

角膜缘松解切开术矫正白内障术前散光对角膜高阶像差的影响

刘洋 赵少贞 杨瑞波 刘慧 赵金荣

300384 天津医科大学眼科医院 天津医科大学眼科研究所 天津医科大学眼视光学院

通信作者:赵少贞, Email: zhaosz1997@sina.com

DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2016. 03. 016

【摘要】 **背景** 白内障超声乳化摘出术联合角膜缘松解切开术(LRI)矫正白内障术前散光是有效的,但由于其改变了角膜形态,对角膜高阶像差的影响尚不清楚。**目的** 观察 LRI 在白内障超声乳化手术中对角膜散光的矫正效果及其对角膜高阶像差的影响。**方法** 采用前瞻性自身对照系列病例观察研究方法,选取 2014 年 8 月至 2015 年 4 月在天津医科大学眼科医院诊治的白内障患者 35 例 35 眼,患者术前散光均 ≥ 1.0 D。术眼均行 LRI 联合白内障超声乳化摘出联合 IOL 植入术,记录患眼术前及术后 1 d、1 周、1 个月、3 个月裸眼视力(UCVA)和 BCVA,进行显然验光,用 Pentacam 眼前节分析系统测量角膜前表面 3 mm 范围内的最大和最小屈光度、散光度及角膜高阶像差。验光结果及角膜前表面散光变化均采用矢量分析法,比较患眼术前及术后各时间点 UCVA、BCVA、角膜散光值和角膜高阶像差的变化。**结果** 患眼术后 1 d、1 周、1 个月和 3 个月 UCVA 分别为 0.34 ± 0.22 、 0.38 ± 0.25 、 0.43 ± 0.27 和 0.42 ± 0.28 ,均明显高于术前的 0.08 ± 0.09 ;术后各时间点的 BCVA 分别为 0.54 ± 0.27 、 0.64 ± 0.29 、 0.67 ± 0.29 和 0.71 ± 0.32 ,较术前的 0.22 ± 0.51 明显提高,差异均有统计学意义($F=54.457, P=0.000; F=62.653, P=0.000$)。患眼术后柱镜度数及角膜散光均较术前明显减少,差异均有统计学意义($F=31.061, P=0.000; F=113.043, P=0.000$)。4 mm 瞳孔直径下,术后各时间点角膜总高阶像差的均方根值(RMS)较术前明显增加,总体比较差异有统计学意义($F=11.189, P=0.000$);6 mm 瞳孔直径下,患眼垂直彗差、次级彗差、三叶草像差均较术前明显增加,差异均有统计学意义(均 $P<0.05$);而手术前后患眼水平彗差、初级球差的总体比较差异均无统计学意义(均 $P>0.05$)。**结论** LRI 矫正白内障术后角膜散光是安全、有效和稳定的,术后会出现一定程度的角膜高阶像差增加,但未对患者视力产生影响。

【关键词】 白内障/手术; 白内障/并发症; 散光/手术; 高阶像差; 角膜缘松解术

Influence of phacoemulsification combined with limbal relaxing incisions for preoperative astigmatism on corneal high-order aberrations Liu Yang, Zhao Shaozhen, Yang Ruibo, Liu Hui, Zhao Jinrong

Tianjin Medical University Eye Hospital, Tianjin Medical University Eye Institute, School of Optometry and Ophthalmology, Tianjin Medical University, Tianjin 300384, China

Corresponding author: Zhao Shaozhen, Email: zhaosz1997@sina.com

【Abstract】 **Background** phacoemulsification combined with limbal relaxing incision (LRI) is reported to be effective for the management of coexisting cataract astigmatism, but the influence of after phacoemulsification with LRI on corneal high-order aberration is still rarely reported. **Objective** This study was to evaluate the effect of cataract surgery with LRI for preoperative astigmatism or on corneal high-order aberration. **Methods** A self-controlled serial cases observational study was designed. A total of 35 cataractous eyes of 35 patients with astigmatism ≥ 1.0 D before cataract surgery were enrolled in Tianjin Medical University Eye Hospital from August 2014 to April 2015 under the informed consent of patients. LRIs were performed on the eyes during the phacoemulsification and IOL implantation. The uncorrected visual acuity (UCVA), BCVA and optometry were recorded before operation and 1 day, 1 week, 1 month, 3 months after operation. Pentacam was employed to measure the maximal and minimal diopters, astigmatism and high-order aberrations within 3 mm of the anterior corneal surface at above-mentioned time points. All the results were compared among different time points. The optometry outcomes and the anterior corneal surface astigmatism change were analyzed using vector analysis method. **Results** The UCVA was 0.34 ± 0.22 , 0.38 ± 0.25 , 0.43 ± 0.27 , 0.42 ± 0.28 in 1 day, 1 week, 1 month and 3 months after operation, which was significantly higher than 0.08 ± 0.09 before operation; and the BCVA was 0.54 ± 0.27 , 0.64 ± 0.29 , 0.67 ± 0.29 , 0.71 ± 0.32 in 1 day, 1 week, 1 month and 3 months after operation, showing a significant increase in comparison with 0.22 ± 0.51 before operation ($F=54.457, P=0.000; F=62.653, P=0.000$). The refractive cylindrical error and corneal astigmatism

were significantly decreased after operation in comparison with before operation ($F=31.061, P=0.000; F=113.043, P=0.000$). High order aberrations (HOA) at postoperative 1 day, 1 week, 1 month, 3 months were all higher than those in preoperation ($F=11.189, P=0.000$) under the 4 mm pupil diameter. Compared with preoperation, the vertical coma, secondary vertical coma and three leaf clover were significantly increased (all at $P<0.05$), but the horizontal coma and primary spherical aberration were not significantly changed (all at $P>0.05$) under the 6 mm pupil diameter. **Conclusions** Phacoemulsification combined with LRI can reduce the corneal astigmatism effectively and steadily, and the increase of corneal aberrations does not affect visual acuity.

[Key words] Cataract/surgery; Cataract/complication; Astigmatism/surgery; High order aberration; Limbal relaxing incision

在白内障屈光手术时代,取得良好的术后裸眼视力(uncorrected visual acuity, UCVA)是眼科医师关注的重点,白内障患者术前存在的散光是影响白内障术后获得良好裸眼视力的决定因素之一。研究表明,角膜缘松解切开术(limbal relaxing incisions, LRI)可有效地矫正白内障眼的角膜散光度^[1-2]。临床上我们发现,在角膜最陡散光轴的位置做透明角膜切口可矫正白内障眼的散光,但由于改变了角膜的形态,其是否对角膜高阶像差有影响,目前国内外的研究较少。本研究中观察 LRI 矫正白内障眼散光的有效性和稳定性及术后角膜形态改变对角膜高阶像差的影响。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用自身对照系列病例观察研究方法,纳入 2014 年 8 月至 2015 年 4 月在天津医科大学眼科医院就诊的白内障合并规则角膜散光患者 35 例 35 眼,年龄为 55~80 岁,平均(67.57±11.50)岁;眼轴长度为 22.73~30.65 mm,平均(26.69±3.96)mm;眼压为 11.19~17.25 mmHg (1 mmHg = 0.133 kPa),平均(14.22±3.03)mmHg。纳入标准:(1)规则角膜散光 1.0~3.0 D;(2)依从性好,自愿完成 3 个月的随访。排除标准:(1)有角膜外伤或角膜手术史、角膜不规则散光、角膜白斑或翼状胬肉、严重干眼或其他眼部器质性病变者;(2)术中出现后囊膜破裂、悬韧带断裂者;(3)白内障术后出现后囊膜破裂、黄斑囊样水肿者。所有患者进入队列前均签署知情同意书。

1.2 方法

1.2.1 术前眼部一般检查 术前所有患者完善详细的眼科检查,包括 UCVA 和 BCVA、眼压测量、裂隙灯显微镜检查、扩瞳后间接检眼镜检查。

1.2.2 角膜前表面最大及最小屈光度、角膜高阶像差的测量 采用 Pentacam 眼前节分析系统(德国 Oculus 公司)测量术眼中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)、中央直径 3 mm 范围内角膜前表面最

大及最小屈光度和角膜高阶像差。所有检查由同一有经验的技师完成。患者取坐位,尽量睁眼,注视前方的 Pentacam 旋转轴中心,检查者使用操纵杆进行瞄准和对焦,使用自动采集图像设置,获得的数据均为自然瞳孔状态下暗室采集得到。仅纳入质量因子(quality specification, QS)大于 95% 的数据,重复 3 次,取其平均值。

1.2.3 散光矢量化分析 使用 Thibos 等^[3]的公式: $M=S+C/2(1); J_0=-C/2 * \cos 2\alpha(2); J_{45}=-C/2 * \sin 2\alpha(3)$,其中 M 代表等效球镜, S 代表球镜, C 代表柱镜。将显然验光、角膜散光值及轴向代入公式矢量化分解,进而比较散光的变化。

1.2.4 手术方法 所有手术均由同一位经验丰富的眼科医师完成。术前于裂隙灯显微镜下在角膜缘 3:00 点位及 9:00 点位水平标记。复方托吡卡胺滴眼液点眼充分扩瞳,常规消毒铺巾,开睑器开睑。根据 Pentacam 最大曲率测量结果,由 Nichamin 列线图^[4]算出切口长度弧度数,运用角膜散光定位环在周边角膜表面根据散光轴向标记出 LRI 所需的切口长度,切口位于角膜周边血管拱内 1.0~1.5 mm,直径 8.0~9.0 mm,角膜钻石刀设置的深度为 90% 周边角膜厚度(约为 600 μm),角膜厚度参数由 Pentacam 提供。按照常规方法进行白内障超声乳化摘出术,植入可折叠单焦点 IOL,透明角膜切口采用水封闭法密闭。术后 1 d、1 周、1 个月和 3 个月行常规眼科检查,分别记录 UCVA 和 BCVA,由同一验光师完成显然验光。记录 Pentacam 眼前节分析系统测量的 CCT 值、角膜前表面最大及最小屈光度和角膜高阶像差,并对散光值及轴向进行分析。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 17.0 统计学软件(美国 IBM 公司)进行统计分析。本研究中测量指标的计量资料经 Kolmogorov-Smirnov 检验呈正态分布,以 $\bar{x}\pm s$ 表示。采用手术前后自身对照研究设计,患眼前及术后 1 d、1 周、1 个月和 3 个月显然验光结果、角膜前表面最大

和最小屈光力、Zernike 系数和角膜总高阶像差的总体差异比较均采用单因素方差分析,不同时间点间的两两比较采用 LSD-*t* 检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术前后术眼 UCVA 和 BCVA 的比较

术前及术后 1 d、1 周、1 个月、3 个月术眼 UCVA 分别为 0.08 ± 0.09 、 0.34 ± 0.22 、 0.38 ± 0.25 、 0.43 ± 0.27 和 0.42 ± 0.28 , BCVA 分别为 0.22 ± 0.51 、 0.54 ± 0.27 、 0.64 ± 0.29 、 0.67 ± 0.29 和 0.71 ± 0.32 , 患者术前及术后不同时间点 UCVA 及 BCVA 比较,差异均有统计学意义 ($F = 54.457, P = 0.000$; $F = 62.653, P = 0.000$)。患者术后不同时间点 UCVA 及 BCVA 较术前明显提高,差异均有统计学意义 (均 $P = 0.000$), 术后 1 个月 UCVA 及 BCVA 与术后 3 个月比较差异均无统计学意义 ($P = 0.284, 0.082$)。

2.2 手术前后患眼显然验光结果的比较

患眼术后各时间点的球镜度、柱镜度、等效球镜度及 J_0 较术前均明显减小,差异均有统计学意义 ($F = 30.265, P = 0.000$; $F = 31.061, P = 0.000$; $F = 36.380, P = 0.000$; $F = 27.161, P = 0.000$), 术后各时间点 J_{45} 值较术前更倾向负值,但差异无统计学意义 ($F = 1.399, P = 0.254$) (表 1)。

表 1 患者术前及术后不同时间点显然验光结果比较 ($\bar{x} \pm s, D$)

时间	眼数	球镜度	柱镜度	SE	J_0	J_{45}
术前	35	-9.29 ± 9.71	-2.08 ± 1.43	-10.53 ± 9.73	-0.85 ± 0.84	0.02 ± 0.43
术后 1 d	35	-1.45 ± 1.84^a	-0.37 ± 0.51^a	-1.69 ± 1.86^a	-0.02 ± 0.27^a	-0.08 ± 0.15
术后 1 周	35	-1.30 ± 1.76^a	-0.46 ± 0.45^a	-1.59 ± 1.77^a	-0.02 ± 0.24^a	-0.07 ± 0.20
术后 1 个月	35	-1.45 ± 1.58^a	-0.64 ± 0.64^a	-1.83 ± 1.54^a	-0.06 ± 0.36^a	-0.09 ± 0.26
术后 3 个月	35	-1.29 ± 1.60^a	-0.72 ± 0.64^a	-1.69 ± 1.65^a	0.00 ± 0.33^a	-0.10 ± 0.34
<i>F</i>		30.265	31.061	36.380	27.161	1.399
<i>P</i>		0.000	0.000	0.000	0.000	0.254

注:与各自的术前值比较,^a $P < 0.01$,^b $P < 0.05$ (重复测量单因素方差分析, LSD-*t* 检验) SE:等效球镜度; J_0 :相当于 90° 或 180° 轴向上的 Jackson 交叉柱镜 (JCC 柱镜); J_{45} :相当于 45° 或 135° 轴向上的 JCC 柱镜

2.3 手术前后患眼角膜前表面 K1、K2、散光值及矢量分析

患眼术后不同时间点 K2 及散光值较术前明显减少,差异均有统计学意义 ($F = 73.347, P = 0.000$; $F = 113.043, P = 0.000$); 患眼术后不同时间点 K1 较术前增加,差异有统计学意义 ($F = 36.497, P = 0.000$)。患眼术后 J_0 无变化,手术前后比较差异无统计学意义 ($F = 2.249, P = 0.138$), 术后 1 周、1 个月及 3 个月 J_{45} 与术前比较,差异均有统计学意义 ($P = 0.004, 0.005, 0.014$) (表 2)。

表 2 患者手术前后不同时间点角膜前表面 K1、K2 及散光值的比较 ($\bar{x} \pm s, D$)

时间	眼数	K1	K2	散光值	J_0	J_{45}
术前	35	44.41 ± 1.59	46.17 ± 1.94	1.76 ± 0.67	-0.19 ± 0.82	0.12 ± 0.42
术后 1 d	35	44.91 ± 1.61^a	45.02 ± 1.68^a	0.30 ± 0.55^a	-0.01 ± 0.22	-0.03 ± 0.23
术后 1 周	35	44.76 ± 1.62^a	45.06 ± 1.73^a	0.41 ± 0.37^a	-0.01 ± 0.19	-0.10 ± 0.17^b
术后 1 个月	35	44.74 ± 1.62^a	45.11 ± 1.71^a	0.45 ± 0.28^a	0.00 ± 0.21	-0.10 ± 0.14^b
术后 3 个月	35	44.71 ± 1.64^a	45.07 ± 1.72^a	0.46 ± 0.29^a	0.02 ± 0.20	-0.07 ± 0.17^b
<i>F</i>		36.497	73.347	113.043	2.249	6.486
<i>P</i>		0.000	0.000	0.000	0.138	0.007

注:与各自的术前值比较,^a $P < 0.01$,^b $P < 0.05$ (重复测量单因素方差分析, LSD-*t* 检验) K1:最小屈光力;K2:最大屈光力; J_0 :相当于在 90° 或 180° 轴向上的 Jackson 交叉柱镜 (JCC 柱镜); J_{45} :相当于在 45° 或 135° 轴向上的 JCC 柱镜

2.4 手术前后患眼角膜总高阶像差的比较

患眼在 4 mm 瞳孔直径下术前及术后 1 d、1 周、1 个月和 3 个月角膜总高阶像差的均方根值 (root mean square, RMS) 分别为 0.324 ± 0.227 、 0.693 ± 0.347 、 0.525 ± 0.303 、 0.486 ± 0.549 和 0.430 ± 0.332 , 总体比较差异有统计学意义 ($F = 11.189, P = 0.000$), 其中术后 1 d、1 周、1 个月和 3 个月角膜总高阶像差 RMS 较术前明显增加,差异均有统计学意义 ($P = 0.000, 0.000, 0.024, 0.000$); 术后 1 d 与术后 1 周、1 个月和 3 个月比较角膜总高阶像差 RMS 较大,差异均有统计学意义 ($P = 0.002, 0.023, 0.000$); 术后 1 周角膜总高阶像差 RMS 值大于术后 3 个月,差异有统计学意义 ($P = 0.014$), 但术后 1 周与术后 1 个月之间以及术后 1 个月与术后 3 个月之间比较,差异均无统计学意义 ($P = 0.555, 0.326$)。

2.5 患眼角膜三阶各 Zernike 项系数的变化

患眼在 X 方向三频像差 (X-Trefoil, Z_3^{-3} , 水平三叶草) 中, 术后 1 d、1 周及 1 个月角膜前表面 Z_3^{-3} 值较术前均增大,差异均有统计学意义 ($P = 0.002, 0.020, 0.002$), 但术后 3 个月角膜前表面 Z_3^{-3} 值与术前比较差异无统计学意义 ($P = 0.381$); 术后 3 个月角膜前表面 Z_3^{-3} 值较术后 1 d 值明显下降,差异有统计学意义 ($P = 0.015$)。患眼术后 1 周角膜后表面 Z_3^{-3} 较术前、术后 1 个月和 3 个月均明显增加,术后 1 d 角膜后表面 Z_3^{-3} 较术后 1 个月和 3 个月明显增加,差异均有统计学意义 ($P = 0.034, 0.012, 0.016, 0.034, 0.048$)。患眼术后 1 d、1 周、1 个月和 3 个月角膜总 Z_3^{-3} 均明显高于术前,差异均有统计学意义 ($P = 0.000, 0.000, 0.000, 0.046$); 术后 1 d 值明显高于术后 3 个月值,且术后 1 周值均明显高于术后 1 个月和 3 个月值,差异均有统计学意义 ($P = 0.021, 0.025, 0.006$) (表 3)。

患眼角膜前表面、后表面及角膜总水平彗差比较,

差异均无统计学意义 ($F=0.556, P=0.575; F=2.884, P=0.101; F=2.301, P=0.105$) (表 3)。

术后 1 d 角膜前表面垂直彗差低于术前, 术后 1 个月角膜前表面垂直彗差高于术前, 差异均有统计学意义 ($P=0.015, 0.034$), 术后 1 周、1 个月、3 个月患眼角膜前表面垂直彗差与术后 1 d 比较, 差异均有统计学意义 ($P=0.047, 0.001, 0.004$); 术后 1 d、1 周、3 个月患眼角膜后表面垂直彗差较术前下降, 差异均有统计学意义 ($P=0.000, 0.002, 0.044$), 术后 1 个月、3 个月与术后 1 d

比较以及术后 1 个月、3 个月与术后 1 周比较患眼角膜后表面垂直彗差下降, 差异均有统计学意义 ($P=0.001, 0.000, 0.010, 0.005$)。术后 1 d 患眼角膜总垂直彗差高于术前及术后 1 周、1 个月和 3 个月, 差异均有统计学意义 ($P=0.000, 0.016, 0.000, 0.000$) (表 3)。

对 Y 方向三频像差 ($Y\text{-Trefoil}, Z_3^{-3}$, 倾斜三叶草) 进行比较, 手术前后不同时间点患眼角膜前表面、后表面及角膜总 Z_3^{-3} 的差异均无统计学意义 ($F=1.788, P=0.200; F=0.356, P=0.660; F=1.109, P=0.349$) (表 3)。

表 3 角膜三阶高阶像差各 Zernike 项系数 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

时间	眼数	X 方向三频像差			水平彗差		
		前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜
术前	35	-0.006±0.287	0.044±0.123	0.053±0.308	-0.041±0.270	0.017±0.057	-0.020±0.274
术后 1 d	35	-0.473±0.652 ^a	-0.350±0.512 ^{af}	-0.769±0.797 ^{af}	0.042±0.371	0.052±0.633	0.174±0.560
术后 1 周	35	-0.458±0.569 ^b	-0.320±0.430 ^{anf}	-0.752±0.655 ^{anf}	0.066±0.518	0.122±0.137	0.184±0.538
术后 1 个月	35	-0.299±0.805 ^a	0.038±0.163	-0.325±0.881 ^{af}	0.038±0.570	0.029±0.077	0.092±0.570
术后 3 个月	35	-0.344±0.595 ^c	-0.022±0.173	-0.376±0.643 ^{af}	-0.055±0.244	0.049±0.071	0.001±0.288
F		6.146	5.152	10.509	0.556	2.884	2.301
P		0.001	0.020	0.000	0.575	0.101	0.105

时间	眼数	垂直彗差			Y 方向三频像差		
		前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜
术前	35	0.182±0.368	0.051±0.099	0.271±0.448	-0.153±0.249	-0.009±0.101	-0.162±0.277
术后 1 d	35	-0.034±0.489 ^b	-0.091±0.353 ^a	-0.061±0.722 ^{adef}	-0.575±0.713	-0.070±0.645	-0.628±1.133
术后 1 周	35	0.138±0.727 ^c	-0.106±0.196 ^a	0.062±0.730	-0.511±0.667	-0.010±0.323	-0.520±0.878
术后 1 个月	35	0.318±0.635 ^{bc}	0.004±0.096 ^{cd}	0.307±0.640	-0.572±0.768	0.013±0.129	-0.554±0.735 ^d
术后 3 个月	35	0.159±0.315 ^c	-0.002±0.114 ^{bcd}	0.167±0.351	-0.378±0.285	-0.014±0.134	-0.430±0.437
F		3.641	16.558	9.176	1.788	0.356	1.109
P		0.044	0.000	0.001	0.200	0.660	0.349

注: 与各自的术前值比较, ^a $P<0.01$, ^b $P<0.05$; 与各自术后 1 d 值比较, ^c $P<0.05$; 与各自术后 1 周值比较, ^d $P<0.05$; 与各自术后 1 个月比较, ^e $P<0.05$; 与各自术后 3 个月比较, ^f $P<0.05$ (重复测量单因素方差分析, LSD-*t* 检验)

2.6 患眼角膜四阶各 Zernike 项系数的变化

患眼手术前后不同时间点角膜前表面、后表面及角膜总的 X 方向四频像差 (Z_4^4) 的差异均无统计学意义 ($F=0.513, P=0.647; F=0.934, P=0.397; F=0.172, P=0.855$); 手术前后患眼角膜前表面、后表面及角膜总 X 方向次级像散 (Z_4^2) 的差异均无统计学意义 ($F=0.658, P=0.529; F=1.585, P=0.233; F=0.696, P=0.494$); 手术前后患眼角膜前表面、后表面及角膜总的初级球差 (Z_4^0) 各时间点间比较, 差异均无统计学意义 ($F=0.299, P=0.877; F=0.172, P=0.832; F=0.516, P=0.724$)。此外, 手术前后患眼角膜前表面、后表面及角膜总的 Y 方向次级像散 (Z_4^{-2}) 差异均无统计学意义 ($F=2.459, P=0.056; F=0.728, P=0.424; F=2.409, P=0.106$); 角膜前表面、后表面及角膜总的 Y 方向四频像差 (Z_4^{-4}) 差异均无统计学意义 ($F=1.546, P=0.205; F=2.152, P=0.146; F=$

$2.953, P=0.059$) (表 4)。

2.7 患眼角膜五阶各 Zernike 项系数的变化

手术前后患眼角膜前表面、后表面、角膜总的 X 方向五频像差 (Z_5^5)、X 方向三频五阶像差 (Z_5^3)、Y 方向五阶三频像差 (Z_5^{-3})、Y 方向五频像差 (Z_5^{-5}) 及角膜前表面和角膜总的次级水平彗差 (Z_5^1) 比较, 差异均无统计学意义 (均 $P>0.05$)。患眼术后 1 d 角膜后表面次级水平彗差 (Z_5^1) 与术后 1 个月、3 个月比较, 术后 1 周角膜后表面次级水平彗差 (Z_5^1) 与术后 1 个月、3 个月比较, 差异均有统计学意义 ($P=0.023, 0.029, 0.013, 0.032$); 角膜前表面和角膜总的次级垂直彗差 (Z_5^{-1}) 差异均无统计学意义 ($F=0.498, P=0.570; F=1.392, P=0.270$), 但角膜后表面 Z_5^{-1} 术后 1 d 与术前、术后 1 周、1 个月和 3 个月比较, 差异均有统计学意义 ($P=0.002, 0.015, 0.000, 0.001$) (表 5)。

表 4 角膜四阶高阶像差各 Zernike 项系数 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

时间	眼数	X 方向四阶像差			X 方向次级像散			初级球差		
		前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜
术前	35	-0.004±0.213	-0.047±0.048	-0.067±0.163	0.008±0.174	-0.046±0.034	-0.039±0.167	0.343±0.283	-0.110±0.048	0.344±0.309
术后 1 d	35	-0.096±0.502	0.043±0.417	-0.086±0.576	-0.013±0.194	-0.077±0.182	-0.071±0.293	0.366±0.229	-0.129±0.196	0.353±0.361
术后 1 周	35	-0.021±0.460	0.029±0.223	0.001±0.484	0.058±0.234	-0.039±0.072	0.021±0.239	0.333±0.244	-0.111±0.073	0.332±0.278
术后 1 个月	35	0.002±0.321	-0.055±0.090 ^e	-0.042±0.312	0.034±0.262	-0.044±0.063	-0.007±0.245	0.380±0.223	-0.109±0.065	0.384±0.234
术后 3 个月	35	0.054±0.336	-0.039±0.079 ^e	-0.002±0.396	0.007±0.226	-0.012±0.047 ^e	-0.010±0.231	0.480±0.195	-0.106±0.078	0.475±0.237
F		0.513	0.934	0.172	0.658	1.585	0.696	0.299	0.172	0.516
P		0.647	0.397	0.855	0.529	0.233	0.494	0.877	0.832	0.724

时间	眼数	Y 方向次级像散			Y 方向四阶像差		
		前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜
术前	35	-0.002±0.178	-0.014±0.034	-0.030±0.197	-0.008±0.162	0.001±0.066	0.012±0.174
术后 1 d	35	0.029±0.221	0.028±0.118	0.076±0.299	-0.158±0.468	-0.219±0.290 ^a	-0.328±0.548
术后 1 周	35	0.059±0.242 ^a	0.032±0.055	0.087±0.260	-0.171±0.409	-0.143±0.239	-0.294±0.477 ^a
术后 1 个月	35	0.012±0.143	-0.020±0.090	-0.005±0.175	-0.272±0.443	-0.038±0.096	-0.311±0.434 ^a
术后 3 个月	35	-0.012±0.175	-0.002±0.047	-0.021±0.215	-0.194±0.315 ^a	-0.046±0.083	-0.283±0.329 ^a
F		2.495	0.728	2.409	1.546	2.152	2.953
P		0.056	0.424	0.106	0.205	0.146	0.059

注:与各自的术前值比较,^a $P < 0.001$,^b $P < 0.05$;与各自术后 1 d 值比较,^c $P < 0.05$;与各自术后 1 周值比较,^d $P < 0.05$;与各自术后 1 个月值比较,^e $P < 0.05$;与各自术后 3 个月值比较,^f $P < 0.05$ (重复测量单因素方差分析,LSD- t 检验)

表 5 角膜五阶高阶像差各 Zernike 项系数 ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)

时间	眼数	X 方向五阶像差			X 方向三阶五阶像差			次级水平彗差		
		前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜
术前	35	-0.024±0.146	-0.005±0.051	-0.044±0.192	-0.025±0.091	-0.017±0.033	-0.033±0.091	-0.004±0.067	-0.005±0.016	-0.012±0.060
术后 1 d	35	-0.010±0.257	0.036±0.212	0.042±0.319	-0.029±0.079	0.028±0.100	-0.004±0.111	-0.024±0.096	0.040±0.072 ^{cd}	-0.058±0.137
术后 1 周	35	0.008±0.294	0.032±0.164	0.035±0.354	-0.041±0.122	0.008±0.072	-0.039±0.148	0.001±0.078	-0.019±0.031 ^{cd}	-0.015±0.075
术后 1 个月	35	0.053±0.186	-0.004±0.088	0.049±0.189	-0.057±0.253	-0.006±0.044	-0.063±0.255	-0.005±0.079	-0.001±0.019	-0.007±0.075
术后 3 个月	35	-0.023±0.241	-0.002±0.074	-0.047±0.358	-0.025±0.112	0.011±0.033	0.004±0.139	-0.029±0.117	-0.005±0.021	-0.044±0.125
F		1.128	1.198	1.249	1.249	1.027	1.066	2.512	5.066	3.167
P		0.348	0.316	0.304	0.305	0.368	0.365	0.107	0.024	0.051

时间	眼数	次级垂直彗差			Y 方向五阶三阶像差			Y 方向五阶像差		
		前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜	前表面	后表面	总角膜
术前	35	-0.060±0.120	0.009±0.034	-0.047±0.132	-0.008±0.079	-0.006±0.017	-0.015±0.086	0.018±0.161	-0.010±0.047	0.009±0.178
术后 1 d	35	-0.033±0.106	0.073±0.131 ^a	0.027±0.167 ^{abcd}	0.008±0.115	-0.040±0.110	-0.020±0.175	0.002±0.272	0.076±0.239	0.085±0.293
术后 1 周	35	-0.085±0.111	0.034±0.071	-0.055±0.137	-0.029±0.119	-0.016±0.059	-0.044±0.113	0.046±0.257	0.036±0.127	0.079±0.254
术后 1 个月	35	-0.055±0.172	0.006±0.048	-0.050±0.179	0.000±0.098	-0.017±0.027	-0.016±0.097	0.098±0.256	-0.007±0.072	0.093±0.242
术后 3 个月	35	-0.049±0.260	0.013±0.039	-0.030±0.291	0.005±0.070	-0.013±0.031	-0.004±0.081	0.080±0.222	-0.011±0.048	0.049±0.215
F		0.498	10.426	1.392	0.638	0.954	0.307	0.310	0.197	0.328
P		0.570	0.000	0.270	0.534	0.387	0.717	0.870	0.738	0.858

注:与各自的术前值比较,^a $P < 0.01$;与各自术后 1 周值比较,^b $P < 0.05$;与各自术后 1 个月值比较,^c $P < 0.05$;与各自术后 3 个月值比较,^d $P < 0.05$ (重复测量单因素方差分析,LSD- t 检验)

2.8 手术并发症

患眼手术均顺利,无后囊膜破裂等术中并发症发生。术后第 1 天,3 眼出现角膜 haze,术后 4~5 d 自行消失。

3 讨论

约 67.7% 的白内障患者存在 0.25~1.25 D 的角膜散光,27.5% 的患者存在 >1.25 D 的角膜散光,仅 4.8% 的患者角膜散光 <0.25 D^[5]。一般来说,散光 >0.75 D 就会引起视物模糊、视疲劳、眩光等症状,如何

控制术源性散光和矫正白内障患者术前存在的角膜散光是眼科医师关注的重点。随着白内障手术切口的缩小、医疗设备的发展及手术技巧的提高,术源性散光越来越小。目前可通过不同方式矫正白内障术前角膜散光,主要包括行单侧或双侧角膜最陡子午线方向 LRI、植入散光型 IOL 等^[6]。由于手术技术、术后效果及经济等方面的原因,LRI 成为白内障手术矫正术前散光最常用的方法^[7-8]。

本研究中对白内障合并角膜散光的患眼行 LRI,

术后患眼 UCVA 及 BCVA 均显著提高,术后最佳矫正柱镜度数及角膜散光均较术前减少,说明 LRI 矫正角膜散光是有效的。本研究中发现术后 1 个月与术后 3 个月相比患眼角膜散光度无明显变化,说明 LRI 矫正角膜散光效果稳定,与其他报道的结论一致^[2,9-10]。

角膜是人眼屈光系统的重要屈光介质,其像差占全眼总像差的 80%,对视网膜成像质量影响较大^[11]。角膜的高阶像差中三阶和四阶占主导地位,其中 Z_3^{-2} 、 Z_3^{-23} 、 Z_4^0 对视觉质量的影响较大,而 Z_4^0 对视觉质量的影响最大^[12-13]。Porter 等^[14] 研究发现,随着像差阶数的增加,每阶高阶像差在总体像差中所占比重逐渐减少,四阶球差在高阶像差中的作用最重要,故本研究中发现,6 mm 瞳孔直径下三阶像差中,除了 Y 方向三阶像差和水平彗差外,其他均有变化,但对视觉质量影响较大的水平彗差并未异常升高;四阶像差中,所有指标均无明显变化,且对视觉质量影响最大的初级球差也无变化,而五阶像差中,只有次级彗差有变化。第三阶像差即三叶草像差,主要反映人眼屈光特性中的非对称性,是人眼平面的不规则性、倾斜、偏中心等不对称性的反映,其常与明显的不规则和不对称的角膜环曲面有关^[13],而术后各时间点水平三叶草均较术前增加,说明 LRI 改变了角膜原有的形状,引起角膜生物力学发生变化,手动操作切开等均不同程度地引起了角膜的不规则,但是术后各时间点间比较差异无统计学意义,说明其在术后基本稳定。白内障超声乳化摘出术的切口也会使角膜的三叶草增大,可能本研究中水平三叶草的早期增加也与白内障超声乳化摘出术的切口有关^[15]。第四阶像差的最重要成分——初级球差无变化,说明 LRI 并未引起周边光线和中心光线在眼内聚集的差异。第五阶像差反映非系统化光学像差的存在及波阵面的扭曲变形,次级彗差增加可能由于 LRI 引起角膜不规则造成^[13]。本研究中发现,患眼术后 4 mm 瞳孔直径下角膜总高阶像差的 RMS 均较术前增加,说明手术会造成角膜高阶像差的增加,而术后 1 个月与术后 3 个月比较,差异无统计学意义,说明在术后 1 个月时角膜高阶像差的变化已趋于稳定。

综上所述,LRI 矫正角膜散光是有效且稳定的。LRI 由于改变了角膜的形态,造成了角膜不同程度的不规则性,从而引起角膜高阶像差的增大。但是本研究同时表明,对视觉质量影响最大的水平彗差及初级球差无明显改变,患者术后的视力并未受到影响,患者满意度较高。值得提到的是本研究中样本量尚小,观察时间较短,因此 LRI 对角膜厚度及角膜高阶像差的

长期影响尚需大样本量和远期观察研究进行验证。

参考文献

- [1] Lam DK, Chow VW, Ye C, et al. Comparative evaluation of aspheric toric intraocular lens implantation and limbal relaxing incisions in eyes with cataracts and ≤ 3 dioptres of astigmatism [J]. Br J Ophthalmol, 2016, 100(2): 258-262. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2014-306587.
- [2] Ouchi M. High-cylinder toric intraocular lens implantation versus combined surgery of low-cylinder intraocular lens implantation and limbal relaxing incision for high-astigmatism eyes [J]. Clin Ophthalmol, 2014, 8: 661-667. DOI: 10.2147/OPTH.S61373.
- [3] Thibos LN, Wheeler W, Horner D. Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error [J]. Optom Vis Sci, 1997, 74(6): 367-375.
- [4] Nichamin LD. Nomogram for limbal relaxing incisions [J/OL]. J Cataract Refract Surg, 2006, 32(9): 1408 [2016-01-15]. http://www.jcrjournal.org/article/S0886-3350(06)00784-X.
- [5] Chen W, Zuo C, Chen C, et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Chinese patients [J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(2): 188-192. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.08.060.
- [6] 杨丽红, 汤欣. 白内障手术同时矫正术前散光的研究进展 [J]. 中华眼科杂志, 2011, 47(6): 573-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2011.06.022.
Yang LH, Tang X. The research progress in treating astigmatism at the time of cataract surgery [J]. Chin J Ophthalmol, 2011, 47(6): 573-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2011.06.022.
- [7] Schmack I, Auffarth GU, Epstein D, et al. Refractive surgery trends and practice style changes in Germany over a 3-year period [J]. J Refract Surg, 2010, 26(3): 202-208. DOI: 10.3928/1081597X-20090515-05.
- [8] Won JY, Kim M. Vancomycin-resistant Staphylococcus hominis endophthalmitis following cataract surgery [J]. Clin Ophthalmol, 2013, 7: 1193-1195. DOI: 10.2147/OPTH.S46792.
- [9] Ouchi M, Kinoshita S. AcrySof IQ toric IOL implantation combined with limbal relaxing incision during cataract surgery for eyes with astigmatism > 2.50 D [J]. J Refract Surg, 2011, 27(9): 643-647.
- [10] Mingo-Botín D, Muñoz-Negrete FJ, Won Kim HR. Comparison of toric intraocular lenses and peripheral corneal relaxing incisions to treat astigmatism during cataract surgery [J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(10): 1700-1708. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.04.043.
- [11] 赵晓彬, 张海芳, 董素婷. 年龄相关性白内障角膜前表面高阶像差分析 [J]. 眼科新进展, 2015, 35(4): 359-361. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2015.0096.
Zhao XB, Zhang HF, Dong ST. Analysis of anterior corneal higher-order aberrations in age-related cataract [J]. Rec Adv Ophthalmol, 2015, 35(4): 359-361. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2015.0096.
- [12] Wan XH, Li SM, Xiong Y, et al. Ocular monochromatic aberrations in a rural Chinese adult population [J]. Optom Vis Sci, 2014, 91(1): 68-75. DOI: 10.1097/OPX.000000000000107.
- [13] 王雁, 赵堪兴. 波前像差与临床视觉矫正 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2011: 183-185.
- [14] Porter J, Guirao A, Cox IG, et al. Monochromatic aberrations of the human eye in a large population [J]. J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis, 2001, 18(8): 1793-1803.
- [15] 王飞, 卢奕, 蒋永祥, 等. 白内障超声乳化术切口对角膜高阶像差的影响 [J]. 中国眼耳鼻喉科杂志, 2008, 8(3): 154-156.
Wang F, Lu Y, Jiang YX, et al. Effects of small-incisions on corneal high-order aberrations after phacoemulsification [J]. Chin J Ophthalmol Otorhinolaryngol, 2008, 8(3): 154-156.

(收稿日期: 2016-01-26)

(本文编辑: 尹卫靖 杜娟)