

# Toric IOL 植入术后远期稳定性、疗效及剩余散光分析

楼锡聪 常平骏 王依依 倪俊 李宏哲 赵云娥  
温州医科大学附属眼视光医院杭州院区, 杭州 310000  
通信作者: 赵云娥, Email: zyhzyeye@126.com

**【摘要】 目的** 研究 AcrySof Toric 人工晶状体 (IOL) 植入术后远期的稳定性、疗效、剩余散光特点及其与 IOL 倾斜的相关性。**方法** 采用系列病例观察研究, 纳入 2012 年 6 月至 2020 年 12 月在温州医科大学附属眼视光医院杭州院区行白内障超声乳化吸除联合 AcrySof Toric IOL 植入术的白内障合并角膜散光患者 33 例 50 眼。收集术前角膜散光、术后 1~3 个月全眼散光及术后 2 年以上的视力、角膜散光、全眼散光和 IOL 倾斜度、偏心量及轴向等指标。计算术后剩余散光, 并分析其与 IOL 倾斜的相关性。**结果** AcrySof Toric IOL 植入术后远期平均全眼散光为  $(0.60 \pm 0.46)$  D, 明显低于术前的  $(1.70 \pm 0.92)$  D, 差异有统计学意义 ( $t = 12.900, P < 0.001$ )。术后早期和远期全眼散光  $\leq 0.50$  D 者分别占 58% (29/50) 和 48% (24/50),  $\leq 0.75$  D 者分别占 84% (42/50) 和 78% (39/50), 术后远期矫正效果较早期稍有下降, 但差异无统计学意义 ( $\chi^2 = 1.004, 0.585, P = 0.316, 0.444$ )。术前至术后远期角膜散光变化的矢量质心为  $0.20$  D@ $27^\circ$ , 与零向量相比差异有统计学意义 ( $T^2 = 13.442, P = 0.003$ )。在稳定性方面, 术后远期 Toric IOL 平均轴向偏位为  $(3.40 \pm 2.88)^\circ$ , 其中偏位  $\leq 5^\circ$  者占 82% (41/50), 偏位  $\leq 10^\circ$  者占 96% (48/50); Toric IOL 平均倾斜度为  $(3.46 \pm 1.67)^\circ$ , 平均偏心量为  $(0.22 \pm 0.14)$  mm。Toric IOL 植入术后远期剩余散光为  $(0.67 \pm 0.45)$  D, 矢量质心为  $0.21$  D@ $159^\circ$ 。Toric IOL 倾斜方向与剩余散光方向呈中等正相关 ( $r = 0.494, P < 0.001$ )。**结论** AcrySof Toric IOL 植入术后远期稳定性良好, 可有效矫正术前角膜散光; 术后远期角膜散光改变量较小, 仅对远期矫正效果产生轻微影响; 术后剩余散光与 IOL 倾斜方向具有一定相关性。

**【关键词】** 人工晶状体; 角膜散光; 晶状体倾斜; 剩余散光

**基金项目:** 浙江省医药卫生重大科技计划重点项目 (WKJ-ZJ-2441)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240404-00097

## Long-term stability, efficacy and residual astigmatism after AcrySof Toric IOL implantation

Lou Xicong, Chang Pingjun, Wang Yiyi, Ni Jun, Li Hongzhe, Zhao Yune

Eye Hospital of Wenzhou Medical University, Hangzhou Branch, Hangzhou 310000, China

Corresponding author: Zhao Yune, Email: zyhzyeye@126.com

**【Abstract】 Objective** To evaluate the long-term stability, efficacy, characteristics of residual astigmatism after AcrySof Toric intraocular lens (IOL) implantation and the correlation between residual astigmatism and IOL tilt. **Methods** An observational case-series study was conducted. Thirty-three patients (50 eyes) who underwent phacoemulsification combined with AcrySof Toric IOL implantation for cataract and concurrent corneal astigmatism at the Eye Hospital of Wenzhou Medical University, Hangzhou Branch, from June 2012 to December 2020 were enrolled. Parameters including preoperative corneal astigmatism, total ocular astigmatism within 1–3 months postoperatively, and long-term outcomes over 2 years postoperatively such as visual acuity, corneal astigmatism, total ocular astigmatism analyzed, IOL tilt, decentration and axis orientation were collected and analyzed. The postoperative residual astigmatism was calculated, and its correlation with the IOL tilt was analyzed. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by the Ethics Committee of Eye Hospital of Wenzhou Medical University (No. H2022-022-K-22). Informed consent was waived for this study as it involved only the analysis of pre-existing, de-identified data. **Results** Long-term mean total ocular astigmatism after AcrySof Toric IOL implantation was  $(0.60 \pm 0.46)$  D, which was significantly lower than the preoperative  $(1.70 \pm 0.92)$  D, with a statistical difference ( $t = 12.900, P < 0.001$ ). During postoperative 1–3 months and long-term follow-up, the proportions of eyes with total ocular astigmatism  $\leq 0.50$  D were 58% (29/50) and 48% (24/50), respectively,

while those with  $\leq 0.75$  D were 84% (42/50) and 78% (39/50), showing a slight decline in the corrective effect with no statistical difference ( $\chi^2 = 1.004, 0.585; P = 0.316, 0.444$ ). The centroid of the change in corneal astigmatism from preoperative to long-term postoperative was 0.20 D@27°, with a statistical difference compared with zero vector ( $T^2 = 13.442, P = 0.003$ ). In terms of stability, the average misalignment of Toric IOL at long-term follow-up was (3.40±2.88)°, with  $\leq 5^\circ$  in 82% (41/50) and  $\leq 10^\circ$  in 96% (48/50) of eyes. The mean tilt of the Toric IOL was (3.46±1.67)°, and the mean decentration was (0.22±0.14)mm. Residual astigmatism at the long-term follow-up after Toric IOL implantation was (0.67±0.45)D with a vector centroid of 0.21 D@159°. A moderate positive correlation was observed between the tilt direction of Toric IOL and the direction of residual astigmatism ( $r = 0.494, P < 0.001$ ). **Conclusions** AcrySof Toric IOL implantation demonstrates good long-term stability and can effectively correct preoperative corneal astigmatism. The change in corneal astigmatism from preoperative measurements to long-term postoperative follow-ups is relatively minor and has a minimal impact on the long-term outcomes. The direction of residual astigmatism is partially correlated with the tilt direction of the IOL.

**[Key words]** Intraocular lens; Corneal astigmatism; Lens tilt; Residual astigmatism

**Fund program:** Key Project of Major Science and Technology Program for Medical and Health of Zhejiang Province (WKJ-ZJ-2441)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20240404-00097

白内障患者术前角膜散光相对常见,角膜散光 $\geq 1.0$  D 的比例为 36.05%~47.27%, $\geq 2.0$  D 的比例为 8.10%~13.16%<sup>[1-3]</sup>。对于角膜散光度数较大的白内障患者,可通过在最陡峭子午线上做角膜或对侧角膜透明切口、散光性角膜切开术、散光矫正型人工晶状体(intraocular lens, IOL)植入术矫正角膜散光<sup>[4-5]</sup>。随着可折叠 IOL 及白内障手术技术的发展,手术切口不断减小,但角膜透明切口的矫正效果有限,仅适合矫正低度角膜散光;而散光性角膜切开术通常在低度散光( $< 1.5$  D)且切口弧度不超过 90°的情况下,可获得较好的散光矫正效果<sup>[6]</sup>,与 Toric IOL 植入术相比,尤其在处理高度散光时,其矫正效果的可预测性和稳定性均无法达到同等水平<sup>[7]</sup>。目前,Toric IOL 凭借其优异的可预测性,已成为矫正白内障患者角膜散光较为常用的有效方法<sup>[8]</sup>。当前多数研究聚焦于 Toric IOL 植入术后早期效果,而其植入术后远期的稳定性和疗效,尤其是 IOL 倾斜、偏心及旋转,以及由 IOL 倾斜导致的剩余散光等问题仍不明确<sup>[9-11]</sup>。本研究旨在对接受 Toric IOL 植入术后 2 年以上患者的角膜前后表面散光、全眼散光和 IOL 倾斜、偏心及轴向进行分析,以评估 Toric IOL 植入术后远期的稳定性和临床疗效,并探究术后剩余散光的可能来源。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用系列病例观察研究,收集 2012 年 6 月至 2020 年 12 月在温州医科大学附属眼视光医院杭州院区行白内障超声乳化吸除联合 AcrySof Toric IOL(IQ Toric SN6ATx,美国 Alcon 公司)植入术的白内障合并角膜

散光患者 33 例 50 眼。纳入标准:(1)术前使用 IOLMaster 500/700 和 Pentacam 检查的白内障患者;(2)主切口设置在 120°方位;(3)术中无囊膜破裂,成功植入 Toric IOL;(4)术后 1~3 个月及 2 年以上随访时完成主觉验光;(5)术后 2 年以上随访时经散瞳检查确定 Toric IOL 轴向;(6)术后最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA) $\leq 0.3$  LogMAR<sup>[12]</sup>。排除标准:(1)存在弱视、青光眼等影响视力的疾病者;(2)既往有翼状胬肉手术、穿透性青光眼手术、玻璃体切割术和巩膜扣带术等眼科手术史者;(3)后发性白内障(posterior capsule opacification, PCO)遮挡瞳孔区中央 3 mm 或已行后囊膜激光截开术;(4)术后 IOL 囊袋机化、皱缩导致 IOL 倾斜 $\geq 10^\circ$ 或偏心 $\geq 1$  mm。纳入患者年龄 33~72 岁,术前角膜散光 0.50~4.80 D,眼轴长度 20.85~30.76 mm,随访时间 2~8 年,IOL 屈光度 7.00~28.50 D。本研究主要随访时间节点为术后 1~3 个月、术后 2 年及以上;术后 1~3 个月定义为术后早期、术后 2 年及以上定义为术后远期。患者术前基线资料及眼部参数见表 1。本研究遵循《赫尔辛基宣言》,研究方案经温州医科大学附属眼视光医院伦理委员会审核批准(批文号:H2022-022-K-22)。本研究因使用去标识化数据而豁免知情同意。

### 1.2 方法

**1.2.1 手术方法** 术前对患者行轴向标记,对术眼行表面麻醉后,嘱患者坐直,将下颌置于下颌托,前额紧贴前额带,双眼外眦部与裂隙灯显微镜标志线水平对齐,嘱患者保持头位固定,双眼注视正前方,检查者将裂隙灯显微镜光带调整为细光带,旋转对准 Toric IOL 目标轴向,并以角膜顶点为中心,确保光带通过角膜中



部,用 1 ml 注射针头在角膜缘划线,标记的 IOL 目标轴向位置为一条锐线;采用同样方法标记角膜主切口 120°方向,并对划痕进行染色,以便于手术过程中的识别。对术眼充分扩瞳,表面麻醉后进行常规消毒并铺巾,开睑器撑开眼睑。使用 15°刀于 3 点位角膜作侧切口,前房内注入粘弹剂,用 2.2 mm 穿刺刀于角膜缘 120°方位行透明角膜切口,用撕囊镊行 5.0~5.5 mm 连续环形撕囊,随后进行水分离、超声乳化吸除晶状体核和残余皮质,并对后囊进行抛光。再次于前房内注入粘弹剂,通过推注器将 AcrySof Toric IOL 植入囊袋中,初步旋转至接近目标轴向的位置。吸除残余粘弹剂,将 IOL 轴向旋转对准正确位置;在前房形成良好后,行水密切口,取下开睑器确认 IOL 轴向。手术结束后,术眼涂妥布霉素地塞米松眼膏,并适当包扎。所有手术都由同一位经验丰富的眼科医师完成。

表 1 患者基线资料及眼部参数  
Table 1 Baseline demographic data and ocular parameters of patients

参数	数值
例数/眼数	33/50
眼别(右/左, n)	21/29
性别(男/女, n)	14/19
年龄[ $M(Q_1, Q_3)$ , 岁]	60.0(56.8, 63.0)
术前角膜散光( $\bar{x} \pm s, D$ )	1.70±0.92
眼轴长度( $\bar{x} \pm s, mm$ )	25.10±2.45
随访时长( $\bar{x} \pm s$ , 年)	4.8±1.5
IOL 屈光度( $\bar{x} \pm s, D$ )	18.29±5.10
IOL 类型[ $n(\%)$ ]	
T2	4(8%)
T3	19(38%)
T4	14(28%)
T5	6(12%)
T6	3(6%)
T7	2(4%)
T8	0(0%)
T9	2(4%)

注: IOL: 人工晶状体

Note: IOL: intraocular lens

## 1.2.2 观察指标

**1.2.2.1 手术前后角膜散光、术后全眼散光及视力测量** (1)角膜散光 采用 IOLMaster 500/700 生物测量仪(德国 Carl Zeiss 公司)和 Pentacam 眼前节分析仪(德国 Oculus 公司)测量术前角膜散光。采用 Pentacam 测量术后角膜前后表面散光及总散光。(2)视力 采用标准对数视力表测量最佳矫正远视力

(corrected distance visual acuity, CDVA)、裸眼远视力(uncorrected distance visual acuity, UDVA),均以 LogMAR 记录。(3)验光与相关计算 采用主觉验光测量球镜度、柱镜度及轴向,并计算等效球镜度(spherical equivalent, SE), $SE = \text{球镜度} + 1/2 \text{柱镜度}$ 。术后主觉验光测量的柱镜度及轴向为术后全眼散光,即 Toric IOL 植入术后的残余散光。预测 SE 由 IOLMaster 生物测量仪测量并计算得出。(4)散光分量分解与坐标系统一 参照文献[13]的 X-Y 坐标分析,将散光分解为垂直(90°)、水平(180°)和斜向(45°、135°)的散光分量。在 X-Y 坐标分析中,将垂直(90°)、水平(180°)的散光分量作为 X 坐标值( $R_x$ ),将斜向(45°、135°)的散光分量作为 Y 坐标值( $R_y$ )。 $R_x$  值为负表示逆规散光, $R_x$  值为正表示顺规散光。在将散光数据分解为上述分量前,参考既往研究,为保证坐标系一致性(鼻/颞侧朝向),消除左右眼解剖位置差异导致的数据分析偏差,确保双眼数据可比、矢量计算准确,需对左眼散光轴向按以下公式进行转换:新轴向 = 180° - 原轴向<sup>[14-15]</sup>。(5)屈光结果图表绘制 采用 IOL 屈光手术的标准报告图呈现屈光结果<sup>[16]</sup>;采用美国白内障与屈光手术学会(American Society of Cataract and Refractive Surgery, ASCRS)散光双倍角绘图工具(<https://ascrs.org/tools/astigmatism-double-angle-plot-tool>)在双倍角图上绘制术前角膜散光、术后早期全眼散光、术后远期全眼散光以及术后早期至远期散光的变化趋势<sup>[17]</sup>。采用 ASCRS 术源性散光绘图工具(<https://ascrs.org/tools/corneal-sia-tool>)在双倍角图上绘制术前和术后远期角膜散光的变化(角膜散光变化数据不进行镜像转换,因左右眼主切口均位于 120°,不存在镜像关系)。

**1.2.2.2 Toric IOL 的轴向、倾斜及偏心测量** 扩瞳后采用 CASIA2 扫频光学相干断层扫描(swept-source optical coherence tomography, SS-OCT)(日本 TOMEY 公司)进行 Toric IOL 植入术后眼前段成像。SS-OCT 图像可清晰显示 Toric IOL 的轴向标志,内置程序中的标记线可旋转并对准 IOL 轴向(图 1)。Toric IOL 的轴向偏位定义为术后 IOL 实际轴向与目标轴向(术中记录的轴向)的差值。

采用 CASIA2 SS-OCT 的 IOL 扫描模式,从 8 个不同角度(0°~180°、90°~270°、23°~203°、113°~293°、45°~225°、135°~315°、68°~248°和 158°~338°)获取 8 幅眼前节 OCT 图像;CASIA2 可自动识别晶状体和 IOL 的轮廓,并通过内置软件直接生成 IOL 倾斜度和偏心量的三维分析报告(图 1)。

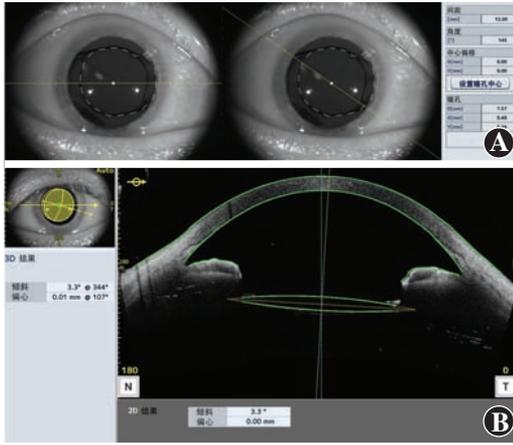


图1 Toric IOL 轴向、倾斜和偏心的测量 A:左侧黄色标记线表示水平位置,右侧黄色标记线表示实际 IOL 轴向(图中所示为 145°) B:内置软件分析 IOL 的倾斜及偏心 IOL:人工晶状体

**Figure1 Measurement of Toric IOL axial position, tilt and decentration** A: The yellow marker line on the left represented the horizontal position, and the yellow marker line on the right indicated the actual IOL axial position (145° as shown in the image) B: Built-in software to analyze the tilt and decentration of the IOL. IOL: intraocular lens

**1.2.2.3 术后远期剩余散光与 IOL 倾斜的相关性分析** 剩余散光是指通过矢量计算方法,将全眼散光减去角膜前、后表面散光和 IOL 散光,进而获得的既非角膜来源亦非 IOL 来源的散光值<sup>[18]</sup>。本研究收集 Toric IOL 植入术后远期患者的主觉验光结果、角膜散光、IOL 轴向、IOL 型号和屈光度,通过矢量计算,分析 Toric IOL 植入术后远期的剩余散光,剩余散光以 M@θ 形式表示,其中 θ 为屈光力子午线方向。采用 CASIA2 SS-OCT 获取的 IOL 倾斜度及倾斜方向,与剩余散光的度数及方向进行相关性分析。将所有 IOL 倾斜方向均转换为 0°~180°,例如 334° 倾斜方向与 154° 倾斜方向所引入的散光方向一致,再将倾斜方向与散光方向进行分析。由于 0° 左右和 180° 左右的方向理论上应呈现较强相关性,因此对部分接近 0° 和 180° 的数据进行调整后再进行分析,例如将 170°~14° 调整为 170°~194°,将 172°~9° 调整为 172°~189°。

**1.3 统计学方法**

采用 SPSS 26.0 统计学软件对数据进行统计分析。计量资料经 Shapiro-Wilk 检验证实符合正态分布者以  $\bar{x} \pm s$  表示,不符合正态分布者以  $M(Q_1, Q_3)$  表示;计数资料以频数和百分比表示。采用配对 t 检验比较术后早期与远期的全眼散光水平;采用  $\chi^2$  检验比较术后早期与远期全眼散光  $\leq 0.50$  及  $0.75$  D 的眼数百分比差异;采用 Hotelling T<sup>2</sup> 检验对质心参数进行多元统计分析;采用广义估计方程 (generalized estimating equation, GEE) 分析 IOL 倾斜方向、倾斜度与剩余散光方向、散光度数的相关性。 $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

**2 结果**

**2.1 手术前后角膜散光、术后全眼散光及视力**

术后远期 UDVA 为 0.10 (0.10, 0.30) LogMAR, CDVA 为 0.00 (0.00, 0.10) LogMAR, 术后远期 UDVA  $\leq 0.10$  的比例为 52% (26/50), UDVA  $\leq 0.30$  的比例为 78% (39/50)。UDVA 比 CDVA 差 1 行及以内的比例为 62% (31/50)。预测 SE 与实际 SE 差值在  $\pm 0.50$  D 以内的比例为 58% (29/50)。术后全眼散光在 0.50 D 以内的比例为 48% (24/50) (图 2)。

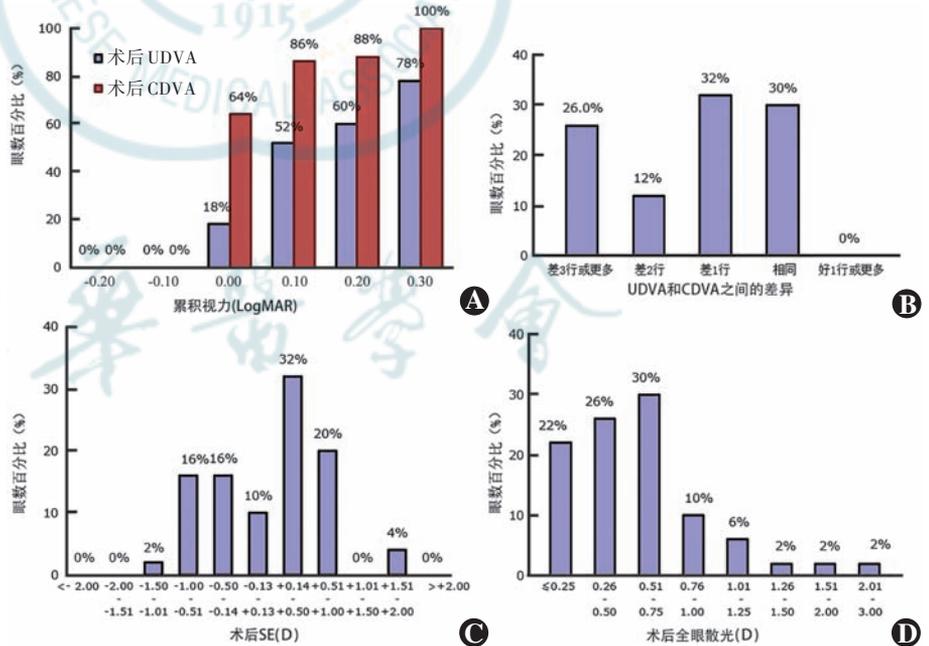


图2 AcrySof Toric IOL 植入术后的远期效果 (n=50) A:术后 2 年以上 UDVA 和 CDVA 累积分布 B:与术后 CDVA 相比,术后 UDVA 的行数变化 C:术后预测 SE 与实际 SE 差值分布 D:术后全眼散光分布 UDVA:裸眼远视力;CDVA:矫正远视力;SE:等效球镜度;IOL:人工晶状体

**Figure 2 Long-term results after AcrySof Toric IOL implantation (n=50)** A: Cumulative distribution of UDVA and CDVA over 2 years after surgery B: Change in the number of rows in postoperative UDVA compared with postoperative CDVA C: Distribution of difference between postoperative predicted and actual SE D: Distribution of postoperative total ocular astigmatism UDVA: uncorrected distance visual acuity; CDVA: corrected distance visual acuity; SE: spherical equivalent; IOL: intraocular lens

术前角膜散光与术后全眼散光的双倍角图及累积比例直方图显示,术后散光矫正效果明显。术后远期平均全眼散光为  $(0.60 \pm 0.46) D$ ,较术前的  $(1.70 \pm 0.92) D$  显著降低,差异有统计学意义 ( $t = 12.900, P < 0.001$ )。术后早期全眼散光  $\leq 0.50 D$  者占 58% (29/50),  $\leq 0.75 D$  者占 84% (42/50);术后远期全眼散光  $\leq 0.50 D$  者占 48% (24/50),  $\leq 0.75 D$  者占 78% (39/50)。术后早期散光矫正效果稍优于术后远期,但两者差异均无统计学意义 ( $\chi^2 = 1.004, 0.585, P = 0.316, 0.444$ ) (图 3)。术后早期全眼散光的垂直/水平分量  $R_x$  为  $0.25 \pm 0.44$ ,斜向分量  $R_y$  为  $-0.02 \pm 0.44$ ,术后远期全眼散光的垂直/水平分量  $R_x$  为  $0.28 \pm 0.61$ ,斜向分量  $R_y$  为  $-0.04 \pm 0.38$ ,术后早期和远期的  $R_x$  和  $R_y$  差异均无统计学意义 ( $t = -0.543, 0.428, P = 0.590, 0.670$ )。

双倍角图显示术前至术后远期角膜散光变化的质心为  $0.20 D @ 27^\circ$ ,该质心与表示无散光变化的零向量相比,差异有统计学意义 ( $T^2 = 13.442, P = 0.003$ ),角膜散光变化的方向与主切口  $120^\circ$  方向相对应。术后早期至远期全眼散光变化的质心为  $0.04 D @ 160^\circ$ ,与零向量相比差异无统计学意义 ( $T^2 = 2.945, P = 0.248$ ) (图 4)。

### 2.2 Toric IOL 轴向稳定性及 IOL 倾斜、偏心

术后远期 Toric IOL 轴向偏位平均值为  $(3.40 \pm 2.88)^\circ$ ,其中偏位  $\leq 5^\circ$  者占 82% (41/50),  $\leq 10^\circ$  者占 96% (48/50),所有研究眼的 IOL 轴向偏位均  $\leq 15^\circ$ ; Toric IOL 的平均倾斜度为  $(3.46 \pm 1.67)^\circ$ ,平均偏心量为  $(0.22 \pm 0.14) mm$ 。

### 2.3 IOL 倾斜和剩余散光的相关性

Toric IOL 植入术后远期剩余散光为  $(0.67 \pm 0.45) D$ ,22% (11/50) 陡峭轴向分布在水平方向,22% (11/50) 分布在垂直方向,56% (28/50) 分布在斜轴方向,矢量质心为  $0.21 D @ 159^\circ$  (表 2)。剩余散光方向与 IOL 倾斜方向呈中等正相关 ( $r = 0.494, P < 0.001$ ),其大小无明显相关性 ( $r = 0.020, P = 0.550$ ) (图 5)。

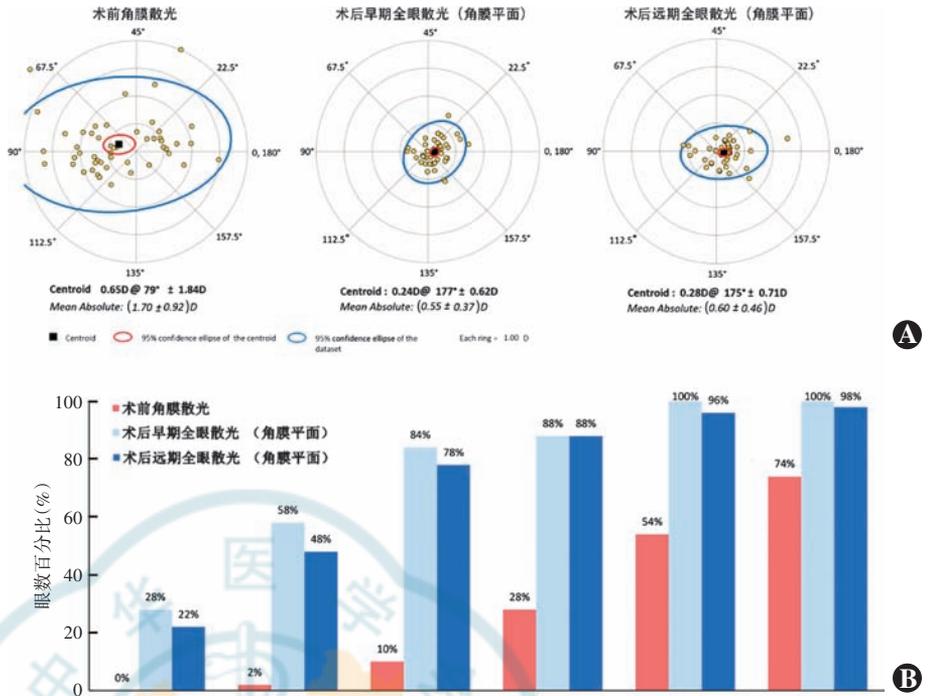


图 3 角膜散光与全眼散光 (角膜平面) 双倍角图和累积直方图 ( $n = 50$ ) A: 双倍角图 Centroid: 质心; Mean Absolute: 散光大小平均值 B: 累积直方图

Figure 3 Double-angle plots and cumulative histogram of preoperative corneal astigmatism and postoperative total ocular astigmatism (corneal plane) ( $n = 50$ ) A: Double-angle plots B: Cumulative histogram

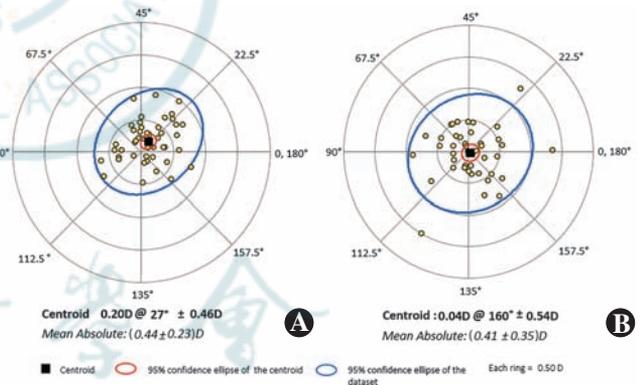


图 4 散光变化的双倍角图 ( $n = 50$ ) A: 术前至术后远期角膜散光变化 B: 术后早期至远期全眼散光变化 Centroid: 质心; Mean Absolute: 散光大小平均值

Figure 4 Double-angle plots of astigmatism change ( $n = 50$ ) A: Preoperative to postoperative long-term corneal astigmatism B: Postoperative short-term to long-term total ocular astigmatism

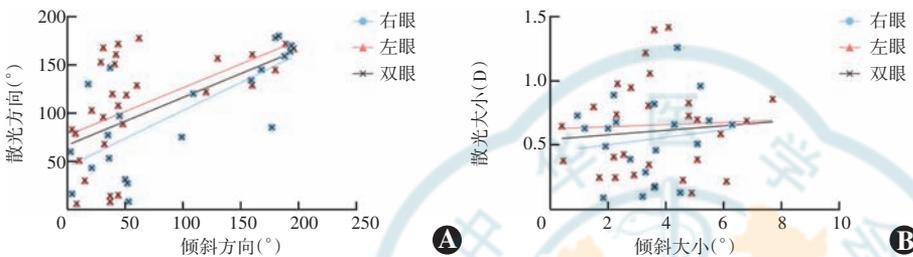
### 3 讨论

随着屈光性白内障手术的不断发展和 Toric IOL 因其良好的稳定性及可预测性在临床中得到广泛应用,有研究对比 Tecnis® ZCT IOL 和 AcrySof® IQ Toric IOL,发现 2 种 Toric IOL 均能有效提升患者术后视力,降低术后残余散光,并具有良好的旋转稳定性<sup>[19]</sup>。然而,对于各类 Toric IOL 矫正角膜散光的研究,其随访

**表 2 Toric IOL 植入术后远期角膜前后表面散光、总散光及剩余散光**  
**Table 2 Long-term outcomes of anterior and posterior corneal surface astigmatism, total astigmatism, and residual astigmatism after Toric IOL implantation**

参数	度数 ( $\bar{x}\pm s, D$ )	陡峭轴向<30° 或>150° (%)	陡峭轴向>60°~ <120° (%)	陡峭轴向≥30°~≤60° 或≥120°~≤150° (%)	质心
角膜前表面散光	1.59±0.88	26	58	16	0.48 D@78°
角膜后表面散光	0.34±0.19	2	90	8	0.30 D@177°
角膜总散光	1.37±0.77	36	54	10	0.27 D@61°
剩余散光	0.67±0.45	22	22	56	0.21 D@159°

注:IOL:人工晶状体  
 Note: IOL: intraocular lens



**图 5 剩余散光与 IOL 倾斜的相关性散点图**(广义估计方程,  $n=50$ ) A: 剩余散光方向与倾斜方向呈中等正相关( $r=0.494, P<0.001$ ) B: 剩余散光大小与倾斜大小无明显相关性( $r=0.020, P=0.550$ ) IOL: 人工晶状体

**Figure 5 Correlation plot between residual astigmatism and IOL tilt** (Generalized estimating equation,  $n=50$ ) A: The direction of residual astigmatism and the direction of IOL tilt were moderately positively correlated ( $r=0.494, P<0.001$ ) B: The magnitude of residual astigmatism and the magnitude of IOL tilt were not significantly correlated ( $r=0.020, P=0.550$ ) IOL: intraocular lens

时间多集中于术后 3~6 个月,术后 2 年及以上的长期随访研究结果鲜有报道<sup>[20]</sup>。由于随年龄增长,角膜曲率会发生生理性改变,且 IOL 囊袋复合体存在动态演变过程,其远期矫正效果和稳定性仍需进一步探究。本研究主要评估 Toric IOL 植入术后 2 年及以上的远期结果,同时采用 SS-OCT 分析了 IOL 的倾斜度和偏心量,重点分析了中国人群 Toric IOL 植入术后的剩余散光及其与 IOL 倾斜的相关性,并探讨了剩余散光的来源,旨在为探索影响散光计算准确性的潜在因素提供参考。

本研究结果显示,在行白内障超声乳化吸除联合 Toric IOL 植入术的患者中,术后远期的平均全眼散光大小为(0.60±0.46)D,78%的患者全眼散光≤0.75 D,与早期效果相比差异无统计学意义。术后远期 UDVA 为 0.10 (0.10, 0.30), CDVA 为 0.00 (0.00, 0.10); UDVA 较 CDVA 差 1 行及以内者共 31 眼(占 62%),其中 17 眼术前存在高度近视(占 34%),术后屈光目标接近-2.00 D;UDVA 较 CDVA 差 2 行及以上的占比较高(占 38%);但术后远期仍有 52%的眼 UDVA ≤ 0.10,78%的眼 UDVA ≤ 0.30。既往有研究结果显示,行 AcrySof Toric IOL 植入术后 5 年的 19 例患者,

UDVA 为 0.16 ± 0.13, CDVA 为 0.05 ± 0.10,其中 UDVA ≤ 0.10 者有 6 例(占 31%), ≤ 0.30 者有 16 例(占 84%)<sup>[21]</sup>。与之相比,本研究视力结果相对较好,可能是因为本研究排除了 PCO 遮挡中央区及患有其他严重影响视力的疾病者。

双倍角图显示,术前和术后远期角膜散光变化的质心为 0.20 D@27°,该方向与主切口方向 120° 对应,为微切口白内障手术远期术源性散光的评估提供参考数据。术后远期和早期全眼散光变化差异虽无统计学意义,但散光矫正量为 0.50 和 0.75 D 时,其百分比轻微变化,可能部分与角膜散光的生理性改变有关。既往研究表明,微切口白内障手术对角膜后表面散光影响甚微<sup>[15]</sup>。Toric IOL 植入术后患者的远期角膜后表面散光为(0.34 ± 0.19)D,其中 90% 患者的角膜陡峭轴在垂直方向,矢量分析结果显示为逆规散光(0.30 D@177°),与既往研究结果相近<sup>[22]</sup>。与术前角膜后表面散光相比,术后远期角膜后表面散光无明显变化,与既往研究结果相似<sup>[15]</sup>。

研究表明,Toric IOL 的散光矫正效果和旋转稳定性在 1~2 年的随访期内保持良好<sup>[9-10]</sup>。Miyake 等<sup>[9]</sup> 研究报道,Toric IOL 植入术后 2 年仍具有良好的旋转稳定性,平均偏位为(4.1 ± 3.0)°。本研究发现,Toric IOL 植入术后远期,IOL 旋转稳定性良好,平均偏位为(3.40 ± 2.88)°,与既往研究结果相近。本研究纳入患者的眼轴长度范围较广,未针对高度近视或囊袋松弛等可能影响 Toric IOL 旋转稳定性的情况进行分组界定或排除;高度近视患者眼轴较长,其晶状体囊袋容积可能更大,进而导致植入的 IOL 与囊袋适配性不佳,这可能是导致 Toric IOL 旋转的危险因素。然而,He 等<sup>[23]</sup>探讨了眼轴长度大于 25 mm 患者的 Toric IOL 旋转稳定性,未发现眼轴长度与 IOL 旋转之间存在明显相关性,而撕囊面积过大是 IOL 旋转的危险因素;该研究还发现,在眼轴偏长的眼中,眼轴长度与囊袋直径之间未呈现正相关性。在高度近视患者中,Toric IOL 仍可提供良好的旋转稳定性。另有研究发现,非球面

IOL 出现  $7.0^\circ$  及以上倾斜或  $0.40\text{ mm}$  以上偏心, 会引发散光、高阶像差等<sup>[24-27]</sup>, 非球面 Toric IOL 即使仅发生小量倾斜也会产生散光, 且产生的散光度数与普通非球面 IOL 相似<sup>[26-27]</sup>。本研究排除了后囊膜截开术后患者, 在纳入的研究对象中, 其术后远期 Toric IOL 的平均倾斜度为  $(3.46 \pm 1.67)^\circ$ , 平均偏心为  $(0.22 \pm 0.14)\text{ mm}$ , 这表明 AcrySof Toric IOL 在术后远期保持了良好的稳定性。

临床实践中, 常遇到全眼散光并非角膜总散光和 IOL 散光综合作用的结果。Goggin 等<sup>[18]</sup> 对剩余散光进行了系统描述与计算, 将其定义为全眼散光减去角膜前后表面散光及 IOL 散光后得到的“剩余”值。与之不同, 残余散光是指患者行 Toric IOL 植入术后的全眼散光, 可能受到仪器测量误差、计算误差、手术操作相关因素及 IOL 旋转等影响, 而剩余散光由全眼散光计算得出, 二者并不相同。本研究参考了《美国眼科杂志》的指导原则, 该指导原则指出在屈光度计算准确性方面, 由于屈光准确度随视力下降而降低, 建议排除  $BCVA \leq 0.3$  的受检眼<sup>[12]</sup>, 为确保剩余散光计算的准确性, 本研究也采纳该建议并作为纳入标准之一。Toric IOL 偏位或旋转角度大会影响患者的裸眼视力, 但可通过主觉验光提高视力, 因此以  $BCVA \leq 0.3$  为纳入标准并不会排除 Toric IOL 旋转角度大的患眼, 并且本研究术后随访过程中并未观察到 Toric IOL 旋转角度  $>15^\circ$  的患眼。Goggin 等<sup>[18]</sup> 计算得出的剩余散光为  $(0.71 \pm 0.43)\text{ D}$ , 与本研究结果相近, 但其描述的剩余散光轴向与本研究结果存在差异, 可能是由于本研究纳入患者的年龄较小, 角膜顺规散光比例更大。此外, Weikert 等<sup>[26]</sup> 采用光线追踪模型评估了非球面和 Toric IOL 倾斜引起的散光, 发现 IOL 的倾斜方向与所致散光方向一致, 且倾斜越大, 引起的散光也越大。本研究结果显示, 剩余散光方向与 Toric IOL 倾斜方向呈中等正相关, 然而大小之间无明显相关性, 与 Weikert 等<sup>[26]</sup> 研究结果不同之处可能与本研究纳入患者的 Toric IOL 倾斜度均较小有关。有研究者提出, 剩余散光可能并非完全是光学性质的散光, 而是一种涉及知觉的散光<sup>[28-29]</sup>。我们推测 Toric IOL 的倾斜可能在一定程度上影响此类知觉性散光的方向, 但对其大小无明显影响。

术后 IOL 倾斜与术前生理性晶状体倾斜相关<sup>[30-32]</sup>, 也可能与术后囊袋 IOL 复合体的愈合和演变有关, 在囊袋 IOL 复合体的愈合过程中, 撕囊居中与否、前囊口是否  $360^\circ$  覆盖 IOL 边缘、各方位悬韧带张力是否均匀、是否行后囊膜截开术等可能影响 IOL 位

置<sup>[33-34]</sup>, 提示手术医师在 Toric IOL 植入术中保证撕囊居中的重要性。

本研究也存在一定的局限性: (1) 为回顾性研究, 由于大部分患者缺乏长期随访结果, 或存在术后随访时拒绝散瞳检查等情况, 导致纳入患者存在非连续性, 且样本量偏小, 结果可能存在一定偏倚; (2) 因数据限制, 未能分析 Toric IOL 植入术后的早期情况, 包括早期的 IOL 轴向、轴向偏位、倾斜及偏心情况, 也未能对术后早期的角膜散光变化进行分析; (3) 术后随访 2~8 年时间跨度大, 结果可能存在一定偏倚; (4) 多年前临床可供选择的 Toric IOL 种类有限, 本研究仅评估了 1 种类型 Toric IOL 的远期疗效, 因此, 对于其他类型 Toric IOL 的远期疗效及稳定性, 仍需进一步研究; (5) 未对高度近视患者进行分组, 这可能会导致结果的偏倚, 在后续研究中需考虑这些因素, 以减少潜在偏差; (6) 本研究中排除了进行玻璃体视网膜手术的患者, 可能导致本研究结果的普遍适用性受限。然而, 玻璃体视网膜手术作为另一潜在的混杂因素, 可能引入额外变量, 进而影响对 IOL 稳定性的评估, 未来的研究可能需要对此类患者进行分析, 以评估 Toric IOL 在更广泛患者群体中的表现。

综上所述, 本研究结果显示, AcrySof Toric IOL 植入后远期能有效矫正角膜散光, 矫正效果与术后 1~3 个月基本一致, 并且保持着良好的稳定性; 术后远期角膜散光较术前改变量较小, 仅对远期矫正效果产生轻微影响; 术后剩余散光方向与 IOL 倾斜方向相关。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 楼锡聪: 数据整理、统计学分析、论文撰写; 常平骏: 研究指导、统计学分析; 王依依: 数据整理、统计学分析; 倪俊、李宏哲: 数据收集与整理; 赵云娥: 研究设计、论文修改及定稿

## 参考文献

- [1] Hoffmann PC, Hütz WW. Analysis of biometry and prevalence data for corneal astigmatism in 23, 239 eyes[J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(9): 1479-1485. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.02.025.
- [2] Yuan X, Song H, Peng G, et al. Prevalence of corneal astigmatism in patients before cataract surgery in Northern China[J]. J Ophthalmol, 2014, 2014: 536412. DOI: 10.1155/2014/536412.
- [3] Wasser LM, Tsessler M, Weill Y, et al. Ocular biometric characteristics measured by swept-source optical coherence tomography in individuals undergoing cataract surgery[J]. Am J Ophthalmol, 2022, 233: 38-47. DOI: 10.1016/j.ajo.2021.06.032.
- [4] 崔巍, 崔忆辛. 白内障合并散光眼多焦点与单焦点散光型 IOL 植入术后远期视觉质量比较[J]. 中华实验眼科杂志, 2021, 39(4): 313-318. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200611-00419. Cui W, Cui YX. Comparison of long-term visual quality between multifocal and monofocal Toric IOL implantation for cataract with astigmatism[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2021, 39(4): 313-318. DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200611-00419.
- [5] 蒋元丰, 田芳, 步绍翀, 等. 临床研究散光矫正型与非散光矫正型多焦点人工晶状体植入术后视觉质量比较[J]. 中华实验眼科杂

- 志, 2022, 40 (5) : 431 - 439. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115989-20200624-00449.
- Jiang YF, Tian F, Bu SC, et al. Comparison of postoperative visual quality between toric and non-toric multifocal intraocular lens implantation[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2022, 40(5) : 431 - 439. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115989-20200624-00449.
- [6] Núñez MX, Henriquez MA, Escaf LJ, et al. Consensus on the management of astigmatism in cataract surgery[J]. Clin Ophthalmol, 2019, 13 : 311-324. DOI: 10. 2147/OPHTH. S178277.
- [7] Al-Mohtaseb Z, Steigleman WA, Pantanelli SM, et al. Toric monofocal intraocular lenses for the correction of astigmatism during cataract surgery: a report by the American Academy of Ophthalmology[J]. Ophthalmology, 2024, 131(3) : 383 - 392. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2023. 10. 010.
- [8] Keshav V, Henderson BA. Astigmatism management with intraocular lens surgery [J/OL]. Ophthalmology, 2021, 128 (11) : e153-e163 [2025 - 07 - 20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32798525/>. DOI: 10. 1016/j. ophtha. 2020. 08. 011.
- [9] Miyake T, Kamiya K, Amano R, et al. Long-term clinical outcomes of toric intraocular lens implantation in cataract cases with preexisting astigmatism[J]. J Cataract Refract Surg, 2014, 40(10) : 1654 - 1660. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2014. 01. 044.
- [10] Gyöngyössi B, Jirak P, Schönherr U. Long-term rotational stability and visual outcomes of a single-piece hydrophilic acrylic toric IOL: a 1. 5-year follow-up[J]. Int J Ophthalmol, 2017, 10(4) : 573 - 578. DOI: 10. 18240/ijo. 2017. 04. 12.
- [11] Wang Y, Yang F, Lou X, et al. Efficacy of toric intraocular lens implantation in patients older than 80 years with cataracts and corneal astigmatism[J]. Ophthalmol Ther, 2023, 12(3) : 1583 - 1594. DOI: 10. 1007/s40123-023-00683-3.
- [12] Hoffer KJ, Aramberri J, Haigis W, et al. Protocols for studies of intraocular lens formula accuracy[J]. Am J Ophthalmol, 2015, 160(3) : 403 - 405. DOI: 10. 1016/j. ajo. 2015. 05. 029.
- [13] Naeser K, Hjortdal J. Multivariate analysis of refractive data: mathematics and statistics of spherocylinders[J]. J Cataract Refract Surg, 2001, 27 (1) : 129 - 142. DOI: 10. 1016/s0886-3350 (00) 00816-6.
- [14] Eydelman MB, Drum B, Holladay J, et al. Standardized analyses of correction of astigmatism by laser systems that reshape the cornea[J]. J Refract Surg, 2006, 22 (1) : 81 - 95. DOI: 10. 3928/1081-597X-20060101-16.
- [15] Kane JX, LaHood BR, Goggin M. Analysis of posterior corneal surgically induced astigmatism following cataract surgery with a 1. 8-mm temporal clear corneal incision[J]. J Refract Surg, 2023, 39 (6) : 381 - 386. DOI: 10. 3928/1081597X-20230426-01.
- [16] Reinstein DZ, Archer TJ, Srinivasan S, et al. Standard for reporting refractive outcomes of intraocular lens-based refractive surgery[J]. J Refract Surg, 2017, 33 (4) : 218 - 222. DOI: 10. 3928/1081597X-20170302-01.
- [17] Abulafia A, Koch DD, Holladay JT, et al. Pursuing perfection in intraocular lens calculations: IV. rethinking astigmatism analysis for intraocular lens-based surgery: suggested terminology, analysis, and standards for outcome reports [J]. J Cataract Refract Surg, 2018, 44(10) : 1169 - 1174. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2018. 07. 027.
- [18] Goggin M, LaHood BR, Roggia MF, et al. Leftover astigmatism: the missing link between measured and calculated posterior corneal astigmatism[J]. J Refract Surg, 2022, 38(9) : 559 - 564. DOI: 10. 3928/1081597X-20220623-02.
- [19] 胡东瑞, 李琦, 金赣英, 等. 两种 Toric IOL 的疗效和旋转稳定性测定及评价[J]. 中华实验眼科杂志, 2023, 41(12) : 1187 - 1194. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115989-20220301-00080.
- Hu DR, Li Q, Jin GY, et al. Determination and evaluation of efficacy and rotational stability of two toric intraocular lenses[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2023, 41(12) : 1187 - 1194. DOI: 10. 3760/cma. j. cn115989-20220301-00080.
- [20] 孙琦, 赵江月, 彭程, 等. Toric 人工晶状体植入术患者远期临床效果观察[J]. 中华实验眼科杂志, 2013, 31(4) : 372 - 376. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2013. 04. 014.
- Sun Q, Zhao JY, Peng C, et al. Long term clinical outcome of cataract patients with Toric intraocular lens implantation [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2013, 31 (4) : 372 - 376. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2013. 04. 014.
- [21] 宋旭东, 郝燕生, 鲍永珍, 等. 国产散光矫正型人工晶状体植入术后 5 年以上的安全性和有效性评价[J]. 中华眼科杂志, 2023, 59(2) : 118 - 128. DOI: 10. 3760/cma. j. cn112142-20220826-00417.
- Song XD, Hao YS, Bao YZ, et al. Safety and efficacy of toric intraocular lens implantation for more than 5 years [J]. Chin J Ophthalmol, 2023, 59 (2) : 118 - 128. DOI: 10. 3760/cma. j. cn112142-20220826-00417.
- [22] Koch DD, Ali SF, Weikert MP, et al. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism[J]. J Cataract Refract Surg, 2012, 38(12) : 2080 - 2087. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2012. 08. 036.
- [23] He S, Chen X, Wu X, et al. Early-stage clinical outcomes and rotational stability of TECNIS toric intraocular lens implantation in cataract cases with long axial length [J]. BMC Ophthalmol, 2020, 20(1) : 204. DOI: 10. 1186/s12886-020-01465-2.
- [24] Holladay JT, Piers PA, Koranyi G, et al. A new intraocular lens design to reduce spherical aberration of pseudophakic eyes [J]. J Refract Surg, 2002, 18 (6) : 683 - 691. DOI: 10. 3928/1081-597X-20021101-04.
- [25] Lawu T, Mukai K, Matsushima H, et al. Effects of decentration and tilt on the optical performance of 6 aspheric intraocular lens designs in a model eye[J]. J Cataract Refract Surg, 2019, 45(5) : 662 - 668. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2018. 10. 049.
- [26] Weikert MP, Golla A, Wang L. Astigmatism induced by intraocular lens tilt evaluated via ray tracing[J]. J Cataract Refract Surg, 2018, 44(6) : 745 - 749. DOI: 10. 1016/j. jcrs. 2018. 04. 035.
- [27] Zhang B, Ma JX, Liu DY, et al. Optical performance of toric intraocular lenses in the presence of decentration[J]. Int J Ophthalmol, 2015, 8(4) : 730 - 735. DOI: 10. 3980/j. issn. 2222-3959. 2015. 04. 16.
- [28] Alpíns N. Non-lens ORA and leftover astigmatism are the same entity [J]. J Refract Surg, 2022, 38(11) : 748. DOI: 10. 3928/1081597X-20221025-01.
- [29] Vinas M, Sawides L, de Gracia P, et al. Perceptual adaptation to the correction of natural astigmatism [J/OL]. PLoS One, 2012, 7 (9) : e46361 [2025 - 07 - 20]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23050021/>. DOI: 10. 1371/journal. pone. 0046361.
- [30] Li Z, Qu W, Huang J, et al. Effect of age and cycloplegia on the morphology of the human crystalline lens: swept-source OCT study[J]. J Cataract Refract Surg, 2022, 48(1) : 8 - 15. DOI: 10. 1097/j. jcrs. 0000000000000693.
- [31] Li Z, Zhu Z, Li X, et al. Age-related changes in crystalline lens tilt and decentration: swept-source OCT study[J]. J Cataract Refract Surg, 2021, 47 (10) : 1290 - 1295. DOI: 10. 1097/j. jcrs. 0000000000000632.
- [32] Gu X, Chen X, Yang G, et al. Determinants of intraocular lens tilt and decentration after cataract surgery[J]. Ann Transl Med, 2020, 8(15) : 921. DOI: 10. 21037/atm-20-1008.
- [33] Ding X, Wang Q, Xiang L, et al. Three-dimensional assessments of intraocular lens stability with high-speed swept-source optical coherence tomography[J]. J Refract Surg, 2020, 36(6) : 388 - 394. DOI: 10. 3928/1081597X-20200420-01.
- [34] Cinar E, Yuce B, Aslan F, et al. Influence of Nd: YAG laser capsulotomy on toric intraocular lens rotation and change in cylinder power[J]. J Cataract Refract Surg, 2024, 50(1) : 43 - 50. DOI: 10. 1097/j. jcrs. 0000000000001306.

(收稿日期:2025-09-10 修回日期:2025-12-08)

(本文编辑:施晓萌)