜反光点 (coaxially sighted corneal reflex center, CRC) 即注视固定光点时光源在角膜前表面反射而产生的虚像,又称第一 Purkinje 像。有研究利用特殊仪器标记视轴的位置,发现 CRC 是距离视轴与角膜交点最近的点<sup>[17]</sup>。CRC 的局限性在于有时术者、光源、患眼三点并未做到真正共轴,且受到术者主导眼、显微镜立体角等因素的影响<sup>[18]</sup>。为了更客观地确定 CRC,部分研究者开始使用角膜最高点作为切削中心。角膜最高点是角膜前表面距离固视目标最近的点,可通过角膜地形图测定,影响因素少,重复性更好<sup>[18]</sup>。事实上角膜最高点与 CRC 是同一点,可以理解成用角膜地形图仪的照相机代替术者的双眼来观察确定 CRC。

偏心切削可引起术后视觉质量不良<sup>[19]</sup>,但角膜瓣偏离是否会影响切削中心定位,从而造成偏心切削尚不清楚。本研究中采用 FS200+EX500 飞秒激光辅助制瓣 LASIK,角膜瓣直径为 8.5 mm,切削的光学区直径为 6.5 mm,以瞳孔中心作为切削中心。手术过程中瞳孔中心的识别与定位的影响因素多为异常头位、眼球旋转、Kappa 角以及瞳孔大小改变等<sup>[20]</sup>,尚无文献提示其与角膜瓣的偏离有明确关系。理论上,当角膜瓣中心偏离瞳孔中心 >0.5 mm 时,激光切削光学区超出角膜瓣下区域,可影响术后视力效果及视觉质量。本研究中角膜瓣偏离的绝对值 ≤ 0.5 mm,结果显示在此范围内角膜瓣的偏离不影响光学区切削,对于远期

视力、散光及球差、彗差等均无明显的影响。超过 0.5 mm 范围的角膜瓣偏离是否会影响术后效果仍有待进一步研究。

本研究中通过分析 WaveLight FS200 飞秒角膜瓣瞳孔中心偏离与术后疗效关系发现,2 个组间术后 1 周和 1 个月 UCVA 无明显差异;术后 1 周时 2 个组不同散光度数的眼数分布差异有统计学意义,而术后 1 个月时散光分布无明显差异;术后角膜曲率及球镜度数无明显差异;术后球差、彗差等高阶像无明显差异,三叶草差比较差异有统计学意义,三叶草差主要反映部分不规则散光情况。

综上所述,本研究结果显示 Wavelight FS200 飞秒激光制作角膜瓣过程中的瞳孔中心偏离对于远期视力及散光等视觉质量未发现有意义的影响,可靠性较好,但术后早期散光及部分高阶像差可能会影响患者术后早期视觉体验。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

## 参考文献

- [1] Durrie DS, Slade SG, Marshall J. Wavefront-guided excimer laser ablation using photorefractive keratectomy and sub-Bowman's keratomileusis: a contralateral eye study [J]. J Refract Surg, 2008, 24(1): S77-84. DOI: 10.3928/1081597X-20080101-14.
- [2] Azar DT, Ghanem RC, de la Cruz J, et al. Thin-flap (sub-Bowman keratomileusis) versus thick-flap laser in situ keratomileusis for moderate to high myopia: case-control analysis [J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(12): 2073-2078. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.08.019.
- [3] Cosar CB, Gonen T, Moray M, et al. Comparison of visual acuity, refractive results and complications of femtosecond laser with mechanical microkeratome in LASIK [J]. Int J Ophthalmol, 2013, 6(3): 350-355. DOI: 10.3980/j.issn.2222-3959.2013.03.18.
- [4] 吴珂,李志敏,谷浩. Epi-LASIK 治疗不同屈光度近视患者的临床评价 [J]. 中华实验眼科杂志, 2011, 29(8): 743-746. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2011.08.018.  
Wu K, Li ZM, Gu H. Clinical evaluation of different diopter myopia after epipolis laser in situ keratomileusis [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2011, 29(8): 743-746. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2011.08.018.
- [5] 卓娅. 准分子激光矫正高度及超高度近视远期疗效观察 [J]. 中华眼外伤职业眼病杂志, 2017, 39(10): 791-793. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1477.2017.10.020.  
Zhuo Y. Observation on the long-term efficacy of laser assisted in-situ keratomileusis for correcting myopia with high and super high degree [J]. Chin J Ocul Traum Occupat Eye Dis, 2017, 39(10): 791-793. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-1477.2017.10.020.
- [6] Haft P, Yoo SH, Kymionis GD, et al. Complications of LASIK flaps made by the IntraLase 15- and 30-kHz femtosecond lasers [J]. J Refract Surg, 2009, 25(11): 979-984. DOI: 10.3928/1081597X-20091016-02.
- [7] Dhaliwal DK, Mather R. New developments in corneal and external disease—LASIK [J]. Ophthalmol Clin North Am, 2003, 16(1): 119-125. DOI: 10.1016/s0896-1549(02)00064-0.
- [8] Ahn H, Kim JK, Kim CK, et al. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 3 femtosecond lasers and a microkeratome [J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(2): 349-357. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.08.042.
- [9] Chuckpaiwong V, Nithitanaphat C, Jongkhajornpong P, et al. Epithelial basement membrane dystrophy after femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis [J/OL]. Can J Ophthalmol, 2018, 53(2): e44-e46 [2018-10-01]. https://www.canadianjournalofophthalmology.ca/article/S0008-4182(17)30344-7/fulltext. DOI: 10.1016/j.jcjo.2017.08.004.
- [10] Moshirfar M, Hatch BB, Chang JC, et al. Prospective, contralateral comparison of 120- $\mu$ m and 90- $\mu$ m LASIK flaps using the IntraLase FS60 femtosecond laser [J]. J Refract Surg, 2011, 27(4): 251-259. DOI: 10.3928/1081597X-20100624-01.
- [11] Shah R, Shah S. Effect of scanning patterns on the results of femtosecond laser lenticule extraction refractive surgery [J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(9): 1636-1647. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.03.056.
- [12] Ang M, Chaurasia SS, Angunawela RI, et al. Femtosecond lenticule extraction (FLEX): clinical results, interface evaluation, and intraocular pressure variation [J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2012, 53(3): 1414-1421. DOI: 10.1167/iovs.11-8808.
- [13] Vestergaard A, Ivarsen A, Asp S, et al. Femtosecond (FS) laser vision correction procedure for moderate to high myopia: a prospective study of ReLEx<sup>®</sup> flex and comparison with a retrospective study of FS-laser in situ keratomileusis [J]. Acta Ophthalmol, 2013, 91(4): 355-362. DOI: 10.1111/j.1755-3768.2012.02406.x.
- [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] Bahar I, Levinger E, Kaiserman I, et al. IntraLase-enabled astigmatic keratotomy for postkeratoplasty astigmatism [J]. Am J Ophthalmol, 2008, 146(6): 897-904. DOI: 10.1016/j.ajo.2008.07.004.
- [16] Kubaloglu A, Cinar Y, Sari ES, et al. Comparison of 2 intrastromal corneal ring segment models in the management of keratoconus [J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(6): 978-985. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.12.031.
- [17] Mian SI, Shtein RM. Femtosecond laser-assisted corneal surgery [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2007, 18(4): 295-299. DOI: 10.1097/ICU.0b013e3281a4776c.
- [18] Vajpayee RB, Tyagi J, Sharma N, et al. Deep anterior lamellar keratoplasty by big-bubble technique for treatment of corneal stromal opacities [J]. Am J Ophthalmol, 2007, 143(6): 954-957. DOI: 10.1016/j.ajo.2007.02.036.
- [19] 杜新华, 杨亚波, 姚克, 等. LASIK 治疗近视后切削中心的角膜地形图观察 [J]. 中国实用眼科杂志, 2000, 18(9): 565-567. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2000.09.022.  
Du XH, Yang YB, Yao K, et al. Topographical observation of centration of excimer laser in situ keratomileusis for treatment of myopia [J]. Chin J Pract Ophthalmol, 2000, 18(9): 565-567. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2000.09.022.
- [20] Hori-Komai Y, Sakai C, Toda I, et al. Detection of cyclotorsional rotation during excimer laser ablation in LASIK [J]. J Refract Surg, 2007, 23(9): 911-915.

(收稿日期: 2019-09-14 修回日期: 2019-12-23)

(本文编辑: 刘艳)