

# 准分子激光角膜表层手术与基质层手术对眼波前像差的比较

李 俏, 李 莹, 龙 琴, 艾凤荣, 罗 岩, 陈秉钧, 丁 欣

**基金项目:** 中国国家自然科学基金资助项目 (No. 30600692)  
**作者单位:** (100730) 中国北京市, 中国医学科学院 北京协和医院眼科  
**作者简介:** 李俏, 女, 博士, 研究方向: 角膜病、角膜屈光手术。  
**通讯作者:** 李莹, 博士, 眼科学博士后, 教授, 主任医师, 博士研究生导师, 中华医学会眼科角膜病学组副组长、眼视光学组委员, 中华医学会激光医学分会眼科学组委员, 协和医院角膜组、眼库和准分子激光近视手术专业组组长, 《国际眼科杂志》、《眼科新进展》、《中华眼科杂志》、《中华眼视光学与视觉科学杂志》等杂志编委, 是我国率先开展准分子激光角膜手术的专家之一, 已经成功地为数万例近视患者进行手术, 在角膜病和屈光性角膜手术并发症的诊治方面有较丰富的经验, 参加多部论著编写, 目前负责和参与国家“十五”重大攻关项目、自然科学基金等多项国内外科研项目, 研究方向: 角膜病、角膜屈光手术. liyingxie@sohu.com  
收稿日期: 2010-11-02 修回日期: 2010-12-08

## Comparison of wavefront aberrations between surface ablation and stromal ablation surgeries

Qiao Li, Ying Li, Qin Long, Feng-Rong Ai, Yan Luo, Bing-Jun Chen, Xin Ding

**Foundation item:** National Natural Science Foundation of China (No. 30600692)  
Department of Ophthalmology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China  
**Correspondence to:** Ying Li. Department of Ophthalmology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China. liyingxie@sohu.com  
Received: 2010-11-02 Accepted: 2010-12-08

### Abstract

• **AIM:** To compare higher order aberrations (HOA) and their changes after surface and stromal ablation surgeries.  
• **METHODS:** This prospective study included 200 eyes of 100 patients who sought for refractive surgery; 50 patients (100 eyes) received laser *in situ* keratomileusis (LASIK) and 50 patients (100 eyes) received advanced surface ablation (ASA). Spherical equivalent (SE) of LASIK group ranged from -1.25 to -9.25 (-5.75 ± 1.74) D, SE of ASA group -2 ~ -9.25 (-5.42 ± 1.81) D. Uncorrected visual acuity (UCVA), best spectacle-corrected visual acuity (BSCVA), spherical and cylindrical diopter, SE, and wavefront aberrations were recorded pre-ablation, 1 month, 3 and 6 months post-ablation.  
• **RESULTS:** Changes of C7, C12, RMS3-6 and RMSH positively correlated with changes of spherical, cylindrical diopter and SE. C7, RMS3, RMS6 and RMSH of ASA group were smaller compared with LASIK group at 1<sup>st</sup>

month post-operation; C7 and C14 of ASA were also smaller at 3<sup>rd</sup> month post-operation, while C12 of LASIK was smaller; only C14 of ASA was smaller than LASIK at 6<sup>th</sup> month post-operation. Compared with LASIK group, changes of RMS3, RMS5, RMS6 and RMSH in ASA group were smaller at 1<sup>st</sup> month post-operation; changes of RMS6 in ASA was smaller at 3 months post-operation; changes of RMS3, RMS6 and RMSH in ASA were smaller at 6<sup>th</sup> month post-operation.

• **CONCLUSION:** Increase of HOA positively correlate with changes of SE and spherical diopter. Both HOA and its increase in ASA group are smaller when compare with LASIK group, which maintain until 6 months post-operation.

• **KEYWORDS:** myopia; laser *in situ* keratomileusis; laser epithelial keratomileusis; epipolis laser *in situ* keratomileusis; wavefront aberration

Li Q, Li Y, Long Q, *et al.* Comparison of wavefront aberrations between surface ablation and stromal ablation surgeries. *Guji Yanke Zazhi (Int J Ophthalmol)* 2011;11(1):51-55

### 摘要

**目的:** 比较分析角膜表层与基质层屈光手术后高阶像差及其变化值。

**方法:** 行准分子激光治疗的近视眼患者 100 例 200 眼, 其中接受 LASIK 手术 50 例 100 眼, 接受新型表层手术 (ASA) 50 例 100 眼。LASIK 手术组术前等效球镜度 (SE) 为 -1.25 ~ -9.25 (平均 -5.75 ± 1.74) D, ASA 手术组术前 SE 为 -2 ~ -9.25 (平均 -5.42 ± 1.81) D。术前及术后 1, 3, 6mo 检查裸眼视力 (UCVA)、最佳矫正视力 (BSCVA)、球镜及柱镜度数、SE 以及波前像差等。

**结果:** C7, C12, RMS3, RMS4, RMS5, RMS6 和 RMSH 的变化值均和球镜度变化值、SE 变化值的绝对值显著正相关。术后 1mo, ASA 组 C7 绝对值、RMSH, RMS3 和 RMS6 均显著小于 LASIK 组; 术后 3mo 时, ASA 组 C7 和 C14 显著小于 LASIK 组, LASIK 组 C12 显著小于 ASA 组; 术后 6mo 时, ASA 组仅 C14 显著优于 LASIK 组。术后 1mo 时, ASA 组 RMS3, RMS5, RMS6 和 RMSH 的变化值均显著小于 LASIK 组, 术后 3mo 时, ASA 组 RMS6 变化值显著小于 LASIK 组, 术后 6mo 时, ASA 组 RMS3, RMS6 和 RMSH 的变化值显著小于 LASIK 组。

**结论:** 高阶像差增大程度与球镜度及 SE 的变化程度正相关。ASA 组术后高阶像差及其增大程度均小于 LASIK 组, 术后 6mo 时两组差异仍显著。

**关键词:** 近视; 准分子激光原位角膜磨镶术; 准分子激光上皮下角膜磨镶术; 微型角膜刀准分子激光原位角膜磨镶术; 波前像差

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5123.2011.01.018

李俏,李莹,龙琴,等. 准分子激光角膜表层手术与基质层手术对眼波前像差的比较. 国际眼科杂志 2011;11(1):51-55

## 0 引言

波前像差正逐渐成为一项重要的视觉质量评价参数,而准分子激光屈光手术的发展在对波前像差的认识到重大作用。1990年代出现的准分子激光原位角膜磨镶术(laser *in situ* keratomileusis, LASIK)由于其术后视力恢复快、屈光状态稳定、疼痛轻微等优点代替准分子激光角膜表面切削术(photorefractive keratectomy, PRK)而成为目前最常用于治疗屈光不正的手术方法。准分子激光上皮下角膜磨镶术(laser epithelial keratomileusis, LASEK)和微型角膜刀准分子激光原位角膜磨镶术(epipolis laser *in situ* keratomileusis, Epi-LASIK)是近几年出现的新型角膜表层手术(advanced surface ablation, ASA),与LASIK中联合部分角膜基质的角膜瓣不同,新型表层屈光手术将角膜上皮基底细胞层与角膜前弹力层分离,制作得到角膜上皮瓣。术中余留较多角膜基质扩大了屈光度数矫治范围,并且尤其对角膜较薄、角膜曲率平坦或陡峭的术后圆锥角膜高风险患者<sup>[1]</sup>;同时,由于不受角膜基质厚度的限制,表层手术尤其适用于LASIK术后出现瓣相关并发症或者屈光度欠矫而需要二次手术的患者<sup>[2-4]</sup>;另外,此类手术在个性化切削中也有较好表现,像差引导的新型表层手术可获得更佳术后视力<sup>[5]</sup>,因此LASEK和Epi-LASIK在临床上逐渐受到广泛的认可和应用<sup>[6]</sup>。近年对ASA和LASIK临床效果进行了对比<sup>[7-9]</sup>,基本肯定了LASEK和Epi-LASIK良好的安全性、有效性以及可预测性。但是对比ASA同常规LASIK高阶像差变化情况的长期研究并不多见,并且由于表层屈光手术后角膜上皮愈合反应强烈,常需要3mo甚至6mo及其以上才达到稳定状态<sup>[10]</sup>,因此有必要进行长期随访对比研究以评价两种手术类型对高阶像差影响的差异。针对这一现状,我们对ASA和LASIK术后3,6mo时像差的变化情况进行比较,以进一步理解不同手术方式对术后视觉质量的影响,同时结合两类手术特点为患者选择术式以及个性化手术方式的选择提供依据。

## 1 对象和方法

**1.1 对象** 我院2007-08/2008-05行准分子激光治疗近视眼患者100例200眼,男38例76眼,女62例124眼,年龄18~40(平均 $28.6 \pm 6.3$ )岁。LASIK手术50例100眼,ASA患者50例100眼,其中行LASEK者28例56眼,行Epi-LASIK者22例44眼。LASIK手术组术前等效球镜度(SE)为-1.25~-9.25(平均 $-5.75 \pm 1.74$ )D,ASA手术组术前SE为-2~-9.25(平均 $-5.42 \pm 1.81$ )D,两组术前SE差异无统计学意义( $P=0.184$ )。LASIK手术前由临床医师向患者充分说明不同手术方式的适应人群、操作方法、特点以及优缺点,并结合患者术前各项检查结果,由患者本人选择手术方式。为保证LASIK术中角膜基质床厚度 $>280\mu\text{m}$ ,对于角膜薄、球柱镜度数高、以及从事危险职业和/或眼部易受伤的患者,医师推荐或患者自选行表层手术。所有入选患者均符合常规手术标准(表1)。

**1.2 方法** 使用WaveLight Allegretto(鹰视世纪波)准分子激光治疗器进行手术。常规手术,按照患者术前选择的方式进行LASEK,Epi-LASIK或LASIK手术。根据患者暗室中瞳孔直径、拟矫屈光度数、激光切削深度选择激光治疗区6~6.5mm,过渡区8.5~9mm。行LASIK者术后使用典必殊(妥布霉素+地塞米松)qid,10~14d。行LASEK

和Epi-LASIK者术后使用典必殊qid,10~14d,之后改用5g/L艾氟龙qid,14d,后改为tid并逐渐减量直至术后3mo时停用。术后7~10d检查角膜上皮无水肿、愈合不良可取出治疗性角膜接触镜,若观察角膜上皮存在地图样小片水肿时则延迟24h以上取镜<sup>[11]</sup>。所有入选病例进行术前及术后1,3,6mo常规检查并记录相关资料,其中与视觉质量相关的内容包括裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)、最佳矫正视力(best spectacle corrected visual acuity, BSCVA)、球镜及柱镜度数、等效球镜度(spherical equivalent, SE)以及波前像差(wavefront aberration, WA)。波前像差的测量采用由德国WaveLight公司生产的WaveLight Allegretto鹰视波前像差仪,其设计基于Tscherming工作原理。检查方法:用5g/L复方托吡卡胺滴眼液散瞳1次,20min后瞳孔直径 $>7.0\text{mm}$ 时在同一暗室环境下行波前像差检查。所有检查均由同一人操作,每只眼重复检查5次,最后选择原始摄图对焦最理想、中心偏位最少、采集矩阵光束点最全、低阶像差与散瞳验光误差最小、高阶像差图形和均方根(root meansquare, RMS)值重复性最好的1次检查结果用于分析。使用WaveLight波前像差仪软件选择瞳孔直径为6.0mm,并记录总高阶像差的RMS值(RMS<sub>H</sub>)、第3,4,5和6阶像差的RMS值(RMS<sub>3~6</sub>)、以及前2~4阶12项Zernike多项式系数值(C<sub>3~14</sub>,即Z<sub>-2/2~Z<sub>4/4</sub></sub>)。

统计学分析:使用SPSS 15.0软件包进行描述性统计、独立样本 $t$ 检验、配对样本 $t$ 检验、Pearson相关性分析和一元线性回归分析, $P<0.05$ 为有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 各阶像差对比** 据1,3,6mo时C<sub>7</sub>,C<sub>12</sub>,C<sub>14</sub>绝对值均极显著或显著大于术前,约为术前的7~8倍;RMS<sub>H</sub>及3,4,5,6各阶像差RMS值均极显著( $P<0.01$ )大于术前,约为术前的3倍;另外术后C<sub>6</sub>,C<sub>8</sub>,C<sub>9</sub>也在某些时间与术前有显著差异。比较术后1和3mo,3和6mo之间的像差及RMS值发现仅个别项有显著差异,但无规律变化(表2)。

**2.2 术后高阶像差与球柱镜度数间的关系** 术后1,3,6mo时C<sub>4</sub>,C<sub>7</sub>,RMS<sub>3</sub>,RMS<sub>5</sub>和RMS<sub>H</sub>的变化值均和球镜度变化值极显著或显著正相关;同时,3和6mo时C<sub>12</sub>和RMS<sub>4</sub>的变化值和球镜度变化值极显著正相关( $P<0.01$ )。柱镜度变化值仅和C<sub>5</sub>的变化值极显著正相关( $P<0.01$ ),与其他各项相关性无明显规律。1,3,6mo时C<sub>4</sub>,C<sub>7</sub>,C<sub>12</sub>,RMS<sub>3</sub>,RMS<sub>5</sub>和RMS<sub>H</sub>的变化值均和SE变化值极显著或显著正相关;在部分时间点,RMS<sub>4</sub>和RMS<sub>6</sub>的变化值和SE变化值也极显著或显著正相关(表3)。

**2.3 不同手术方式的术后对比** 经过独立样本 $t$ 检验,术后1,3,6mo时ASA组与LASIK组球柱镜度数变化值没有显著性差异。术后1mo时,ASA组C<sub>7</sub>的绝对值、RMS<sub>H</sub>,RMS<sub>3</sub>和RMS<sub>6</sub>值显著( $P<0.05$ )小于LASIK组;术后3mo时ASA组C<sub>7</sub>的绝对值、C<sub>14</sub>和RMS<sub>6</sub>的值显著优于LASIK组,但LASIK组C<sub>12</sub>值显著小于ASA组( $P<0.05$ );术后6mo时ASA组C<sub>14</sub>的值显著小于LASIK组( $P<0.05$ ,表4),随着时间延长,ASA组优于LASIK组的像差项数减少,术后3和6mo时ASA组的RMS<sub>H</sub>值均小于LASIK组,但无统计学显著差异。术后1mo时,ASA组RMS<sub>H</sub>和RMS<sub>3</sub>的变化值极显著( $P<0.01$ )小于LASIK组,ASA组C<sub>5</sub>,RMS<sub>5</sub>和RMS<sub>6</sub>的变化值显著( $P<0.05$ )小于LASIK组。术后3mo时,ASA组C<sub>5</sub>的变化值极显著小于LASIK

表1 近视眼患者手术前资料

	术式	最小值~最大值	$\bar{x} \pm s$	<i>P</i>
术前球镜度数(D)	ASA	-9.0~0.0	-5.0±2.0	0.144
	LASIK	-9.2~-1.0	-5.6±1.8	
术前柱镜度数(D)	ASA	-5.5~0.5	-0.7±1.0	0.408
	LASIK	-2.5~0.0	-0.6±0.6	
术前等效球镜度数(D)	ASA	-9.2~-2.0	-5.4±1.8	0.186
	LASIK	-9.2~-1.2	-5.9±1.8	
术前最佳矫正视力	ASA	0.9~1.2	1.1±0.1	0.165
	LASIK	0.9~1.2	1.1±0.1	
术前眼压(mmHg)	ASA	9.1~18.0	14.2±2.2	0.000
	LASIK	12.0~23.0	15.9±2.2	

表2 术前后像差各项系数及各高阶总像差均值

	$\bar{x} \pm s$			
	术前	1mo	3mo	6mo
C3	0.009±0.272	-0.000±0.355	-0.017±0.320	-0.021±0.250
C4	4.352±1.034	0.387±0.481 <sup>b</sup>	0.623±0.501 <sup>b</sup>	0.825±0.421 <sup>b</sup>
C5	-0.326±0.472	-0.006±0.474 <sup>b</sup>	-0.043±0.389 <sup>b</sup>	-0.018±0.444 <sup>b</sup>
C6	-0.053±0.124	0.006±0.295	-0.036±0.216	-0.004±0.174 <sup>a</sup>
C7	0.037±0.152	-0.275±0.303 <sup>b</sup>	-0.296±0.344 <sup>b</sup>	-0.224±0.328 <sup>b</sup>
C8	0.027±0.097	0.073±0.356	0.129±0.384 <sup>a</sup>	0.129±0.373 <sup>a</sup>
C9	0.015±0.107	-0.057±0.239 <sup>b</sup>	-0.049±0.185 <sup>b</sup>	-0.025±0.142
C10	-0.004±0.068	-0.005±0.189	-0.009±0.121	-0.042±0.142
C11	-0.003±0.049	-0.022±0.126	-0.012±0.104	-0.001±0.079
C12	0.034±0.088	0.268±0.129 <sup>b</sup>	0.259±0.106 <sup>b</sup>	0.261±0.108 <sup>b</sup>
C13	-0.000±0.059	0.006±0.115	-0.001±0.119	0.002±0.099
C14	-0.005±0.070	0.037±0.148 <sup>a</sup>	0.046±0.098 <sup>b</sup>	0.064±0.143 <sup>b</sup>
RMS <sub>h</sub>	0.181±0.065	0.466±0.192 <sup>b</sup>	0.445±0.175 <sup>b</sup>	0.424±0.142 <sup>b</sup>
RMS <sub>3</sub>	0.135±0.066	0.351±0.183 <sup>b</sup>	0.358±0.179 <sup>b</sup>	0.325±0.147 <sup>b</sup>
RMS <sub>4</sub>	0.087±0.036	0.239±0.104 <sup>b</sup>	0.212±0.075 <sup>b</sup>	0.220±0.081 <sup>b</sup>
RMS <sub>5</sub>	0.051±0.025	0.119±0.066 <sup>b</sup>	0.094±0.048 <sup>b</sup>	0.092±0.045 <sup>b</sup>
RMS <sub>6</sub>	0.042 0.000	0.087±0.055 <sup>b</sup>	0.076±0.038 <sup>b</sup>	0.073±0.044 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>*P*<0.05, <sup>b</sup>*P*<0.01。

表3 像差变化值同球镜和柱镜及等效球镜度数变化值的相关性

	球镜度数			柱镜度数			等效球镜度		
	1mo	3mo	6mo	1mo	3mo	6mo	1mo	3mo	6mo
D-C3	-0.001	-0.099	0.136	-0.014	0.052	-0.424 <sup>b</sup>	-0.004	-0.088	0.033
D-C4	-0.920 <sup>b</sup>	-0.923 <sup>b</sup>	-0.896 <sup>b</sup>	-0.174	-0.131	-0.222	-0.928 <sup>b</sup>	-0.949 <sup>b</sup>	-0.944 <sup>b</sup>
D-C5	0.078	-0.020	0.269 <sup>a</sup>	0.373 <sup>b</sup>	0.578 <sup>b</sup>	0.538 <sup>b</sup>	0.159	0.100	0.397 <sup>b</sup>
D-C6	0.670	-0.290	-0.332 <sup>b</sup>	0.293 <sup>b</sup>	0.099	0.459 <sup>b</sup>	0.130	-0.008	-0.219
D-C7	-0.262 <sup>a</sup>	-0.353 <sup>b</sup>	-0.482 <sup>b</sup>	-0.171	0.056	0.351 <sup>b</sup>	-0.292 <sup>b</sup>	-0.341 <sup>b</sup>	-0.394 <sup>b</sup>
D-C8	0.043	0.109	0.032	0.069	-0.115	-0.037	0.057	0.084	0.023
D-C9	-0.049	-0.096	0.231	-0.216 <sup>a</sup>	-0.090	-0.491 <sup>b</sup>	-0.096	-0.115	0.112
D-C10	0.005	0.113	-0.065	0.051	0.053	-0.095	0.016	0.124	-0.087
D-C11	-0.089	-0.171	0.040	-0.025	-0.099	0.099	-0.092	-0.191 <sup>a</sup>	0.064
D-C12	0.177	0.525 <sup>b</sup>	0.480 <sup>b</sup>	0.182	-0.030	-0.264 <sup>a</sup>	0.212 <sup>a</sup>	0.518 <sup>b</sup>	0.414 <sup>b</sup>
D-C13	0.033	0.017	-0.051	-0.199	-0.167	0.049	-0.013	-0.018	-0.039
D-C14	0.068	0.006	0.196	0.229 <sup>a</sup>	-0.143	0.183	0.117	-0.023	0.239
D-RMS <sub>h</sub>	0.404 <sup>b</sup>	0.432 <sup>b</sup>	0.615 <sup>b</sup>	0.333 <sup>b</sup>	-0.013	-0.448 <sup>b</sup>	0.465 <sup>b</sup>	0.428 <sup>b</sup>	0.503 <sup>b</sup>
D-RMS <sub>3</sub>	0.391 <sup>b</sup>	0.391 <sup>b</sup>	0.532 <sup>b</sup>	0.338 <sup>b</sup>	0.024	-0.453 <sup>b</sup>	0.454 <sup>b</sup>	0.396 <sup>b</sup>	0.419 <sup>b</sup>
D-RMS <sub>4</sub>	0.146	0.320 <sup>b</sup>	0.528 <sup>b</sup>	0.186	-0.110	-0.327 <sup>b</sup>	0.182	0.297 <sup>b</sup>	0.446 <sup>b</sup>
D-RMS <sub>5</sub>	0.406 <sup>b</sup>	0.336 <sup>b</sup>	0.432 <sup>b</sup>	0.180	-0.139	-0.126	0.432 <sup>b</sup>	0.306 <sup>b</sup>	0.399 <sup>b</sup>
D-RMS <sub>6</sub>	0.232 <sup>a</sup>	0.190	0.490 <sup>b</sup>	0.420	-0.220 <sup>a</sup>	-0.860	0.234 <sup>a</sup>	0.144	0.466 <sup>b</sup>

<sup>a</sup>*P*<0.05, <sup>b</sup>*P*<0.01。

表4 术后ASA组与LASIK组像差比较  $\bar{x} \pm s$

	术式	1mo	3mo	6mo
C3	ASA	-0.046 ± 0.186	-0.049 ± 0.205	-0.021 ± 0.216
	LASIK	0.019 ± 0.405	-0.008 ± 0.348	-0.020 ± 0.268
C4	ASA	0.305 ± 0.456	0.783 ± 0.474	0.867 ± 0.406
	LASIK	0.421 ± 0.491	0.577 ± 0.502	0.805 ± 0.432
C5	ASA	-0.048 ± 0.338	-0.099 ± 0.358	-0.204 ± 0.597
	LASIK	0.011 ± 0.520	-0.027 ± 0.398	0.073 ± 0.318
C6	ASA	-0.023 ± 0.177	-0.071 ± 0.168	-0.027 ± 0.150
	LASIK	0.017 ± 0.332	-0.025 ± 0.228	0.008 ± 0.185
C7	ASA	-0.169 ± 0.284 <sup>a</sup>	-0.185 ± 0.185 <sup>a</sup>	-0.187 ± 0.292
	LASIK	-0.317 ± 0.303 <sup>a</sup>	-0.329 ± 0.373 <sup>a</sup>	-0.241 ± 0.348
C8	ASA	0.101 ± 0.313	0.174 ± 0.443	0.126 ± 0.408
	LASIK	0.062 ± 0.373	0.116 ± 0.367	0.131 ± 0.359
C9	ASA	-0.061 ± 0.191	-0.019 ± 0.189	-0.048 ± 0.117
	LASIK	-0.055 ± 0.258	-0.058 ± 0.183	-0.014 ± 0.153
C10	ASA	-0.025 ± 0.109	-0.011 ± 0.107	-0.047 ± 0.104
	LASIK	0.004 ± 0.215	-0.008 ± 0.126	-0.039 ± 0.158
C11	ASA	-0.019 ± 0.109	-0.012 ± 0.073	-0.005 ± 0.073
	LASIK	-0.023 ± 0.132	-0.012 ± 0.112	0.001 ± 0.083
C12	ASA	0.272 ± 0.137	0.299 ± 0.085 <sup>a</sup>	0.272 ± 0.114
	LASIK	0.267 ± 0.127	0.248 ± 0.109 <sup>a</sup>	0.255 ± 0.105
C13	ASA	0.001 ± 0.091	0.030 ± 0.111	0.027 ± 0.082
	LASIK	0.008 ± 0.125	-0.011 ± 0.119	-0.010 ± 0.105
C14	ASA	0.005 ± 0.094	0.01 ± 0.092 <sup>a</sup>	0.008 ± 0.138 <sup>a</sup>
	LASIK	0.049 ± 0.164	0.057 ± 0.098 <sup>a</sup>	0.092 ± 0.139 <sup>a</sup>
RMS <sub>h</sub>	ASA	0.393 ± 0.134 <sup>a</sup>	0.411 ± 0.156	0.413 ± 0.123
	LASIK	0.495 ± 0.205 <sup>a</sup>	0.455 ± 0.18	0.429 ± 0.152
RMS <sub>3</sub>	ASA	0.285 ± 0.136 <sup>a</sup>	0.312 ± 0.171	0.316 ± 0.130
	LASIK	0.378 ± 0.194 <sup>a</sup>	0.371 ± 0.18	0.329 ± 0.156
RMS <sub>4</sub>	ASA	0.214 ± 0.092	0.226 ± 0.063	0.219 ± 0.068
	LASIK	0.248 ± 0.107	0.208 ± 0.078	0.221 ± 0.087
RMS <sub>5</sub>	ASA	0.101 ± 0.048	0.084 ± 0.043	0.088 ± 0.052
	LASIK	0.127 ± 0.071	0.097 ± 0.049	0.095 ± 0.041
RMS <sub>6</sub>	ASA	0.069 ± 0.035 <sup>a</sup>	0.059 ± 0.026 <sup>a</sup>	0.069 ± 0.047
	LASIK	-0.095 ± 0.059 <sup>a</sup>	0.081 ± 0.039 <sup>a</sup>	0.076 ± 0.043

<sup>a</sup> $P < 0.05$ , <sup>b</sup> $P < 0.01$ 。

组( $P < 0.01$ ); ASA组C4和RMS6的变化值显著小于LASIK组( $P < 0.05$ )。术后6mo时, ASA组C5, RMS<sub>h</sub>和RMS<sub>3</sub>和RMS<sub>6</sub>的变化值显著小于LASIK组, C9的变化值显著大于LASIK组。其余值两组间无显著差异。总体看来, 术后ASA组总高阶像差的增加值小于LASIK组的增加值, 差异有显著性(表5)。

### 3 讨论

随着准分子激光手术理论和技术的发展, 人们对波前像差的研究和认识也在不断深入。准分子激光手术后低阶像差减少伴有高阶像差增大已经成为共识, 但关于高阶像差增大程度的影响因素仍处于不断的研究和完善中, 研究者们尤其对于各种新型手术方式术后高阶像差的比较也更加关注, 以期对手术方式的选择提供指导。本研究验证了术后高阶像差的增加程度和变化情况。可见术后C7(水平彗差), C12(球差), C14(四叶草)的绝对值均极显著或显著大于术前, 1mo时平均约为术前7~9倍, 其中C7和C12值最大, 构成了术后高阶像差的主要部分; 同时, 各高阶总像差RMS值及RMS<sub>h</sub>值均极显著( $P < 0.01$ )大于术前, 1mo时平均约为术前3倍; 另外术后C6, C8, C9也在某些时间与术前有显著差异。观察术后各像差均值发现, 各高阶总像差RMS值以及RMS<sub>h</sub>值随时间均呈减

表5 术后ASA组与LASIK组像差的变化值  $\bar{x} \pm s$

	术式	1mo	3mo	6mo
D-C3	ASA	-0.069 ± 0.280	-0.108 ± 0.261	-0.288 ± 1.054
	LASIK	0.014 ± 0.475	-0.003 ± 0.402	-0.072 ± 0.373
D-C4	ASA	-3.848 ± 1.188	-3.356 ± 1.067 <sup>a</sup>	-3.121 ± 1.032
	LASIK	-4.012 ± 1.187	-3.886 ± 1.096 <sup>a</sup>	-3.688 ± 1.127
D-C5	ASA	0.115 ± 0.568 <sup>a</sup>	0.058 ± 0.356 <sup>b</sup>	0.237 ± 0.373 <sup>a</sup>
	LASIK	0.404 ± 0.589 <sup>a</sup>	0.418 ± 0.496 <sup>b</sup>	0.559 ± 0.472 <sup>a</sup>
D-C6	ASA	0.008 ± 0.219	-0.013 ± 0.151	0.064 ± 0.246
	LASIK	0.079 ± 0.325	0.029 ± 0.219	0.043 ± 0.165
D-C7	ASA	-0.229 ± 0.319	-0.271 ± 0.267	-0.179 ± 0.369
	LASIK	-0.345 ± 0.341	-0.356 ± 0.382	-0.239 ± 0.332
D-C8	ASA	0.095 ± 0.322	0.162 ± 0.474	0.144 ± 0.429
	LASIK	0.027 ± 0.407	0.084 ± 0.391	0.100 ± 0.354
D-C9	ASA	-0.094 ± 0.177	-0.062 ± 0.172	-0.160 ± 0.356 <sup>a</sup>
	LASIK	-0.062 ± 0.237	-0.064 ± 0.189	-0.006 ± 0.151 <sup>a</sup>
D-C10	ASA	-0.014 ± 0.134	0.005 ± 0.118	-0.038 ± 0.134
	LASIK	0.005 ± 0.216	-0.005 ± 0.139	-0.029 ± 0.145
D-C11	ASA	-0.007 ± 0.119	-0.005 ± 0.069	0.002 ± 0.090
	LASIK	-0.023 ± 0.137	-0.012 ± 0.127	-0.002 ± 0.086
D-C12	ASA	0.236 ± 0.124	0.272 ± 0.110	0.245 ± 0.129
	LASIK	0.234 ± 0.137	0.219 ± 0.127	0.208 ± 0.101
D-C13	ASA	0.009 ± 0.103	0.029 ± 0.109	0.039 ± 0.093
	LASIK	0.006 ± 0.127	-0.008 ± 0.133	-0.009 ± 0.123
D-C14	ASA	0.023 ± 0.138	0.033 ± 0.095	0.055 ± 0.184
	LASIK	0.049 ± 0.173	0.059 ± 0.109	0.101 ± 0.148
D-RMS <sub>h</sub>	ASA	0.197 ± 0.152 <sup>b</sup>	0.218 ± 0.174	0.161 ± 0.225 <sup>a</sup>
	LASIK	0.321 ± 0.206 <sup>b</sup>	0.277 ± 0.187	0.259 ± 0.144 <sup>a</sup>
D-RMS <sub>3</sub>	ASA	0.134 ± 0.161 <sup>b</sup>	0.155 ± 0.179	0.109 ± 0.236 <sup>a</sup>
	LASIK	0.249 ± 0.198 <sup>b</sup>	0.239 ± 0.193	0.208 ± 0.145 <sup>a</sup>
D-RMS <sub>4</sub>	ASA	0.126 ± 0.095	0.147 ± 0.075	0.120 ± 0.068
	LASIK	0.162 ± 0.102	0.120 ± 0.079	0.131 ± 0.084
D-RMS <sub>5</sub>	ASA	0.045 ± 0.055 <sup>a</sup>	0.032 ± 0.051	0.011 ± 0.084
	LASIK	0.077 ± 0.072 <sup>a</sup>	0.047 ± 0.051	0.043 ± 0.045
D-RMS <sub>6</sub>	ASA	0.024 ± 0.049 <sup>a</sup>	0.017 ± 0.038 <sup>a</sup>	0.008 ± 0.039 <sup>a</sup>
	LASIK	0.054 ± 0.057 <sup>a</sup>	0.038 ± 0.044 <sup>a</sup>	0.036 ± 0.046 <sup>a</sup>

<sup>a</sup> $P < 0.05$ , <sup>b</sup> $P < 0.01$ 。

小趋势, 提示术后视觉质量有随时间进一步改善的可能, 但进行统计分析仅个别项有显著差异, 并无一致性规律变化, 提示术后高阶像差随时间的变化个体间差异较大, 是否呈减小趋势有待更大样本数据分析的结果。由上可知术后高阶像差的增大程度存在一定规律, 同时存在个体差异, 因此深入了解术后高阶像差增大程度的影响因素, 了解手术及患者自身因素与术后像差变化的相关性, 将有助于手术医师在术前为患者制定最佳个体化手术方案, 从而减少术后高阶像差增加, 进而可能获得更佳术后视觉效果。本研究进一步分析了球柱镜度数变化程度、不同手术制瓣方式对术后高阶像差增大程度的影响。

我们研究对手术前后屈光度和像差变化情况对比分析后可见, 在二阶像差中, C4变化程度与球镜度和SE变化程度均极显著相关, 但只有C5(90°散光)的变化值和柱镜度数变化值存在极显著相关性, 且相关系数为正; C3(45°散光)变化值与柱镜变化值无关, 在上一步分析中C3在手术前后也无显著差异, 可认为90°散光比45°散光受激光切削的影响更显著。在高阶像差中, 1, 3, 6mo时C7, C12, RMS<sub>3</sub>, RMS<sub>5</sub>和RMS<sub>h</sub>的变化值以及部分时间点RMS<sub>4</sub>, RMS<sub>6</sub>的变化值均和球镜度变化值、SE变化值极显著或显著相关; 同时, 根据回归方程可见, 各阶总高阶像差

增大的程度均随着球镜度数和 SE 变化值的增加而增大。因此,本研究结果显示,术前屈光度在-1.25 ~ -9.25D 范围内时,术后主要高阶像差 C7, C12 以及各阶总像差增大程度均与屈光度的矫正程度显著正相关。国内有研究显示术后像差受到角膜切削深度和范围的影响,随着角膜切除深度的增大,术后高阶像差发生显著性变化的项数均将逐渐增多,屈光度变化较大的患者其角膜切除深度也较大,这一点与本研究结果相符。另外有研究表明切削范围也和高阶像差的变化程度相关。Mok 等<sup>[12]</sup>按照切削光学区直径大小不同(分别为 < 6.5mm, = 6.5mm 和 > 6.5mm)将 96 眼分成 3 组进行对比,发现光学区直径 < 6.5mm 组术后彗差明显大于其他两组,并且光学区 > 6.5mm 组总高阶像差也显著小于光学区 < 6.5mm 组。可见,切削范围越大,术后高阶像差或者高阶像差的某些项越小。切削深度与切削范围对高阶像差的影响考虑主要有以下一些因素:角膜表面对总像差起到较大影响,而进行激光切削后,原有平缓渐进的曲面发生变化,切除区域越小、切除深度越大,平缓渐进性越差,这是导致球差、彗差等增大的主要原因。此外,低阶像差和高阶像差之间存在相关性,而常规激光角膜切削只是对离焦和散光等低阶像差的矫正,没有考虑其他多项高阶像差;光学系统的众多像差互相关联并相互影响,单一方面消除某种像差势必引起其他像差的增大。不同手术方式对术后高阶像差变化值的影响存在差异,目前相关研究显示 ASA 具有良好安全性、有效性和可预测性,其术后视力和视觉质量类似或者优于 LASIK;同 LASIK 相比具有保留角膜组织更多、适用患者人群更广、无瓣相关并发症等优越性,但由于 LASEK 和 EPI-LASIK 术后初期疼痛、haze 发生率较高、术后需要用激素长期随访等原因,目前 LASIK 仍是主要的屈光矫治手术方式。

我们的本研究对 ASA 和 LASIK 术前以及术后部分检查指标进行了对比。对比两组球镜度数、柱镜度数、等效球镜度的变化值均无显著差异,术后两组各时间点的 SE 及 UCVA 均无显著差异,可除外其对高阶像差的影响。分别比较两组术后的高阶像差及其变化值,可见两组术后各阶总像差以及总高阶像差均显著增加,各像差项中以水平彗差和球差的增加为主,但是同 ASA 组相比,LASIK 组术后存在显著差异的项数更多,三叶草和四叶草像差也显著增大;且 6mo 时 ASA 组显著增大的像差阶数明显少于 LASIK 组。横向比较两组像差可见,术后 1mo 时,ASA 组水平彗差、总高阶像差以及 3 阶、6 阶像差值均显著小于 LASIK 组;术后 3 和 6mo 时 ASA 组总高阶像差的均值仍小于 LASIK 组,但无统计学显著差异,ASA 组的优势已不显著。进一步比较两组像差的变化值可见,术后 1 和 6mo 时,ASA 组总高阶像差以及 3,5,6 阶总像差的变化值均显著小于 LASIK 组;术后 3mo 时,ASA 组仅第 6 阶总像差的变化值显著小于 LASIK 组。综上所述,ASA 组总高阶像差及其增加值显著优于 LASIK 组;这一差异在 3mo 时减小,可能与此时患者用药状态发生变化有关,但在术后 6mo 时此差异仍具有显著性,提示表层手术后高阶像差的增大程度在术后早期直至 6mo 小于 LASIK 手术。分析不同手术组间高阶像差存在差异的原因可能与角膜瓣和角膜上皮瓣的区别有关。2005 年 Potgieter 等<sup>[13]</sup>对 15 例 29 眼单纯制作角膜瓣,没有进行激光切削,认为角膜瓣的制作是导致角膜形态改变和高阶像差产生的原因。这一结论较好的印证了本研究的结果,由于 LASIK 手术所制作

的角膜瓣带有部分基质,角膜瓣本身可能引起高阶像差增大,而表层手术中更薄的上皮瓣对角膜生物力学反应影响很小,所以 ASA 术后对高阶像差的影响显著小于 LASIK 手术的影响。另外,LASIK 术中制作角膜瓣时可能造成角膜基质床的不规则,切削结束后,切削区域的表面积小于术前,角膜瓣会产生轻微的小皱褶;虽然本研究行 LASIK 手术患者在术后随访中未发现明显瓣下皱褶,但不排除细微皱褶、移位的可能性,而表层手术患者则不会出现这种情况,因此,角膜瓣和角膜上皮瓣的差异可能是 LASIK 术后高阶像差大于 ASA 的原因。对比表层屈光手术与 LASIK 的像差改变将为患者选择手术方式提供更多依据。随着个性化手术的发展,很多学者认为,ASA 比常规 LASIK 更适合进行像差引导的个性化手术<sup>[5]</sup>。Chung 等<sup>[14]</sup>根据患者意愿行像差引导的 LASIK 或 LASEK 术后对比 HOA 发现,1mo 时像差引导 LASIK 组的球差和次级彗差显著低于像差引导 LASEK,但 3mo 之后两组 HOA 无显著差异。可见,ASA 在个体化切削中已显示出一定优势,但关于两种手术方式的比较还需要长期研究证实。综上所述,高阶像差增大程度与球镜度及 SE 的变化程度正相关。ASA 组术后高阶像差及其增大程度均小于 LASIK 组,6mo 时两组差异仍显著。更长时间的差异还有待进一步观察。

#### 参考文献

- 1 Randleman JB, Woodward M, Lynn MJ, et al. Risk assessment for ectasia after corneal refractive surgery. *Ophthalmology* 2008;115:37-50
- 2 Taneri S. Epi-LASIK after amputation of a LASIK flap. *J Refract Surg* 2006;22:613-616
- 3 Li Y, Li JH, Zhou F. LASEK for the correction of residual myopia and astigmatism after LASIK. *Zhonghua Yankezhazhi* 2005;41:981-985
- 4 Beerthuis JJ, Siebelt E. Surface ablation after laser *in situ* keratomileusis: retreatment on the flap. *J Cataract Refract Sur* 2007;33:1376-1380
- 5 Randleman JB, Loft ES, Banning CS, et al. Outcomes of wavefront-optimized surface ablation. *Ophthalmology* 2007;114:983-988
- 6 Duffey RJ, Leaming D. US trends in refractive surgery: 2004 ISRS/AAO survey. *J Refract Surg* 2005;21:742-748
- 7 Teus MA, de Benito-Llopi L, Sanchez-Pina JM. LASEK versus LASIK for the correction of moderate myopia. *Optom Vis Sci* 2007;84:605-610
- 8 Tietjen A, Muller C, Sekundo W. A prospective intraindividual comparison between laser *in situ* keratomileusis and laser subepithelial keratectomy for myopia: 1-year follow-up results. *Ophthalmologie* 2008;105(10):921-926
- 9 Gamaly TO, El Danasoury A, El Maghraby A. A prospective, randomized, contralateral eye comparison of epithelial laser *in situ* keratomileusis and photorefractive keratectomy in eyes prone to haze. *J Refract Surg* 2007;23:S1015-1020
- 10 Katsanevaki VJ, Kalyvianaki MI, Kavroulaki DS, et al. One-year clinical results after epi-LASIK for myopia. *Ophthalmology* 2007;114:1111-1117
- 11 Zhou XT, Chu RY, Wang XY, et al. The clinical study of the epithelial flap of painless LASEK and Epi-LASIK. *Zhonghua Yankezhazhi* 2005;41:977-980
- 12 Mok KH, Lee VW. Effect of optical zone ablation diameter on LASIK-induced higher order optical aberrations. *J Refract Sur* 2005;21:141-143
- 13 Potgieter FJ, Roberts C, Cox IG, et al. Prediction of flap response. *J Cataract Refract Sur* 2005;31:106-114
- 14 Chung SH, Lee IS, Lee YG, et al. Comparison of higher-order aberrations after wavefront-guided laser *in situ* keratomileusis and laser-assisted subepithelial keratectomy. *J Cataract Refract Sur* 2006;32:779-784