

Toric IOL 矫正角膜散光的疗效和残余散光的矢量分析

曾庆森, 胡东瑞, 金贇英, 李琦, 徐丹丹, 阮罗梦

引用: 曾庆森, 胡东瑞, 金贇英, 等. Toric IOL 矫正角膜散光的疗效和残余散光的矢量分析. 国际眼科杂志 2020; 20 (11): 1991-1995

基金项目: 宁波市医学科技计划项目 (No.2018A09)

作者单位: (315020) 中国浙江省宁波市, 宁波爱尔光明眼科医院
作者简介: 曾庆森, 主任医师, 副院长, 研究方向: 青光眼、复杂性白内障的手术治疗。

通讯作者: 曾庆森. cengqingsen@aierchina.com

收稿日期: 2020-05-11 修回日期: 2020-09-28

摘要

目的: 观察 Toric 人工晶状体 (Toric IOL) 植入术矫正角膜散光的临床疗效, 并对残余散光和角膜散光进行矢量分析。

方法: 回顾性病例观察研究。选取 2018-09/2019-10 于我院行白内障超声乳化摘除联合 Toric IOL 植入术的白内障患者 63 例 77 眼。术后 1wk, 1, 3mo 观察裸眼远视力 (UCDVA)、最佳矫正远视力 (BCDVA)、主觉验光的残余散光, 散瞳后采用 OPD-scan III 测量 Toric IOL 轴位, 计算 IOL 轴位偏差度 (LAD)。

结果: 术后 1wk, 1, 3mo, 本组患者 UCDVA (LogMAR) 分别为 0.22 (0.15, 0.40)、0.30 (0.15, 0.40)、0.30 (0.15, 0.40), 均较术前 UCDVA [0.82 (0.60, 1.22)]、BCDVA [0.52 (0.30, 0.70)] 明显改善 ($P < 0.008$); 残余散光分别为 0.75 (0.50, 1.00)、0.75 (0.38, 1.00)、0.50 (0.25, 1.00)D, 均较术前角膜散光 [2.19 (1.73, 2.69)D] 明显下降 ($P < 0.008$)。术后 3mo, UCDVA (LogMAR) ≤ 0.301 的患者占比 69%, 残余散光 ≤ 0.75 D 的患者占比 73%。术后 1wk, 1, 3mo, 本组患者 LAD 中位数分别为 2.0°、2.0°、3.0°, LAD $\leq 5^\circ$ 的患者占比分别为 81%、82%、77%, 最大 LAD 值为 11°。散光矢量分析显示, 本组患者术前角膜散光为 2.31 ± 0.80 D, 质心值为 $1.44\text{D} @ 177^\circ \pm 1.99\text{D}$; 预测术后残余散光为 0.14 ± 0.17 D, 质心值为 $0.02\text{D} @ 58^\circ \pm 0.22\text{D}$; 术后 3mo 残余散光为 0.69 ± 0.53 D, 质心值为 $0.05\text{D} @ 142^\circ \pm 0.88\text{D}$ 。

结论: Toric IOL 可以有效矫正白内障患者角膜散光且具有良好的旋转稳定性。散光矢量分析可直观显示预测术后散光与实际残余散光的差异, 有利于分析优化角膜散光的测量、IOL 度数计算、手术设计、术后观察等环节。

关键词: Toric 人工晶状体; 角膜散光; 残余散光; 矢量分析
DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2020.11.34

Efficacy observation of Toric intraocular lens in correcting corneal astigmatism and vector analysis of residual astigmatism

Qing-Sen Zeng, Dong-Rui Hu, Gan-Ying Jin, Qi Li, Dan-Dan Xu, Luo-Meng Ruan

Foundation item: Ningbo Medical Science and Technology Plan (No.2018A09)

Ningbo Aier Guangming Eye Hospital, Ningbo 315020, Zhejiang Province, China

Correspondence to: Qing-Sen Zeng. Ningbo Aier Guangming Eye Hospital, Ningbo 315020, Zhejiang Province, China. cengqingsen@aierchina.com

Received: 2020-05-11 Accepted: 2020-09-28

Abstract

• AIM: To observe the clinical effect of Toric intraocular lens (Toric IOL) implantation in the correction of corneal astigmatism, and vector analysis of residual astigmatism and corneal astigmatism.

• METHODS: A retrospective case observation study. A total of 63 patients with 77 eyes who underwent phacoemulsification combined with Toric IOL implantation in our hospital from September 2018 to October 2019 were selected. LogMAR uncorrected distance visual acuity (UCDVA), best corrected distance visual acuity (BCDVA), residual astigmatism of subjective refraction were observed after operation in 1wk, 1mo, and 3mo. And after dilated pupil, the Toric IOL axis position was measured by OPD-scan III, and compared with the target axis position (LAD).

• RESULTS: The median (interquartile range) of UCDVA at 1wk, 1mo, and 3mo after operation were 0.22 (0.15, 0.40), 0.30 (0.15, 0.40), and 0.30 (0.15, 0.40), which were better than those of UCDVA [0.82 (0.60, 1.22)] and BCDVA [0.52 (0.30, 0.70)] before operation ($P < 0.008$). The residual astigmatism was 0.75 (0.50, 1.00), 0.75 (0.38, 1.00), 0.50 (0.25, 1.00)D, respectively, which was significantly lower than that of preoperative corneal astigmatism [2.19 (1.73, 2.69)D] ($P < 0.008$). At 3mo after surgery, the proportion of UCDVA (LogMAR) ≤ 0.301 was 69%; the proportion of residual astigmatism ≤ 0.75 D was 73%. The median LAD at 1wk, 1mo, and 3mo after surgery were 2.0°, 2.0°, and 3.0°; 81%, 82%, 77% were less than 5°. The maximum LAD value is 11°. Astigmatism vector analysis: preoperative corneal astigmatism was 2.31 ± 0.80 D, centroid value was $1.44\text{D} @ 177^\circ \pm 1.99\text{D}$; Predicted postoperative residual astigmatism was 0.14 ± 0.17 D, centroid value was $0.02\text{D} @ 58^\circ \pm 0.22\text{D}$; residual astigmatism at 3mo after operation was 0.69 ± 0.53 D, centroid value was $0.05\text{D} @ 142^\circ \pm 0.88\text{D}$.

• CONCLUSION: Toric IOL can effectively correct corneal astigmatism in patients with cataract and has good rotational stability. Astigmatism vector analysis can directly show the difference between predicting postoperative astigmatism and actual residual astigmatism, which is helpful to analyze and optimize the measurement of corneal astigmatism, calculation of IOL degree, surgical design, postoperative observation.

• KEYWORDS: Toric intraocular lens; corneal astigmatism; residual astigmatism; vector analysis

Citation: Zeng QS, Hu DR, Jin GY, *et al.* Efficacy observation of Toric intraocular lens in correcting corneal astigmatism and vector analysis of residual astigmatism. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2020;20(11):1991-1995

0 引言

目前,随着手术技术的进步,白内障手术已从传统的复明手术过渡到屈光性手术时代。流行病学调查资料显示,20%~30%的白内障患者合并有大于1.25D的角膜散光^[1]。这些患者如在白内障手术的同时不对角膜散光进行矫正,术后无法获得满意的视觉质量^[2]。Toric人工晶状体(Toric IOL)植入术可以在摘除混浊晶状体的同时矫正角膜散光,具有稳定性好、可预测性强等优点^[3-4],可有效提高术后裸眼视力和视觉质量^[5]。然而,良好的囊袋内旋转稳定性对于Toric IOL至关重要。Kim等^[6]报道AcrySof Toric IOL植入术后13mo平均轴位旋转 $3.45^\circ \pm 3.39^\circ$ 。有研究证明IOL的囊袋内旋转对Toric IOL植入眼的影响主要是散光度数的增加^[7]。因此,评价Toric IOL植入术后有效性和旋转稳定性的研究主要集中在裸眼视力、残余散光度数、IOL轴位旋转稳定性等。但是散光是一个矢量,具有大小和方向,矢量幅度与角度同样重要^[8]。本研究观察Toric IOL植入术后不同时间Toric IOL轴位的旋转稳定性,并对残余散光和手术前后角膜散光进行矢量分析,探讨Toric IOL矫正角膜散光的有效性、稳定性及准确性。

1 对象和方法

1.1 对象 回顾性病例观察研究。收集2018-09/2019-10在我院行白内障超声乳化摘除联合Toric IOL植入术的白内障患者63例77眼,其中男30例36眼,女33例41眼,年龄55~86(平均 73.19 ± 7.34)岁。纳入标准:(1)角膜规则性散光 $>1.0D$;(2)Emery核硬度分级为II~IV级;(3)术中无囊膜破裂、悬韧带断裂等并发症;(4)对手术方案知情同意并签署知情同意书。排除标准:(1)角膜散光不规则;(2)重度干眼症、眼部感染、青光眼、眼底病变等,既往有眼部外伤史、手术史;(3)病历资料不全者;(4)术后有囊袋皱缩、眼底病变等影响视觉质量的并发症者。本研究方案通过医院伦理委员会批准。

1.2 方法

1.2.1 术前检查 采用标准对数视力表测量裸眼远视力(uncorrected distance visual acuity,UCDVA)、最佳矫正远视力(best corrected distance visual acuity,BCDVA),视力值转换为标准最小分辨角对数(logarithm of minimum angle of resolution,LogMAR)视力。采用眼部A超、B超和IOL Master 500测量眼轴长度、前房深度、角膜曲率、角膜散光。同时进行裂隙灯显微镜检查、眼底检查、黄斑部光相断层扫描(OCT)检查,并采用OPD-scan III进行角膜像差、角膜地形图等检查。

1.2.2 Toric IOL度数计算 基于术前IOL Master 500检查结果,计算IOL的球镜度数,根据术前是否合并高度近视,与患者沟通决定是否预留一定近视度数。采用厂家提供的在线计算器(<http://www.mylcon-toriccalc.com>)的Barrett Toric计算公式,输入眼轴长度、前房深度、角膜曲

率和子午线、球镜度数、术源性散光(surgically induced astigmatism,SIA)(手术医师SIA选择为0.25D)以及切口轴位,经计算得到Toric IOL型号和放置轴位。角膜曲率和子午线的数据以IOL Master 500结合OPD-scan III的角膜地形图结果评估一致性和准确性,一致性好者,植入Toric IOL。本研究纳入患者植入的IOL均为AcrySof IQ Toric IOL(SN6ATX)。

1.2.3 轴位标记 采用裂隙灯直接标记法。术前30min表面麻醉,患者取坐位,双眼正视前方,用1mL注射器针头侧刃在角膜缘处标示出Toric IOL目标轴位、预定切口位置,深至角膜前弹力层,专用美兰标记笔着色。确认轴位的两处标记连线经过瞳孔中央。标记由同一位经验丰富的医师操作。

1.2.4 手术方法 轴位标记完成后散瞳,患者取仰卧位,常规进行消毒铺巾,开睑器开睑,行2.0mm透明角膜切口,0.5mm侧切口,前房注入黏弹剂,5.5mm直径连续环形撕囊,使用centurion超声乳化仪行白内障超声乳化,术中各参数(能量、负压、流速参数)设置基本一致,白内障超声乳化及注吸皮质完成后,囊袋内注入黏弹剂,植入Toric IOL于囊袋内,将IOL顺时针旋转至距目标轴位约 20° ,完全清除囊袋内及IOL后方的黏弹剂,调整IOL标记至目标轴位,轻压使前囊膜覆盖IOL光学部,水密封口。再次确认IOL标记与目标轴位精确重合,手术完成。术后滴用妥布霉素地塞米松滴眼液4次/d,妥布霉素地塞米松眼膏1次/晚。手术均由同一位手术医师完成。

1.2.5 术后随访 术后1wk,1,3mo时随访观察UCDVA,经主观验光记录残余散光值,采用IOL Master 500测量角膜曲率,并进行眼压及眼前节检查排除散瞳相关风险,散瞳后采用OPD-scan III的Toric Retro模式直接测量Toric IOL轴位,根据与目标轴位的差异,计算IOL轴位偏差度(deviation of lens axis,LAD)。

统计学分析:用SPSS 19.0统计软件进行分析。采用Kolmogorov-Smirnov检验结合P-P图对各变量进行正态分布检验,非正态分布的计量资料采用中位数(四分位数) $[M(P_{25},P_{75})]$ 的形式表示,采用Friedman检验进行比较,两两比较采用Wilcoxon符号配对秩检验,以Bonferroni法校正检验水准($\alpha' = 0.008$)。非正态分布资料的相关性采用Spearman线性相关分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 手术前后视力情况 术前UCDVA、BCDVA和术后1wk,1,3mo UCDVA差异有统计学意义($\chi^2 = 184.641, P < 0.001$),术后UCDVA均较术前UCDVA、BCDVA显著改善($P < 0.008$),见表1,但术后1wk,1,3mo UCDVA两两相比差异无统计学意义($\chi^2 = -0.688, P = 0.491; \chi^2 = -0.510, P = 0.610; \chi^2 = 0.178, P = 0.858$)。术后1wk,1,3mo时,本研究纳入患者UCDVA ≥ 0.5 (LogMAR ≤ 0.301)的比例分别为71%(55/77)、69%(53/77)、69%(53/77)。

2.2 手术前后散光情况 术前角膜散光、预测残余散光和术后1wk,1,3mo残余散光差异有统计学意义($\chi^2 = 241.102, P < 0.001$),预测残余散光和术后1wk,1,3mo残余散光均明显低于术前角膜散光,但术后1wk,1,3mo残余散光均高于预测残余散光($P < 0.008$),见表2。术后1wk,1,3mo残余散光两两相比差异无统计学意义($\chi^2 = 0.280, P = 0.779; \chi^2 = 0.357, P = 0.721; \chi^2 = 0.076, P =$

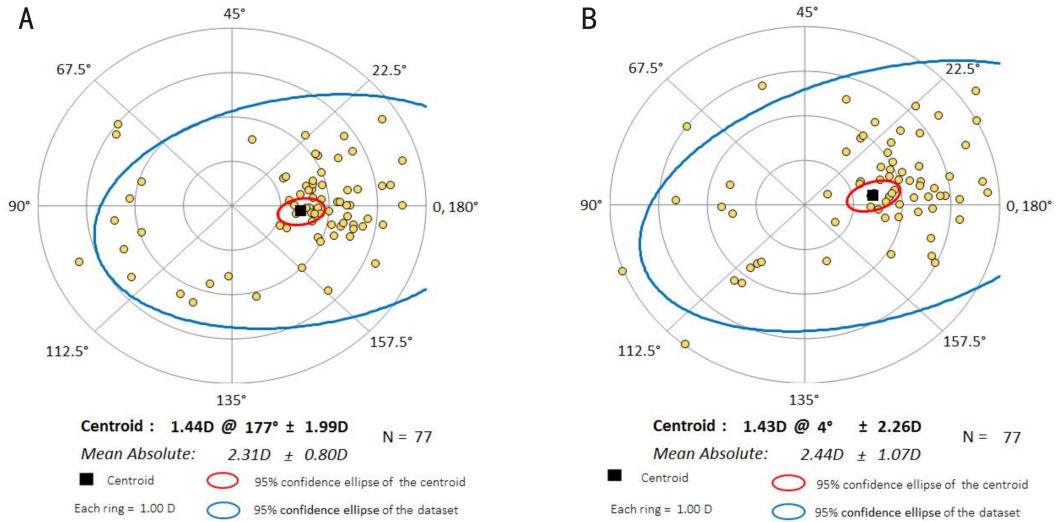


图1 术前和术后3mo角膜散光矢量分布图 A:术前角膜散光;B:术后3mo角膜散光。Centroid:质心值;Mean Absolute:平均绝对值;红色环:质心值的95%置信圆;蓝色环:总体数据的95%置信圆,图中95%置信椭圆一部分中断,为部分个体散光值超出最大圆环4.0D所致。

表1 手术前后视力比较 [M(P₂₅, P₇₅), LogMAR]

时间	UCDVA	BCDVA
术前	0.82(0.60,1.22)	0.52(0.30,0.70)
术后1wk	0.22(0.15,0.40)	-
术后1mo	0.30(0.15,0.40)	-
术后3mo	0.30(0.15,0.40)	-
χ^2_1/P_1	10.397/<0.008	5.351/<0.008
χ^2_2/P_2	9.709/<0.008	4.663/<0.008
χ^2_3/P_3	9.887/<0.008	4.842/<0.008

注: χ^2_1/P_1 : 术后1wk UCDVA vs 术前UCDVA/BCDVA; χ^2_2/P_2 : 术后1mo UCDVA vs 术前UCDVA/BCDVA; χ^2_3/P_3 : 术后3mo UCDVA vs 术前UCDVA/BCDVA。

表2 手术前后散光比较 [M(P₂₅, P₇₅), D]

时间	残余散光	角膜散光
术前(预测)	0.10(0.04,0.18)	2.19(1.73,2.69)
术后1wk	0.75(0.50,1.00)	-
术后1mo	0.75(0.38,1.00)	-
术后3mo	0.50(0.25,1.00)	-
χ^2_1/P_1	6.651/<0.008	7.925/<0.008
χ^2_2/P_2	6.371/<0.008	8.205/<0.008
χ^2_3/P_3	6.294/<0.008	8.282/<0.008

注: χ^2_1/P_1 : 术后1wk 残余散光 vs 预测残余散光/术前角膜散光; χ^2_2/P_2 : 术后1mo 残余散光 vs 预测残余散光/术前角膜散光; χ^2_3/P_3 : 术后3mo 残余散光 vs 预测残余散光/术前角膜散光。

表3 术后LAD情况

时间	LAD	LAD分布(眼,%)		
	[M(P ₂₅ , P ₇₅), °]	0°~5°	6°~10°	>10°
术后1wk	2.0(1,5.0)	62(81)	14(18)	1(1)
术后1mo	2.0(1,4.5)	63(82)	13(17)	1(1)
术后3mo	3.0(1,5.0)	59(77)	16(21)	2(2)

0.939)。术后1wk,1,3mo时,本研究纳入患者残余散光≤0.75D的比例分别为65%(50/77)、69%(53/77)、73%(56/77)。

2.3 Toric IOL 轴位旋转度 术后1wk,1,3mo时,本研究纳入患者LAD值差异无统计学意义($\chi^2 = 2.319, P = 0.314$),LAD<5°的患者比例分别为81%(62/77)、82%(63/77)、77%(59/77),且最大LAD值为11°,见表3。相关性分析结果显示,本研究纳入患者术后3mo时LAD值与残余散光度呈正相关($r_s = 0.225, P = 0.049$),术后1wk,1mo时LAD值与残余散光度均无显著相关性($r_s = 0.210, 0.065, P = 0.066, 0.575$)。

2.4 散光矢量分析 利用散光双倍角图绘制工具V1.1.0^[8]分析本研究纳入患者术后3mo时角膜散光、残余散光与术前角膜散光、预测术后残余散光的散光矢量,可显示散光矢量的均值和质心值、95%置信圆。术前角膜散光均值为2.31±0.80D,质心值为1.44D@177°±1.99D,见图1A;术后3mo角膜散光均值为2.44±1.07D,质心值为1.43D@4°±2.26D,见图1B。预测术后残余散光均值为0.14±0.17D,质心值为0.02D@58°±0.22D,见图2A;术后3mo残余散光均值为0.69±0.53D,质心值为0.05D@142°±0.88D,见图2B。术后3mo残余散光预测误差均值为0.74±0.59D,质心值为0.06D@144°±0.94D,见图3。散光矢量分析结果可直观地显示,术后3mo角膜散光与术前角膜散光的均值、质心值变化不大,但术后3mo残余散光均值、质心值较术前角膜散光明显降低,且95%置信椭圆均明显缩小。

3 讨论

随着白内障手术技术日趋完善,逐渐从传统复明手术时代进入屈光手术时代,患者对术后视力尤其是裸眼视力的要求越来越高,而术后角膜散光是导致白内障患者术后视力不佳的重要因素之一,可明显影响白内障摘除术后的视觉质量^[3]。了解白内障手术前后散光度数及散光轴位旋转的变化,对评价白内障手术具有重要意义。

散光是一种常见的人眼屈光不正,会干扰视网膜成像、增大彗差等阶像差,影响视觉质量^[9-10]。目前白内障患者矫正散光的主要方法包括术后戴镜、角膜屈光手术和Toric IOL植入^[3]。Toric IOL最初由学者Shimizu等^[11]提出,能显著降低白内障患者术后的残余散光,目前已成为矫正白内障患者角膜散光最有效的方法^[12]。本研究结

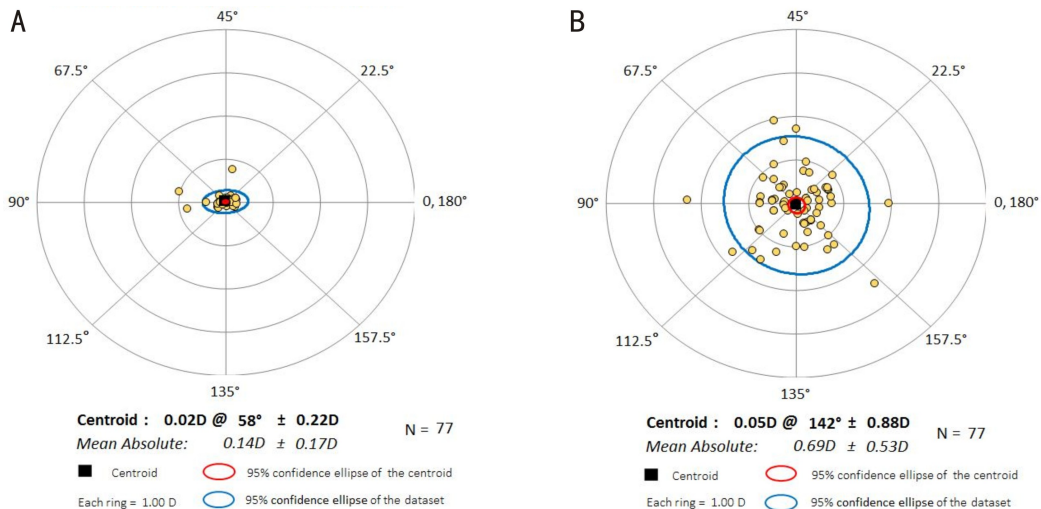


图2 预测术后残余散光和术后3mo残余散光矢量分布图 A:预测术后残余散光;B:术后3mo残余散光。Centroid:质心值;Mean Absolute:平均绝对值;红色环:质心值的95%置信圆;蓝色环:总体数据的95%置信圆。

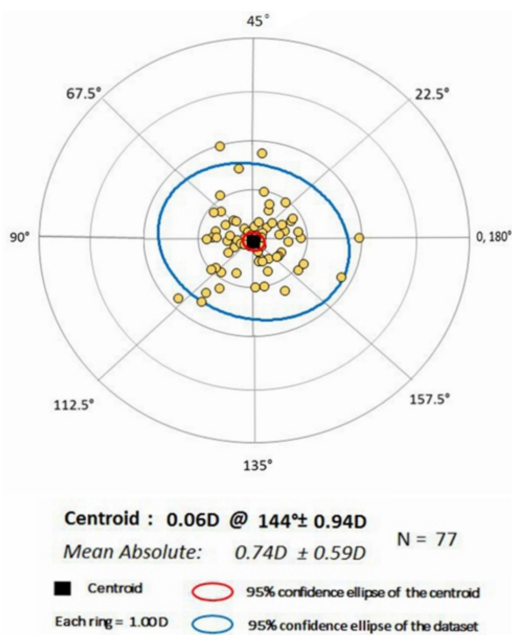


图3 术后残余散光预测误差矢量分布图 Centroid:质心值; Mean Absolute:平均绝对值;红色环:质心值的95%置信圆;蓝色环:总体数据的95%置信圆。

果显示,术后1wk,1,3mo UCDVA 明显好于术前,术前0.82(0.60,1.22),术后1wk 0.22(0.15,0.40),术后1mo 0.30(0.15,0.40),术后3mo 0.30(0.15,0.40),且术后1wk,1,3mo UCDVA 无明显差异。然而多项临床研究结果显示,Toric IOL 术后仍残留较大散光,Toto等^[13]和Sheppard等^[14]研究发现,Toric IOL 植入术后仍存在 $-0.73 \pm 0.45D$ 和 $-0.67 \pm 0.54D$ 的散光。白内障术后残余散光主要来源于角膜散光的测量误差、SIA引起的误差、IOL度数计算误差以及IOL偏心、倾斜、旋转等引起的误差^[5]。为了提高角膜散光测量的精确度,建议同一仪器多次测量、借助至少两种不同原理的设备测量^[15-16]。为减少IOL度数计算误差,建议使用Barrett Toric计算公式^[17],该公式是Toric IOL新一代计算公式,从有效晶状体位置、SIA^[18]等方面进行了优化,并默认选择最小残余散光。而引起SIA的因素有Toric IOL旋转、轴位标记或术中轴位误差以及IOL倾斜或偏心等^[8]。因此评价Toric

IOL矫正角膜散光的有效性、稳定性,最重要的是对角膜散光和残余散光的分析以及对Toric IOL轴位旋转稳定性的评价。关于Toric IOL的旋转稳定性,近年研究显示,Toric IOL术后的平均旋转度为 $3^\circ \sim 5^\circ$ ^[19]。本研究显示术后3mo LAD值中位数 $3.0^\circ(1,5)^\circ$,77%的患者LAD值 $\leq 5^\circ(59/77)$,2%的患者LAD值 $> 10^\circ(2/77)$,均为 11° 。Miyake等^[20]研究观察到AcrySof Toric IOL仅有1.68%发生超过 10° 的旋转,76.7%在术后2a旋转小于 5° 。宋旭东等^[21]研究发现,术后3mo LAD值中位数为 $2.0^\circ(0^\circ \sim 15^\circ)$,与本研究结果相近。有研究证明IOL的囊袋内旋转对Toric IOL眼的成像质量产生的影响主要是散光度数的增加^[7]。宋旭东等^[21]研究发现,植入Toric IOL术后3mo的残余散光值中位数为 $0.75D(0.00 \sim 1.87D)$,与本研究结果[中位数为 $0.50D(0.00 \sim 2.50D)$]相近。

散光是一个矢量,具有大小和方向。传统方法评价散光主要是散光度数的大小^[22],忽略了散光方向的影响。手术前后散光的简单加减并不能完整地反映散光的矫正效果,正确的散光分析是需要将散光的度数和轴向放在笛卡尔坐标系中进行分析^[8]。1992年Holladay等^[23]和1993年Alpins^[24]相继引入了矢量分析的方法来计算眼部散光变化,一般局限于分析角膜或屈光手术前后散光的变化。2004年Alpins等^[25]将矢量分析的方法用于白内障和屈光手术屈光结果的散光分析。Chan等^[26]对飞秒激光辅助超声乳化联合弧形角膜切开手术前后角膜散光进行矢量分析,并用双倍角度图直观地展示了散光度数和方向的改变。本研究运用2018年发表在JCRS杂志上的散光双倍角图绘制工具^[8]来分析手术前后角膜散光、术后残余散光的矢量变化。

散光双倍角图分析法能够直观显示患者手术前后角膜散光的均值和方向的变化,术后残余散光的均值和方向以及与术前预测值的矢量比较,能够直观显示术后散光预测误差的均值和方向^[8]。本研究中散光双倍角图可以直观地显示术后3mo角膜散光与术前角膜散光的均值、质心值变化不大;术后3mo残余散光的均值、质心值比术前角膜散光明显降低,且95%置信椭圆明显缩小;术后残余散光预测误差均值为 $0.74 \pm 0.59D$,质心值为 $0.06D @ 144^\circ \pm 0.94D$,均值与残余散光($0.69 \pm 0.53D$)基本一致。

上述结果表明 Toric IOL 具有良好的散光矫正效果和旋转稳定性。此外,本研究中有 5 眼术后 3mo 残余散光预测误差较大(1.5~2.0D),角膜散光的测量误差也受泪膜的影响,其中 3 眼术后角膜散光大于术前(1.5~2.5D);1 眼 Toric IOL 轴位旋转 10°,术前角膜散光 3.14D,IOL 型号 T8,降低约 33%的矫正效果(约 1.05D),因患者对术后视力尚满意,未进行手术复位;1 眼 IOL 轴位无明显旋转,手术前后角膜散光无明显差异,术后残余散光 1.88D,原因有待进一步查明。本研究纳入患者术后 1wk,1mo 时 LAD 值与残余散光无显著相关性,术后 3mo 时 LAD 值与残余散光呈正相关,长期的相关性有待更多研究进行进一步论证。本研究的局限性在于研究结果未排除眼压、眼轴、角膜曲率等其他因素对 Toric IOL 的有效性、稳定性的影响,希望有更多的研究进一步论证。

综上所述,Toric IOL 可以有效矫正白内障患者角膜散光且具有良好的旋转稳定性。通过散光矢量分析预测术后散光与实际残余散光的差异有利于分析优化角膜散光的测量、IOL 度数计算、手术设计、术后观察等各个环节。

参考文献

- 1 Chen WR, Zuo CG, Chen CY, *et al.* Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Chinese patients. *J Cataract Refract Surg* 2013; 39(2):188-192
- 2 Hayashi K, Manabe SI, Yoshida M, *et al.* Effect of astigmatism on visual acuity in eyes with a diffractive multifocal intraocular lens. *J Cataract Refract Surg* 2010; 36(8):1323-1329
- 3 中华医学会眼科学分会白内障与人工晶状体学组. 我国散光矫正型人工晶状体临床应用专家共识(2017年). *中华眼科杂志* 2017; 53(1):7-10
- 4 Scialdone A, De Gaetano F, Monaco G. Visual performance of 2 aspheric toric intraocular lenses; comparative study. *J Cataract Refract Surg* 2013; 39(6):906-914
- 5 徐雯,李茜. 重视 Toric 人工晶状体应用误差来源分析和控制. *中华实验眼科杂志* 2018; 36(3):165-168
- 6 Kim MH, Chung TY, Chung ES. Long-term efficacy and rotational stability of Acry Softoric intraocular lens implantation in cataract surgery. *Korean J Ophthalmol* 2010; 24(4):207-212
- 7 张斌,马景学,刘丹岩,等. Hwey-Lan Liou 模型眼中 Toric 人工晶状体旋转对成像质量的影响. *中华实验眼科杂志* 2017; 35(3):239-242
- 8 Abulafia A, Koch DD, Holladay JT, *et al.* Pursuing perfection in IOL calculations IV: astigmatism analysis, SIA and double angle plots. *J Cataract Refract Surg* 2018; 44(10):1169-1174
- 9 Miller JM, Harvey EM, Schwiegerling J. Higher-order aberrations and best-corrected visual acuity in native american children with a high prevalence of astigmatism. *JAAPOS* 2015; 19(4):352-357. e1

- 10 Remón L, Monsoriu JA, Furlan WD. Influence of different types of astigmatism on visual acuity. *J Optom* 2017; 10(3):141-148
- 11 Shimizu K, Misawa A, Suzuki Y. Toric intraocular lenses: correcting astigmatism while controlling axis shift. *J Cataract Refract Surg* 1994; 20(5):523-526
- 12 Kessel L, Andresen J, Tendal B, *et al.* Toric intraocular lenses in the correction of astigmatism during cataract surgery: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2016; 123(2):275-286
- 13 Toto L, Vecchiarino L, D'Ugo E, *et al.* Astigmatism correction with toric IOL: analysis of visual performance, position, and wavefront error. *J Refract Surg* 2013; 29(7):476-483
- 14 Sheppard AL, Wolffsohn JS, Bhatt U, *et al.* Clinical outcomes after implantation of a new hydrophobic acrylic toric IOL during routine cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2013; 39(1):41-47
- 15 Browne AW, Osher RH. Optimizing precision in toric lens selection by combining keratometry techniques. *J Refract Surg* 2014; 30(1):67-72
- 16 Hoffmann PC, Abraham M, Hirschschall N, *et al.* Prediction of residual astigmatism after cataract surgery using swept source fourier domain optical coherence tomography. *Curr Eye Res* 2014; 39(12):1178-1186
- 17 Ferreira TB, Ribeiro P, Ribeiro FJ, *et al.* Comparison of astigmatic prediction errors associated with new calculation methods for toric intraocular lenses. *J Cataract Refract Surg* 2017; 43(3):340-347
- 18 Arthur E, Sadik AA, Kumah DB, *et al.* Postoperative corneal and surgically induced astigmatism following superior approach manual small incision cataract surgery in patients with preoperative against-the-rule astigmatism. *J Ophthalmol* 2016; 2016:9489036
- 19 Visser N, Bauer NJ, Nuijts RM. Toric intraocular lenses: historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications. *J Cataract Refract Surg* 2013; 39(4):624-637
- 20 Miyake T, Kamiya K, Amano R, *et al.* Long-term clinical outcomes of toric intraocular lens implantation in cataract cases with preexisting astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2014; 40(10):1654-1660
- 21 宋旭东,郝燕生,鲍永珍,等. Toric 人工晶状体植入术有效性和安全性的多中心研究. *中华眼科杂志* 2018; 54(5):349-356
- 22 高玉菲,孙彤,罗金花,等. 不同眼轴长度白内障患者植入散光矫正型人工晶状体的旋转稳定性及其相关因素分析. *中华眼科杂志* 2020; 56(1):41-46
- 23 Holladay JT, Cravy TV, Koch DD. Calculating the surgically induced refractive change following ocular surgery. *J Cataract Refract Surg* 1992; 18(5):429-443
- 24 Alpíns NA. A new method of analyzing vectors for changes in astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 1993; 19(4):524-533
- 25 Alpíns NA, Goggin M. Practical astigmatism analysis for refractive outcomes in cataract and refractive surgery. *Surv Ophthalmol* 2004; 49(1):109-122
- 26 Chan TC, Cheng GP, Wang Z, *et al.* Vector analysis of corneal astigmatism after combined femtosecond-assisted phacoemulsification and arcuate keratotomy. *Am J Ophthalmol* 2015; 160(2):250-255. e2