

两种飞秒激光制作准分子激光原位角膜磨镶术角膜瓣形态学和角膜生物力学指标的比较

汪凌 余野 王勤美

【摘要】 目的 评估并比较 IntraLase 飞秒激光和 Ziemer LDV 飞秒激光制作的准分子激光原位角膜磨镶术(LASIK)角膜瓣的均匀性、可预测性、精确性和重复性以及术后角膜生物力学各指标的变化。方法 前瞻性、平行对照研究。对接受飞秒激光制瓣的 LASIK 手术患者 30 例(60 眼)进行随访,14 例使用 IntraLase 飞秒激光制作角膜瓣,16 例使用 Ziemer LDV 飞秒激光制作角膜瓣,2 组预期制得的角膜瓣厚度均为 110 μm 。术前及术后 1 周、1 个月、3 个月使用 Visante 眼前节光学相干断层扫描(OCT)测量中央角膜厚度,并对制得的角膜瓣水平及垂直方向各 7 个点(角膜顶点以及距离顶点鼻、颞侧和上、下方各为 1.0、2.0、3.0 mm 处)的厚度进行测量。对 2 组术前及术后 1 个月、3 个月应用眼反应分析仪测量角膜阻力因子(CRF)和角膜滞后量(CH)的变化。数据采用重复测量方差分析和独立样本 *t* 检验。结果 术后 1 周、1 个月、3 个月 IntraLase 组制得角膜瓣角膜顶点处平均角膜瓣厚度分别为(125 \pm 11) μm 、(125 \pm 10) μm 和(126 \pm 7) μm ,各时间点 2 个方向上不同测量点间的角膜瓣厚度差异有统计学意义($F=11.85$ 、12.638、8.78、8.18、4.81、5.39, $P<0.01$)。Ziemer LDV 组分别为(106 \pm 6) μm 、(109 \pm 7) μm 、(109 \pm 5) μm ,各时间点两个方向上不同测量点间的角膜瓣厚度差异有统计学意义($F=28.20$ 、9.43、18.00、7.14、5.65、4.92, $P<0.01$)。术后 1 周、1 个月、3 个月 IntraLase 组制得角膜瓣各测量点的厚度与预期制得的角膜瓣厚度的差值平均值分别为(20.9 \pm 3.8) μm 、(19.0 \pm 3.0) μm 、(18.7 \pm 3.3) μm ,Ziemer LDV 组分别为(2.1 \pm 3.7) μm 、(2.5 \pm 3.2) μm 、(1.7 \pm 2.4) μm ,2 组各时间点角膜瓣测量点的厚度与预期厚度的差值比较,差异均有统计学意义($P<0.01$)。IntraLase 组制得的角膜瓣各测量点的厚度与预期制得的角膜瓣厚度的差值标准差在 7~15 μm 之间,Ziemer LDV 组在 4~8 μm 之间。术后 1 个月、3 个月 IntraLase 组 CRF 值分别为(7.26 \pm 1.45)mmHg、(7.12 \pm 1.18)mmHg,CH 值分别为(8.53 \pm 1.07)mmHg、(8.48 \pm 1.02)mmHg,Ziemer LDV 组 CRF 值分别为(6.61 \pm 0.65)mmHg、(6.59 \pm 0.71)mmHg,CH 值分别为(7.99 \pm 0.90)mmHg、(7.88 \pm 0.86)mmHg,均较术前显著降低,差异有统计学意义($P<0.01$),但 2 组间差异无统计学意义($P>0.05$)。结论 Ziemer LDV 制瓣较 IntraLase 在可预测性、精确性和重复性方面更有优势。2 种飞秒激光制瓣的 LASIK 术后角膜生物力学各参数均较术前显著降低,但两者间无差异。

【关键词】 飞秒激光; 角膜磨镶术,激光原位; 角膜瓣厚度; 生物力学

Corneal flap morphological analysis and corneal biomechanical comparison in laser in situ keratomileusis with two femtosecond lasers

WANG Ling, YU Ye, WANG Qin-mei.

Eye Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou 325027, China

Corresponding author: YU Ye, Email: yuye@mail.eye.ac.cn

【Abstract】 Objective To assess and compare the morphology of laser in situ keratomileusis (LASIK) flaps created by the IntraLase femtosecond laser and the Ziemer LDV femtosecond laser and to assess the effects on corneal biomechanics. **Methods** This was a prospective and parallel control test. Sixty eyes of thirty patients were treated with LASIK; fourteen patients underwent IntraLase femtosecond laser surgery, while sixteen patients underwent Ziemer LDV femtosecond laser surgery. The corneal flap was set at 110 μm . Flap thickness was assessed at 14 measuring points across each flap at 1 week, 1 month and 3 months postoperatively with a Visante optical coherence tomography (OCT). The corneal resistance factor (CRF) and corneal hysteresis (CH) were examined before surgery

and 1 month and 3 months after surgery with an ocular response analyzer. Data were analyzed using repeated measured ANOVA and independent *t* test. **Results** The respective mean corneal flap thicknesses at the top 1 week, 1 month and 3 months postoperatively were $125\pm 11\ \mu\text{m}$, $125\pm 10\ \mu\text{m}$, $126\pm 7\ \mu\text{m}$ in the IntraLase group and were $106\pm 6\ \mu\text{m}$, $109\pm 7\ \mu\text{m}$, $109\pm 5\ \mu\text{m}$ in the Ziemer LDV group. The mean deviations between achieved and attempted flap thickness were $20.9\pm 3.8\ \mu\text{m}$, $19.0\pm 3.0\ \mu\text{m}$, $18.7\pm 3.3\ \mu\text{m}$ in the IntraLase group and were $2.1\pm 3.7\ \mu\text{m}$, $2.5\pm 3.2\ \mu\text{m}$, $1.7\pm 2.4\ \mu\text{m}$ in the Ziemer LDV group. The differences were statistically significant ($P<0.01$). The standard deviation between achieved and attempted flap thickness was 7~15 μm in the IntraLase group and was 4~8 μm in the Ziemer LDV group. The CRF and CH significantly decreased after surgery in both groups but there were no statistical differences between them. **Conclusion** The predictability, accuracy and reproducibility were better with the Ziemer LDV femtosecond laser than IntraLase femtosecond laser. There were no statistical differences in the corneal biomechanical effects between the two instruments.

【Key words】 Femtosecond laser; Keratomileusis, laser in situ; Corneal flap thickness; Biomechanic

飞秒激光(Femtosecond Laser)是由激光科学发展起来的最新研究成果,在眼科领域中最重要应用于准分子激光原位角膜磨镶术(laser in situ keratomileusis, LASIK)中制作角膜瓣。在 LASIK 手术当中,角膜瓣的质量决定术后的视觉质量甚至手术的成败,其厚度对于评估准分子激光角膜屈光手术的安全性和可行性至关重要^[1]。飞秒激光由于其制作的角膜瓣具有精确、安全等优点^[2],正逐渐取代传统的机械角膜刀,在临床被广泛应用。目前飞秒激光用于临床的产品主要有美国的 IntraLase 飞秒激光、瑞士的 Ziemer LDV 飞秒激光、德国蔡司的 VisuMax 飞秒激光等。温州医科大学附属眼视光医院屈光手术中心于 2008 年底相继开展了使用前 2 种飞秒激光制作角膜瓣的 LASIK 手术,并对术后角膜瓣的形态及角膜生物力学指标的变化进行了比较,以期探究 2 种不同飞秒激光制瓣的差异及特性,为临床手术选择及应用提供参考,提高手术的安全性。

1 对象与方法

1.1 对象

在 2009 年 3 月至 2011 年 5 月于温州医科大学附属眼视光医院屈光手术中心拟接受飞秒激光制瓣的 LASIK 手术患者中随机选取 30 例(60 眼)。由 IntraLase 飞秒激光制瓣 14 例(28 眼),由 Ziemer LDV 飞秒激光制瓣 16 例(32 眼),2 组患者术前资

料比较差异无统计学意义,见表 1。所有患者均符合手术适应证,并除外影响角膜屈光手术的眼部疾病及全身性疾病。本研究通过本院伦理委员会论证,手术前患者均签署知情同意书。

1.2 术前检查

所有患者术前进行常规眼部检查,包括裂隙灯显微镜检查、角膜地形图检查、裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力(best spectacle corrected visual acuity, BCVA)、眼压、散瞳眼底检查、A 超角膜中央厚度、眼轴长度及眼反应分析仪(ocular response analyzer, ORA)检查。所有检查均由屈光手术中心专业检查人员及医师完成。

1.3 手术设计及过程

2 种飞秒激光分别为 IntraLase FS60 飞秒激光(频率 60 kHz)和 Ziemer LDV 飞秒激光(也称达芬奇飞秒激光或 Z-LASIK 飞秒激光,频率 3 MHz)。2 种飞秒激光预期制得的角膜瓣厚度均设置为 110 μm ,直径为 8.5 mm,蒂位于上方,制瓣后均使用德国 WaveLight Allegretto Eye Q 准分子激光仪进行激光切削。所有手术均由同一医师完成。

1.4 术后随访

术后 1 周、1 个月、3 个月使用德国 Zeiss 公司的 Visante 眼前节光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)测量中央角膜厚度及角

表 1 IntraLase 组与 Ziemer LDV 组患者术前资料

分组	眼数	性别(例,男/女)	年龄(岁)	等效球镜度(D)	中央角膜厚度(μm)	K 值(D)
IntraLase 组	28	4/10	26.9 \pm 6.2	-5.15 \pm 0.99	542.9 \pm 32.5	43.50 \pm 1.19
Ziemer LDV 组	32	8/8	24.4 \pm 4.9	-5.66 \pm 1.06	540.5 \pm 36.0	43.39 \pm 1.54
统计值		1.429	1.196	1.903	0.269	0.339
P 值		>0.05	>0.05	>0.05	>0.05	>0.05

注:表中统计值除性别项为 χ^2 值外,其余项均为 *t* 值

膜瓣厚度,对水平方向(角膜顶点以及距离顶点鼻、颞侧各为 1.0、2.0、3.0 mm 处)及垂直方向(角膜顶点以及距离顶点上、下方各为 1.0、2.0、3.0 mm 处)各 7 个点的角膜瓣厚度进行测量,重复测量 3 次后取平均值。术后 1 个月、3 个月使用 ORA 进行角膜生物力学检查,包括角膜阻力因子(corneal resistance factor, CRF)和角膜滞后量(corneal hysteresis, CH),重复测量 4 次取平均值。所有检查和角膜瓣厚度的测量评估均由同一检查者完成。

1.5 统计学方法

前瞻性、平行对照研究。应用 SPSS 16.0 统计软件对数据进行统计学处理,对角膜瓣厚度均匀性的评估及角膜生物力学指标变化的评估采用重复测量方差分析,对角膜瓣厚度可预测性的评估及 2 组间差异的比较采用独立样本 *t* 检验。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 角膜瓣厚度的均匀性

IntraLase 组术后 1 周、1 个月、3 个月角膜顶点处平均角膜瓣厚度分别为 $(125 \pm 11) \mu\text{m}$ 、 $(125 \pm 10) \mu\text{m}$ 、 $(126 \pm 7) \mu\text{m}$, 差异无统计学意义 ($F = 0.517, P > 0.05$); Ziemer LDV 组术后 3 个时间点分别为 $(107 \pm 6) \mu\text{m}$ 、 $(109 \pm 7) \mu\text{m}$ 、 $(109 \pm 5) \mu\text{m}$, 差异无统计学意义 ($F = 2.779, P > 0.05$)。

术后 1 周、1 个月、3 个月 2 组在各测量点的平均角膜瓣厚度见表 2, 可见 2 种飞秒激光制得的角

膜瓣均表现为中央较薄、边缘稍厚的形态,但中央与边缘差异不大,厚度差最大仅为 $12 \mu\text{m}$ 。根据表 2 数据可以看出 IntraLase 组制得的角膜瓣均匀性略优于 Ziemer LDV 组。

2.2 角膜瓣厚度的可预测性

2 组术后 1 周、1 个月、3 个月制得的角膜瓣各测量点的厚度与预期制得的角膜瓣厚度 ($110 \mu\text{m}$) 差值见表 3、4、5。IntraLase 组各时间点差值的平均值为 $(20.9 \pm 3.8) \mu\text{m}$ 、 $(19.0 \pm 3.0) \mu\text{m}$ 、 $(18.7 \pm 3.3) \mu\text{m}$, Ziemer LDV 组为 $(2.1 \pm 3.7) \mu\text{m}$ 、 $(2.5 \pm 3.2) \mu\text{m}$ 、 $(1.7 \pm 2.4) \mu\text{m}$ 。2 组在各时间点角膜瓣同一测量点的厚度与预期制得的角膜瓣厚度的差值比较,差异均有统计学意义 ($P < 0.01$)。但由表中数值可见 Ziemer LDV 组制得的角膜瓣厚度与预期值的偏差小于 IntraLase 组,更接近于预期值,可预测性较好。

2.3 角膜瓣厚度的精确性和重复性

IntraLase 组术后 1 周、1 个月、3 个月制得的角膜瓣各测量点的厚度与预期制得的角膜瓣厚度差值的标准差平均值在水平方向分别为 $9.7, 11.4, 10.1 \mu\text{m}$, 垂直方向分别为 $13.3, 11.1, 11.6 \mu\text{m}$ 。Ziemer LDV 组术后 1 周、1 个月、3 个月制得的角膜瓣各测量点的厚度与预期制得的角膜瓣厚度差值的标准差平均值在水平方向分别为 $5.1, 5.4, 5.6 \mu\text{m}$, 垂直方向分别为 $7.3, 6.6, 6.6 \mu\text{m}$, 说明 Ziemer LDV 组在各时间点制得的角膜瓣厚度与预期值差值的标准差数值波动较小,制瓣的精确性和重复性更高。

2.4 术后中央角膜厚度及 CRF、CH 的变化

表 2 术后 1 周、1 个月、3 个月 IntraLase 组与 Ziemer LDV 组在各测量点的平均角膜瓣厚度 ($\mu\text{m}, \bar{x} \pm s$)

时间	分组	眼数	-3	-2	-1	0	1	2	3	F 值	
术后 1 周	水平										
	IntraLase 组	28	134±11	132±11	127±10	126±8	127±10	131±10	133±8	11.85	
	Ziemer LDV 组	32	117±7	114±5	109±5	105±4	109±4	112±5	115±6	28.20	
	垂直										
	IntraLase 组	28	137±13	137±15	129±14	125±13	129±13	132±12	133±13	12.64	
	Ziemer LDV 组	32	116±7	115±8	111±8	108±7	110±7	112±7	117±7	9.43	
术后 1 个月	水平										
	IntraLase 组	28	132±14	129±13	126±9	124±11	125±11	130±11	131±11	8.78	
	Ziemer LDV 组	32	118±7	114±6	110±6	108±7	108±6	113±5	115±6	18.00	
	垂直										
	IntraLase 组	28	132±13	132±12	127±11	126±10	128±9	131±12	133±12	8.18	
	Ziemer LDV 组	32	116±6	113±6	109±7	111±6	110±7	114±8	116±6	7.14	
术后 3 个月	水平										
	IntraLase 组	28	132±12	132±12	129±9	127±7	126±11	129±11	132±10	4.81	
	Ziemer LDV 组	32	114±7	114±7	110±5	109±5	108±6	111±4	111±5	5.65	
	垂直										
	IntraLase 组	28	134±12	133±13	129±12	126±8	126±11	129±12	128±13	5.39	
	Ziemer LDV 组	32	114±7	115±7	111±8	110±6	109±7	112±6	115±5	4.92	

注: P 均 < 0.05

术后 1 个月、3 个月 IntraLase 组中央角膜厚度测量值分别为 $(450.2 \pm 30.5) \mu\text{m}$ 和 $(452.2 \pm 27.5) \mu\text{m}$, Ziemer LDV 组为 $(437.9 \pm 30.6) \mu\text{m}$ 和 $(439.7 \pm 26.3) \mu\text{m}$, 均较术前显著降低, 差异有统计学意义 ($t=23.017$ 、 22.767 、 19.876 、 21.669 , $P<0.01$), 但 2 组间比较差异无统计学意义 ($t=1.243$ 、 1.343 , $P>0.05$)。2 组术后 1 个月、3 个月 CRF 测量值与术前比较, 均较术前降

低, 经重复测量方差分析显示, 各时间点间差异有统计学意义 ($F=206.873$ 、 112.623 , $P<0.01$), 但 2 组间比较差异无统计学意义。2 组术后 1 个月、3 个月 CH 测量值与术前比较, 也较术前降低, 经重复测量方差分析显示, 各时间点间差异有统计学意义 ($F=118.821$ 、 90.698 , $P<0.01$)。但 2 组间比较差异无统计学意义。见表 6。

表 3 术后 1 周 IntraLase 组与 Ziemer LDV 组在各测量点的角膜瓣厚度与预期值的差值 (μm , $\bar{x} \pm s$)

方向	眼数	-3	-2	-1	0	1	2	3
水平								
IntraLase 组	28	24±11	22±11	17±10	16±8	17±10	21±10	23±8
Ziemer LDV 组	32	7±7	4±5	-1±5	-5±4	-1±4	2±5	5±6
<i>t</i> 值		5.614	7.098	7.420	9.751	7.875	7.866	7.625
<i>P</i> 值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
垂直								
IntraLase 组	28	27±13	27±15	19±14	15±13	19±13	22±12	23±13
Ziemer LDV 组	32	6±7	5±8	1±8	-2±7	0±7	2±7	7±7
<i>t</i> 值		6.030	5.660	4.730	5.293	5.782	6.499	4.683
<i>P</i> 值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表 4 术后 1 个月 IntraLase 组与 Ziemer LDV 组在各测量点的角膜瓣厚度与预期值差值 (μm , $\bar{x} \pm s$)

方向	眼数	-3	-2	-1	0	1	2	3
水平								
IntraLase 组	28	22±14	19±13	16±9	14±11	15±11	20±11	21±11
Ziemer LDV 组	32	8±7	4±6	0±6	-2±7	-2±6	3±5	5±6
<i>t</i> 值		3.715	4.630	6.237	5.230	5.500	5.674	5.711
<i>P</i> 值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
垂直								
IntraLase 组	28	22±13	22±12	17±11	16±10	18±8	21±12	23±12
Ziemer LDV 组	32	6±6	3±6	-1±7	1±6	0±7	4±8	6±6
<i>t</i> 值		4.874	5.913	6.273	5.425	6.329	5.128	5.144
<i>P</i> 值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表 5 术后 3 个月 IntraLase 组与 Ziemer LDV 组在各测量点的角膜瓣厚度与预期值差值 (μm , $\bar{x} \pm s$)

方向	眼数	-3	-2	-1	0	1	2	3
水平								
IntraLase 组	28	22±12	22±12	19±8	17±7	16±11	19±11	12±10
Ziemer LDV 组	32	4±7	4±7	0±5	-1±5	-2±6	1±4	1±5
<i>t</i> 值		5.324	5.125	7.254	8.447	6.158	6.058	7.262
<i>P</i> 值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
垂直								
IntraLase 组	28	24±12	23±13	19±12	16±8	16±11	19±12	18±13
Ziemer LDV 组	32	4±7	5±7	1±8	0±6	-1±7	2±6	5±5
<i>t</i> 值		5.775	5.133	5.286	6.989	5.447	5.158	3.792
<i>P</i> 值		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

表 6 IntraLase 组与 Ziemer LDV 组术前及术后 1 个月、3 个月的 CRF 值、CH 值 (mmHg, $\bar{x} \pm s$)

指标	眼数	术前	术后 1 个月	术后 3 个月	<i>F</i> 值	<i>P</i> 值
角膜阻力因子						
IntraLase 组	28	10.94±1.24	7.26±1.45	7.12±1.18	206.873	<0.01
Ziemer LDV 组	32	10.91±2.09	6.61±0.65	6.59±0.71	112.623	<0.01
角膜滞后量						
IntraLase 组	28	11.16±0.93	8.53±1.07	8.48±1.02	118.821	<0.01
Ziemer LDV 组	32	10.88±1.54	7.99±0.90	7.88±0.86	90.698	<0.01

3 讨论

LASIK 手术作为角膜屈光手术的主流方式,已经在临床应用了多年并取得了良好的疗效。LASIK 手术最为关键的步骤即制作角膜瓣。以往的 LASIK 手术制瓣均采用机械角膜刀,因而不可避免地会出现如不全瓣、碎瓣、游离瓣、纽扣瓣等并发症。而应用飞秒激光制作角膜瓣可以避免上述并发症的发生,使得制瓣过程更为安全。同时,已有临床研究资料表明,角膜瓣的形态直接影响了术后的视觉质量,因而对角膜瓣的评估尤为重要。目前,临床应用于 LASIK 手术制作角膜瓣的飞秒激光有多种,本研究中使用的 IntraLase 飞秒激光和 Ziemer LDV 飞秒激光应用较为广泛,因而对此 2 种飞秒激光制瓣性能的比较对手术具有重要的指导作用。以往,对角膜瓣评估的经典方法是术中 A 型超声测厚,用术前角膜厚度减去术中角膜基质床残余厚度的差值,作为角膜瓣厚度^[3]。此种方法测量的只是角膜中央的瓣厚度,因此在术后评估再次手术的可行性,尤其角膜瓣厚度的均匀性时,往往缺乏足够的信息。在本研究中,应用了眼前节 OCT 对 2 组患眼的角膜瓣进行了形态学上的分析,测量并评估了角膜瓣水平及垂直方向共 13 个点位置的角膜瓣厚度,避免了仅将关注点局限在角膜中央的问题,使得对角膜瓣的观察更为细致全面。

传统的机械角膜刀其制作的角膜瓣大都为新月形,即中央薄周边厚,中央与周边厚度差值最大可达 45 μm ^[4],这种新月形瓣会诱导散光和三叶草像差^[5-6],从而降低术后的视觉质量。本研究中 2 种飞秒激光制得的角膜瓣形态均较规则,虽仍呈现中央较薄、边缘稍厚的形态,但中央与周边厚度差最大仅为 12 μm ,这与 Von Jagow 和 Kohnen^[4]的研究结果相近。此外,本研究采用统计学方法进一步比较了 2 种飞秒激光制瓣的均匀性,发现 2 组制得的角膜瓣各测量点的厚度差异在各时间点均有统计学意义,说明 IntraLase 飞秒激光制瓣的均匀性略好于 Ziemer LDV 飞秒激光。Ahn 等^[2]比较了 3 种飞秒激光和 1 种机械角膜刀制作的 LASIK 角膜瓣后也发现 IntraLase 飞秒激光制瓣的均匀性优于 Ziemer LDV 飞秒激光。

很多研究显示,机械角膜刀实际制得的角膜瓣厚度与预期值存在较大偏差,有的可达 25~40 μm ^[7-8],对于本身角膜比较薄的高度近视患者,将可能会使得术后残留基质低于 250 μm ,存在角膜膨隆的隐患。因此,良好的制瓣可预测性对于手术患者的选择和

手术的安全性至关重要。本研究中 2 种飞秒激光制作的角膜瓣厚度与预期值的差值平均值,IntraLase 组在 12~27 μm 之间,Ziemer LDV 组在 0~8 μm 之间,均明显低于机械角膜刀的偏差值,说明 2 种飞秒激光制瓣的可预测性均较好。Von Jagow 和 Kohnen^[4]比较了 IntraLase 飞秒激光与机械角膜刀制瓣的可预测性,发现 IntraLase 飞秒激光制作的角膜瓣厚度与预期值的偏差平均为 16.9 μm ,而 Zhou 等^[9]在对 Ziemer LDV 飞秒激光与机械角膜刀制作的角膜瓣进行比较中得出了 Ziemer LDV 飞秒激光制作的角膜瓣厚度与预期值的偏差最大为 8 μm ,均与本研究的结果相近。本研究尚比较了 2 组在各时间点角膜瓣同一测量点的厚度与预期制得的角膜瓣厚度的差值,发现 2 组间差异有显著统计学意义,说明 Ziemer LDV 飞秒激光具有更高的可预测性,这与 Ahn 等^[2]的研究结果相同。

与传统的机械角膜刀制作的角膜瓣相比,飞秒激光制作的角膜瓣不仅具有更高的均匀性和可预测性,精确性和重复性也更佳^[9],即每次实际得到的角膜瓣厚度与预期值偏差的标准差波动幅度较小。本研究中 Ziemer LDV 组制得的角膜瓣在水平和垂直方向偏差的标准差在 4~8 μm 之间,IntraLase 组则在 7~15 μm 之间,提示 Ziemer LDV 飞秒激光比 IntraLase 飞秒激光制瓣具有更好的精确性和重复性。

综上所述,2 种飞秒激光制做的角膜瓣均表现为中央较薄,周边较厚,均匀性并未达到均一致,而在可预测性、精确性和重复性方面 Ziemer LDV 飞秒激光更有优势。两者虽同为目前飞秒激光市场上的主流产品,但本研究发现制瓣性能上尚有差异,分析原因可能与 2 种飞秒激光不同的设计原理与性能有关。首先,2 种飞秒激光的光斑大小存在差异,IntraLase 飞秒激光光斑在 10~20 μm 之间,Ziemer LDV 飞秒激光光斑则小于 2 μm 。其次,2 种飞秒激光的脉冲频率不同,IntraLase 飞秒激光为 60 kHz,Ziemer LDV 飞秒激光为 3 MHz。此外,2 种飞秒激光对角膜瓣厚度的控制方式也完全不同。IntraLase 飞秒激光制作的角膜瓣厚度是由计算机控制激光焦点的高低来获得,其厚度可设定为 90~400 μm 之间任意数值,而 Ziemer LDV 飞秒激光制作的角膜瓣厚度是通过放置在镜头前端角膜上的垫片来控制,目前只有 90 μm 、110 μm 、140 μm 3 个数值可供选择。可见,由于 Ziemer LDV 飞秒激光具有小光斑、高脉冲频率的特性,因而在一定程度上提高了其制瓣的性能。而 IntraLase 飞秒激光不仅可以“个体化”设定角膜瓣厚度,而且还可以设定“边切角”

(side cut angle)角度,获得更垂直的边切角,使得术后角膜瓣和基质床的结合更加牢固,提高了手术的安全性,同时降低了术后角膜上皮内生的发生率^[2]。

目前,随着飞秒激光广泛应用于临床,手术患者也逐年增多,如何提高手术的安全性和有效性已引起了越来越多屈光手术医生的关注,对于角膜瓣的形态学评估逐渐成为了衡量手术效果的一个新的参数。同时,为了尽可能地预防及避免术后角膜膨隆的发生,对于角膜生物力学的研究也不容忽视。因此,本研究不仅关注了飞秒激光制瓣的形态学结果,还观察并比较了术后角膜生物力学各指标的变化。结果显示 2 种飞秒激光制瓣的 LASIK 术后 1 个月、3 个月的 CRF 与 CH 的测量值均显著低于术前,说明飞秒激光的 LASIK 手术导致术后角膜生物力学参数降低。李福生等^[10]探讨了 LASIK 手术使用 Ziemer LDV 飞秒激光制瓣对术后角膜生物力学的影响,得出的结论与本研究结果一致。Hamilton 等^[11]比较了 IntraLase 飞秒激光和机械角膜刀制瓣的 LASIK 手术对角膜生物力学的影响,发现两者术后 CRF 与 CH 的测量值均降低,但改变量不存在差异,认为术后角膜生物力学的改变与制瓣方式无关,而与切削量有关。也有学者^[12]认为角膜生物力学最显著的影响因素包括角膜厚度和角膜屈光度。倪寿翔等^[13]研究了近视 LASIK 术后角膜生物力学参数变化的相关性,其结果提示中央角膜厚度是是影响 CH 及 CRF 的重要因素。本研究比较了 2 组术后 CRF 与 CH 测量值的变化,发现 2 组间差异无统计学意义,同时 2 组术后的中央角膜厚度比较差异也无统计学意义,似乎可以认为虽然 2 种飞秒激光制作的角膜瓣厚度及形态有差异,但是由于术后的中央角膜厚度无差异,使得两者术后的角膜生物力学各参数的也无差异,角膜瓣的厚度及形态对术后的角膜生物力学影响不大。

对于飞秒激光制作角膜瓣行 LASIK 手术的临床研究,国内外大都报道的是与机械角膜刀进行比较,对于应用 2 种不同飞秒激光制作 LASIK 手术角膜瓣的比较报道不多。本研究分析并比较了 IntraLase 飞秒激光和 Ziemer LDV 飞秒激光制作的 LASIK 手术角膜瓣的形态学特性以及术后角膜生物力学的变化,认为两者各有优势,且都是安全、有效

的制瓣方式。然而,对于不同飞秒激光制瓣性能差异的比较,仍需要大样本的临床研究来证实。未来,由于飞秒激光突出的制瓣性能以及技术的不断完善,必将逐渐取代机械角膜刀成为 LASIK 手术的主流制瓣方式。

参考文献:

- [1] Izquierdo L Jr, Henriquez MA, Zakrzewski PA. Detection of an abnormally thick LASIK flap with anterior segment OCT imagine prior to planned LASIK retreatment surgery. *J Refract Surg*, 2008, 24:197-199.
- [2] Ahn H, Kim JK, Kim CK, et al. Comparison of laser in situ keratomileusis flaps created by 3 femtosecond lasers and a microkeratome. *J Cataract Refract Surg*, 2011, 37:349-357.
- [3] Muallem MS, Yoo SH, Romano AC, et al. Flap and stromal bed thickness in laser in situ keratomileusis enhancement. *J Cataract Refract Surg*, 2004, 30:2295-2302.
- [4] Von Jagow B, Kohnen T. Corneal architecture of femtosecond laser and microkeratome flaps imaged by anterior segment optical coherence tomography. *J Cataract Refract Surg*, 2009, 35:35-41.
- [5] Tran DB, Sarayba MA, Bor Z, et al. Randomized prospective clinical study comparing induced aberrations with IntraLase and Hansatome flap creation in fellow eyes: potential impact on wavefront-guided laser in situ keratomileusis. *J Cataract Refract Surg*, 2005, 31:97-105.
- [6] Durrie DS, Kezirian GM. Keratome flaps in wavefront guided laser in situ keratomileusis: prospective contralateral eye study. *J Cataract Refract Surg*, 2005, 31:120-126.
- [7] Shemesh G, Dotan G, Lipshitz I. Predictability of corneal flap thickness in laser in situ keratomileusis using three different microkeratomes. *J Refract Surg*, 2002, 18:347-351.
- [8] Yildirim R, Aras C, Ozdamar A, et al. Reproducibility of corneal flap thickness in laser in situ keratomileusis using the Hansatome microkeratome. *J Refract Surg*, 2000, 26:1729-1732.
- [9] Zhou Y, Zhang J, Tian L, et al. Comparison of the Ziemer LDV femtosecond laser and Moria M2 mechanical microkeratome. *J Refract Surg*, 2012, 28:189-194.
- [10] 李福生,尹鸿芝,魏胜兰,等. 飞秒激光 LASIK 术后角膜生物力学各指标和眼压的改变. *眼科新进展*, 2013, 33:175-177.
- [11] Hamilton DR, Johnson RD, Lee N, et al. Difference in the corneal biomechanical effects of surface ablation compared with laser in situ keratomileusis using a microkeratome or femtosecond laser. *J Cataract Refract Surg*, 2008, 34:2049-2055.
- [12] 邓铮铮,张晶,周跃华. 近视性屈光参差患者双眼角膜生物力学及眼压特点研究. *眼科*, 2011, 20:116-120.
- [13] 倪寿翔,郁继国,包芳军,等. 近视 LASIK 术后角膜生物力学参数变化的相关性. *国际眼科杂志*, 2010, 10:2305-2307.

(收稿日期:2013-06-07)

(本文编辑:毛文明,季魏红)