

散光矫正型人工晶状体偏心倾斜和旋转对视觉质量影响的研究进展

谢丽暄^{1,2}, 廖莹^{1,2}, 兰长骏^{1,2}

引用: 谢丽暄, 廖莹, 兰长骏. 散光矫正型人工晶状体偏心倾斜和旋转对视觉质量影响的研究进展. 国际眼科杂志 2022; 22(11):1809-1812

基金项目: 四川省卫计委重点课题项目 (No.18ZD022); 四川省医学科研课题 (No. S21011); 南充市校科技战略合作专项 (No. 22SXFWD0003)

作者单位:¹(637000) 中国四川省南充市, 川北医学院附属医院眼科;²(637000) 中国四川省南充市, 川北医学院眼视光医学院
作者简介: 谢丽暄, 在读硕士研究生, 研究方向: 屈光性白内障与视觉质量。

通讯作者: 兰长骏, 硕士, 教授, 主任医师, 硕士研究生导师, 研究方向: 屈光性白内障手术与视觉质量. eyelanchangjun@163.com

收稿日期: 2022-01-23 修回日期: 2022-09-28

摘要

随着屈光性白内障手术的发展, 散光矫正型人工晶状体 (Toric IOL) 作为一种功能性 IOL 已在临床上广泛应用, 植入后能有效地矫正白内障患者术前的角膜散光, 减少术后残余散光, 获得更好的裸眼视力和视觉质量。轻微的 Toric IOL 偏心、倾斜和旋转不会引起患者明显的主观不适, 但一定程度的偏心、倾斜和旋转反而增加散光和高阶像差, 导致视力和视觉质量下降。本文根据相关国内外研究结果, 结合基础和临床两个层面分析了 Toric IOL 的偏心、倾斜和旋转对视觉质量的影响, 并对目前存在的问题和展望进行了讨论。

关键词: 散光; 人工晶状体; 偏心; 倾斜; 旋转; 视觉质量

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.11.09

Research progress on effect of Toric intraocular lens decentration, tilt and rotation on visual quality

Li-Xuan Xie^{1,2}, Xuan Liao^{1,2}, Chang-Jun Lan^{1,2}

Foundation items: Key Project of Sichuan Health and Family Planning Commission (No.18ZD022); Medical Research Project of Sichuan Province (No.S21011); Project of the Strategic Cooperation of City and College (No.22SXFWD0003)

¹Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China;

²Medical School of Ophthalmology & Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China

Correspondence to: Chang - Jun Lan. Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China; Medical School of Ophthalmology & Optometry, North Sichuan Medical

College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China. eyelanchangjun@163.com

Received: 2022-01-23 Accepted: 2022-09-28

Abstract

• With the development of refractive cataract surgery, Toric intraocular lens (Toric IOL) has been widely used as a functional IOL in the clinical practice. The implantation of Toric IOL in cataract patients can effectively correct preoperative corneal astigmatism and reduce postoperative residual astigmatism, thus obtaining better uncorrected visual acuity and visual quality. Mild decentration, tilt and rotation of Toric IOL do not cause significant subjective discomfort in patients. However, a certain degree of decentration, tilt and rotation of Toric IOL can increase astigmatism and higher - order aberration, resulting in decreased visual acuity and visual quality. Based on relevant results at home and abroad, this article reviewed the influence of the decentration, tilt and rotation of Toric IOL on visual quality at both basic and clinical levels and discussed the existing problems and prospects.

• KEYWORDS: astigmatism; intraocular lens; decentration; tilt; rotation; visual quality

Citation: Xie LX, Liao X, Lan CJ. Research progress on effect of Toric intraocular lens decentration, tilt and rotation on visual quality. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(11):1809-1812

0 引言

白内障是全球范围内最常见的致盲性眼病, 白内障患者常合并角膜散光, 根据流行病学调查, 约 25.4% 的白内障患者术前角膜散光 $\geq 1.50D$ ^[1], 散光是影响白内障患者术后视力恢复和视觉质量提高的主要因素之一。白内障患者术前角膜散光主要采用角膜切口和散光矫正型人工晶状体 (Toric intraocular lens, Toric IOL) 的方法进行矫正, 研究表明 Toric IOL 比角膜切口的方法能更有效地矫正中低度散光, 获得更好的术后视力^[2]。近年来 IOL 材料和设计不断更新为患者提供了更优化的视觉质量, 但要更关注 IOL 在眼内位置对其光学性能的影响^[3-4]。理想的 IOL 位置是居于囊袋内且 IOL 的中心与视轴重叠, 但由于患者眼部解剖结构、IOL 特性和手术操作等因素, IOL 可能发生偏心、倾斜和旋转, IOL 偏心 and 倾斜可能导致近视漂移、斜向散光、高阶像差如彗差增加、最佳矫正视力和视觉质量下降等^[4-5]。对于设计结构更加复杂的 Toric IOL 发生偏心、倾斜和旋转可能导致难以预测的术后散光和视觉质量的下降^[6-7], 故了解 Toric IOL 的偏心、倾斜和旋转对

视觉质量的影响机制和程度,对提高精准屈光性白内障手术有重要的临床意义。

1 Toric IOL

Toric IOL 设计原理为在球镜基础上加上柱镜,用于降低 IOL 眼残留散光度数,从而提高患者术后裸眼视力和视觉质量,适用于 $\geq 0.75D$ 的规则性角膜散光,并有远视力脱镜意愿的白内障患者^[8]。非球面设计的 Toric IOL 可以抵消角膜正球差,Toric IOL 矫正散光范围广、手术预测性好、术后效果好且稳定,可以显著降低白内障患者术后残留散光,提高患者裸眼远视力、脱镜率和术后满意度^[2]。根据是否具有老视矫正功能,将 Toric IOL 进一步分为单焦点、双焦点、三焦点、景深延长型(extended depth of focus, EDOF)的 Toric IOL^[8]。对于 IOL 植入术后散光较低的患者,完全矫正散光比等效球镜矫正散光能获得更好的阅读能力和高低对比度视力,因此白内障术中矫正术前低度角膜散光是获得术后最佳视力的有效方法^[9]。对于角膜散光 $\geq 1.50D$ 的白内障患者,散光矫正更为重要,普遍推荐使用 Toric IOL。Yang 等^[10]对 26 例植入 Acrysof IQ SN6AT Toric IOL(Alcon, USA)术后的患者进行观察,手术前后患者角膜散光无明显变化,术后全眼散光明显下降,非球面 Toric IOL 能够补偿一部分角膜球差,在矫正散光的基础上进一步降低球差,提高视觉质量。毕潜龙等^[11]对植入非球面 Acrysof IQ SN6AT Toric IOL 和非球面 Acrysof IQ SN60WF IOL(Alcon, USA)术后的患者进行比较,发现 Toric IOL 的旋转稳定性优于非球面 IOL,且植入非球面 Acrysof IQ Toric IOL 术后低阶像差更小。对术后远中近距离视力有较高要求的患者可植入多焦点 IOL,多焦点 Toric IOL 结合了 Toric IOL 和多焦点 IOL 的优点,去除角膜散光对多焦点 IOL 的干扰,为患者提供更优化的视觉质量^[12]。Piovella 等^[13]对植入衍射折射型三焦点 AT LISA tri toric 939MP IOL(Carl Zeiss Meditec, Germany)的患者进行术后满意度调查,显示能为伴有角膜散光的患者提供较好的远、中、近视力,术后满意度达 98.1%。林婷婷等^[14]研究发现,双眼分别植入+3.00D 和+2.50D 的多焦点 Toric IOL(AcrySof IQ ReSTOR toric-intraocular lens, ART)能获得良好的远、中、近全程视力,与双眼植入+3.00D 的 ART IOL 相比,能明显提高中视力,扩大视力范围,在暗环境状态时中频(6、12c/d)下的对比敏感度提高。Kwitko 等^[15]在 Toric IOL 矫正不规则散光方面也进行了探索,也有较好的安全性,能降低术后残余散光,显著改善裸眼视力。Kamiya 等^[16]认为 Toric IOL 能有效降低伴有轻度非进展性圆锥角膜的白内障患者术后残余散光,且角膜高阶像差无明显变化。传统的单焦点 IOL 在眼内发生轻微偏心或倾斜,虽在视力上无明显差异,但也会影响 IOL 的光学性能,Toric IOL 的轴位精准性至关重要,否则 IOL 的光学性能就会降低^[17],实际上受各种因素影响,植入的 IOL 可能有不同程度的偏心、倾斜和旋转,与球面和非球面 IOL 比较,Toric IOL 在眼内位置的改变对成像质量的影响更为复杂。

2 Toric IOL 偏心对视觉质量的影响

偏心是指 IOL 光学中心相对于视轴出现位移。研究表明,偏心是 IOL 植入后最常见的并发症之一,任何设计的 IOL 在临床上都约有 0.20~0.30mm 的偏心,眼轴过长、撕囊口过大与 IOL 的偏心密切相关^[6, 18]。近期一项研究也表明,术后 IOL 的偏心与眼轴、术前晶状体的偏心有相

关性,眼轴越长,术前晶状体偏心越大,术后 IOL 的偏心越大^[19]。根据光学模拟实验的结果,考虑角膜像差、瞳孔直径大小、对比敏感度和其他影响视觉表现的各因素,偏心 0.50mm 可能会影响 IOL 的光学性能,引起显著的视觉症状^[20]。偏心和倾斜会导致像差增加,引起散光、离焦、彗差的改变,从而降低视力,对于 Toric IOL 和多焦 IOL,偏心和倾斜对光学质量的影响更为显著^[21]。Kim 等^[22]比较了四种不同设计的非球面 Toric IOL 的光学性能,分别为 Precizon(Ophtec, Netherlands)、AT LISA tri toric 939MP(Carl Zeiss Meditec, Germany)、Acrysof IQ SN6AT4 Toric IOL(Alcon, USA)、Tecnis ZCT225(Johnson & Johnson, USA),前两者为零球差 Toric IOL,后两者为负球差 Toric IOL,发现无论是矫正角膜球差,四种 Toric IOL 的球差会随着瞳孔直径的增大而增大,图像对比度随着瞳孔直径和 IOL 偏心程度的增加而降低,当偏心为 1.00mm 时,四种非球面 Toric IOL 的对比度分别降低 5.1%、3.1%、12.2% 和 15.8%。Pérez-Vives 等^[23]采用体外波前像差仪 Nimo TR0805(Lambda X, Belgium)分别对 +15.00、+20.00、+23.50D 的 Acrysof IQ SN6AT3、Acrysof IQ SN6AT4、Acrysof IQ SN6AT5(Alcon, USA)进行光学性能评价,结果显示 Toric IOL 居中时光学质量良好,偏心可能会引起斜向散光,不同度数的 Toric IOL 在垂直、水平和 45°方位的偏心都会导致彗差的增加,彗差随着偏心量的增大而增大,且瞳孔直径越大增量越大,偏心方向对彗差的影响不同,在水平方向偏心时,垂直彗差变化不大,在垂直方向偏心时,水平彗差变化不大。柴茜楠等^[24]对 Acrysof IQ SN6AT3、Acrysof IQ SN6AT4、Acrysof IQ SN6AT5 三种 Toric IOL(Alcon, USA)进行体外软件模拟实验,发现 Toric IOL 偏心时各空间频率调制传递函数(modulation transfer function, MTF)下降,在瞳孔直径相同情况下,随着偏心量的增加,MTF 下降也更明显,偏心主要导致彗差增加,散光和三叶草像差增加较少,Toric IOL 在不同方向上的偏心对成像质量的影响基本相同,偏心时 Toric IOL 仍能矫正散光。Oltrup 等^[25]比较了球面和非球面 IOL 发现随着偏心程度的增加,在 3.0mm 和 4.5mm 的瞳孔直径下,随着偏心程度的增加,IOL 的光学质量损失增加,且非球面 IOL 光学质量的损失都大于球面 IOL。张斌等^[26]发现为了补偿角膜球差,优化设计的非球面 Toric IOL,其在自身球差增大的情况下,抗偏心性能降低。随着偏心程度的增加,IOL 的光学质量下降,但是偏心方向对成像质量的影响是否一致的相关研究较少,对于不同设计的 IOL 其偏心方向的不同可能对成像质量的影响并不相同,目前尚无统一论。

3 Toric IOL 倾斜对视觉质量的影响

倾斜是指 IOL 平面偏离与视轴垂直的平面。Kimura 等^[4]研究结果显示,IOL 均向颞下倾斜,且相对瞳孔中心向颞下方偏移,IOL 偏心和倾斜与术前晶状体的偏心和倾斜具有明显相关性。Ashena 等^[27]认为小于 5°的颞下方向倾斜在术前晶状体和术后 IOL 中较为常见,对于球面和非球面 IOL 而言,彗差与 IOL 倾斜有关,并随瞳孔直径的增大而增加,球差与倾斜之间没有相关性。Miháltz 等^[28]比较植入 AT TORBI 709M(Carl Zeiss Meditec, Germany)和 Tecnis Toric IOL(Johnson & Johnson, USA)两种 Toric IOL 术后,发现 AT TORBI 709M 组的垂直倾斜度大于 Tecnis 组,两组的水平倾斜度差异无统计学意义,Tecnis 组的垂

直彗差低于 AT TORBI 709M 组。Weikert 等^[29]认为非球面 IOL 水平倾斜会诱导出逆规散光,且随着倾斜度和 IOL 散光度数的增大,诱发的散光量越大,Toric IOL 倾斜引起的散光量取决于 IOL 的散光度数和倾斜度,当 IOL 在垂直方向倾斜时,随着倾斜度和散光度数的增加,诱导出的逆规散光增加,导致过矫;当 IOL 在水平方向倾斜时,随着倾斜度和散光度数的增加,顺规散光减少,导致欠矫。不同设计的 IOL 产生的倾斜程度亦不相同,Lawu 等^[20]研究表明非球面设计的 IOL 相对于球面设计的 IOL 在同等倾斜的情况下光学质量损失的更多。Toric IOL 正倾斜和负倾斜时,光学质量可能会有不同的改变,Oltrup 等^[25]比较了球面和非球面 IOL 发现,随着正倾斜角和负倾斜角的增大,两种 IOL 的光学质量有不同的变化且总体呈下降趋势,非球面 IOL 正倾斜时的光学质量损失比负倾斜时小。相同的倾斜度不同的倾斜方向可能对 IOL 的光学质量造成不同的影响,但是目前临床上对正负倾斜角的定义并无统一标准,这可能导致研究得出不同的结论。

4 Toric IOL 旋转对视觉质量的影响

Toric IOL 术中植入散光轴向的精度和术后 IOL 的旋转稳定性是 Toric IOL 植入成功的关键因素。Lee 等^[30]对 1272 例植入 Toric IOL 的白内障患者进行术后 IOL 旋转的评估,术后 1d Acrysof Toric IOL (Alcon, USA) 旋转 $\leq 5^\circ$ 占 91.9%,而 Tecnis Toric IOL (Johnson & Johnson, USA) 旋转 $\leq 5^\circ$ 占 81.8%;在旋转 $\leq 10^\circ$ 组和 $\leq 15^\circ$ 组中同样存在差异,结论为 Acrysof Toric IOL 相较于 Tecnis Toric IOL 有更好的术后旋转稳定性。Kramer 等^[31]对 3238 例残余散光 $\geq 0.50D$ 的 IOL 眼进行在线 Toric IOL 计算器计算,发现 AcrySof IQ Toric IOL (Alcon, USA)、Tecnis Toric IOL (Johnson & Johnson, USA) 和 enVista Toric IOL (Bausch & Lomb, USA) 的旋转发生率分别为 72.7%、83.4% 和 83%,三种 Toric IOL 均倾向于逆时针方向,仅 Tecnis Toric IOL 的旋转受散光轴向的影响,对于最初放置在垂直位置的 IOL 发生旋转的概率小于水平和斜轴放置的 IOL,当 IOL 发生旋转时,放置在斜轴上的 Toric IOL 旋转幅度明显更大,对于最初放置在水平位置的 Toric IOL 更倾向于向逆时针方向旋转。Toric IOL 在囊袋内的旋转稳定性取决于光学部直径、襻型设计和材质,目前关于各类襻型设计 IOL 的旋转稳定性尚无一致结论^[32]。不同设计的 IOL 术后旋转稳定性以及对成像质量的影响存在差异,Osawa 等^[33]认为改进型的 HOYA XY-1 Toric IOL (HOYA, Japan) 相比于 HOYA 355 Toric IOL (HOYA, Japan),其有更大的直径、更短的展开时间、更优化的表面设计,旋转稳定性优于 AcrySof Toric IOL、Tecnis Toric IOL、HOYA 355 Toric IOL。Jung 等^[34]研究发现,植入零球差设计的 Precizon Toric IOL (Ophtec, Netherlands) 相比于负球差设计的 Tecnis Toric IOL (Johnson & Johnson, USA) 产生更少的旋转,术后 3mo 的全眼像差分析显示 Precizon 组患者的全眼球差高于 Tecnis 组。另有一项研究指出,长眼轴是 Toric IOL 旋转的危险因素,术后前囊膜混浊越重 Toric IOL 的旋转程度越小,因此减少前囊抛光可能改善 Toric IOL 的旋转稳定性^[35]。近年的 Toric IOL 缝合囊膜张力环技术能够使 Toric IOL 有良好的旋转稳定性和散光矫正能力^[36]。多焦点 Toric IOL 的旋转对视力的影响大于单焦 Toric IOL^[37],Garzón 等^[38]研究发现单焦点 Toric IOL 和多焦点 Toric IOL 植入术后裸眼远视力与旋转之间存在相关

性,在术后 1mo 时,多焦点 Toric IOL 旋转对远视力的影响大于单焦点 Toric IOL。Toric IOL 轴位旋转偏位导致 IOL 散光,角膜散光和 IOL 散光形成两个交叉轴向的柱镜度,从而形成新的散光度和散光轴向,与术前目标屈光度形成误差。Toric IOL 每旋转 1° 散光矫正效果将减少 3.3%,当旋转达到 30° 时,散光矫正效果完全丧失,旋转超过 30° 时反而引入更大的散光,所以 Toric IOL 的旋转稳定性极为重要^[6]。Felipe 等^[39]研究表明 Toric IOL 的 MTF 值随着 IOL 旋转度数的增加而减小,且旋转度数从 $0^\circ \sim 5^\circ$ 时,MTF 值骤降,超过 5° 时,MTF 值下降速度减慢或趋于稳定,旋转度数相同时,MTF 值随着瞳孔增大而减小。Ruiz-Alcocer 等^[7]在一项研究中报道,对于三焦点 Toric IOL 居中时,散光度对其光学质量没有影响,当 IOL 旋转时,成像质量与 IOL 散光度数存在很强的正相关关系,当 IOL 旋转 5° 及以上时,IOL 光学成像质量下降,对于低度散光 ($\leq 1.50D$) 从 $5^\circ \sim 10^\circ$ 随着旋转度增加,IOL 成像质量下降,高度散光 ($\geq 3.00D$) IOL 旋转 5° 就导致 IOL 在所有距离上严重损失光学质量。Ferrer-Blasco 等^[40]利用 NIMO TR1504 (Lambda-X, Belgium) 光学设备体外测试不同散光度的 Toric IOL,发现 IOL 光学质量与散光度数之间无明显相关性。张斌等^[26]研究表明,Toric IOL 旋转主要引起高空间频率 MTF 值降低、散光度的增大和少量球镜度数的增加且散光度大的 Toric IOL 旋转同样的角度,残留的散光度更大,旋转没有引起彗差、三叶草等非对称高阶像差的增加。

5 小结

Toric IOL 已广泛应用于临床,对于矫正患者角膜散光有着良好的疗效,Toric IOL 不同程度的偏心、倾斜和旋转均会造成患者视觉质量的下降。在提倡精准医疗的今天,鉴于目前功能性 IOL 的运用现状,对 IOL 在眼内位置的重视,特别是对 IOL 偏心和倾斜的关注,如何合理地进行个体化选择 IOL 是眼科医师需要解决的问题。患者的视觉质量易受个体差异、光学介质、主观感受等因素影响,故临床上,需要根据患者自身条件选择合适的 IOL 种类,注重白内障患者术前测量、IOL 计算、术前轴位标记、手术方式的选择等,最大程度地减少患者术后 Toric IOL 的偏心、倾斜和旋转,提高患者术后视力,提升视觉质量。

参考文献

- Anderson DF, Dhariwal M, Bouchet C, et al. Global prevalence and economic and humanistic burden of astigmatism in cataract patients: a systematic literature review. *Clin Ophthalmol* 2018;12:439-452
- 谭青青,廖莹,兰长骏,等.Toric 人工晶状体与角膜切口矫正白内障低中度角膜散光比较的 Meta 分析. *中华眼科杂志* 2019;55(7):522-530
- 兰长骏,廖莹.重视白内障患者视觉质量的评估. *中华实验眼科杂志* 2018;36(5):326-329
- Kimura S, Morizane Y, Shiode Y, et al. Assessment of tilt and decentration of crystalline lens and intraocular lens relative to the corneal topographic axis using anterior segment optical coherence tomography. *PLoS One* 2017;12(9):e0184066
- 兰长骏,唐玉玲,廖莹.人工晶状体的偏心和倾斜. *中华眼科杂志* 2021;57(7):552-556
- Ale JB. Intraocular lens tilt and decentration: a concern for contemporary IOL designs. *Nepal J Ophthalmol* 2011;3(1):68-77
- Ruiz-Alcocer J, Lorente-Velázquez A, de Gracia P, et al. Optical tolerance to rotation of trifocal toric intraocular lenses as a function of the cylinder power. *Eur J Ophthalmol* 2021;31(3):1007-1013

- 8 中华医学会眼科学分会白内障及人工晶状体学组, 姚克. 中国人工晶状体分类专家共识(2021年). 中华眼科杂志 2021;57(7):495-501
- 9 Lehmann RP, Houtman DM. Visual performance in cataract patients with low levels of postoperative astigmatism: full correction versus spherical equivalent correction. *Clin Ophthalmol* 2012;6:333-338
- 10 Yang JJ, Qin YZ, Qin L, et al. Comparison of the clinical efficacy of AcrySof® IQ and TECNIS® toric intraocular lenses: a real-world study. *Exp Ther Med* 2020;20(5):25
- 11 毕潜龙, 祁锦艳, 张轶峰, 等. 非球面散光型和非球面型人工晶状体植入术后效果比较. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2020;22(2):98-103
- 12 Kaur M, Shaikh F, Falera R, et al. Optimizing outcomes with toric intraocular lenses. *Indian J Ophthalmol* 2017;65(12):1301-1313
- 13 Piovella M, Colonval S, Kapp A, et al. Patient outcomes following implantation with a trifocal toric IOL: twelve-month prospective multicentre study. *Eye* 2019;33(1):144-153
- 14 林婷婷, 张晓旭, 肖雪冰, 等. 双眼联合植入不同附加度数多焦点散光矫正型人工晶状体(ART)患者术后视觉质量及满意度. 眼科新进展 2020;40(4):344-348
- 15 Kwitko S, Marafon SB, Stolz AP. Toric intraocular lens in asymmetric astigmatism. *Int Ophthalmol* 2020;40(5):1291-1298
- 16 Kamiya K, Shimizu K, Miyake T. Changes in astigmatism and corneal higher-order aberrations after phacoemulsification with toric intraocular lens implantation formild keratoconus with cataract. *Jpn J Ophthalmol* 2016;60(4):302-308
- 17 Sokolova N, Schoeffmann K, Taschwer M, et al. Automatic detection of pupil reactions in cataract surgery videos. *PLoS One* 2021;16(10):e0258390
- 18 Chen XY, Gu XX, Wang W, et al. Characteristics and factors associated with intraocular lens tilt and decentration after cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2020;46(8):1126-1131
- 19 Gu XX, Chen XY, Yang GY, et al. Determinants of intraocular lens tilt and decentration after cataract surgery. *Ann Transl Med* 2020;8(15):921
- 20 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 Cataract Refract Surg* 2019;45(5):662-668
- 21 Taketani F, Matuura T, Yukawa E, et al. Influence of intraocular lens tilt and decentration on wavefront aberrations. *J Cataract Refract Surg* 2004;30(10):2158-2162
- 22 Kim MJ, Yoo YS, Joo CK, et al. Evaluation of optical performance of 4 aspheric toric intraocular lenses using an optical bench system: influence of pupil size, decentration, and rotation. *J Cataract Refract Surg* 2015;41(10):2274-2282
- 23 Pérez-Vives C, Ferrer-Blasco T, Madrid-Costa D, et al. Optical quality of aspheric toric intraocular lenses at different degrees of decentration. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2014;52(6):969-975
- 24 柴茜楠, 张斌, 耿玉欣, 等. Hwey-Lan Liou 模型眼复曲面人工晶状体偏心及旋转对成像质量的影响. 中华实验眼科杂志 2017;35(11):1003-1008
- 25 Oltrup T, Bende T, Al-Mohamedi H, et al. Comparison of spherical and aspherical intraocular lenses with decentration and tilt error using a physical model of human contrast vision and an image quality metric. *Z Med Phys* 2021;31(3):316-326
- 26 张斌, 刘丹岩, 柴茜楠, 等. 偏心及旋转对非球面 Toric 人工晶状体成像质量影响的实验研究. 中华眼视光学与视觉科学杂志 2018;20(1):19-25
- 27 Ashena Z, Maqsood S, Ahmed SN, et al. Effect of intraocular lens tilt and decentration on visual acuity, Dysphotopsia and wavefront aberrations. *Vision (Basel)* 2020;4(3):41
- 28 Mihdltz K, Lasta M, Burgmüller M, et al. Comparison of two toric IOLs with different haptic design: optical quality after 1 year. *J Ophthalmol* 2018;2018:4064369
- 29 Weikert MP, Golla A, Wang L. Astigmatism induced by intraocular lens tilt evaluated via ray tracing. *J Cataract Refract Surg* 2018;44(6):745-749
- 30 Lee BS, Chang DF. Comparison of the rotational stability of two toric intraocular lenses in 1273 consecutive eyes. *Ophthalmology* 2018;125(9):1325-1331
- 31 Kramer BA, Hardten DR, Berdahl JP. Rotation characteristics of three toric monofocal intraocular lenses. *Clin Ophthalmol* 2020;14:4379-4384
- 32 Patel CK, Ormonde S, Rosen PH, et al. Postoperative intraocular lens rotation. *Ophthalmology* 1999;106(11):2190-2196
- 33 Osawa R, Oshika T, Sano M, et al. Rotational stability of modified toric intraocular lens. *PLoS One* 2021;16(3):e0247844
- 34 Jung NY, Lim DH, Hwang SS, et al. Comparison of clinical outcomes of toric intraocular lens, Precizon vs Tecnis: a single center randomized controlled trial. *BMC Ophthalmol* 2018;18(1):292
- 35 Zhu XJ, He WW, Zhang KK, et al. Factors influencing 1-year rotational stability of AcrySof Toric intraocular lenses. *Br J Ophthalmol* 2016;100(2):263-268
- 36 Ucar F, Ozcimen M. Can toric IOL rotation be minimized? Toric IOL-Capsular Tension Ring suturing technique and its clinical outcomes. *Semin Ophthalmol* 2022;37(2):158-163
- 37 Vandekerckhove K. Rotational stability of monofocal and trifocal intraocular toric lenses with identical design and material but different surface treatment. *J Refract Surg* 2018;34(2):84-91
- 38 Garzón N, Poyales F, de Zárate BO, et al. Evaluation of rotation and visual outcomes after implantation of monofocal and multifocal toric intraocular lenses. *J Refract Surg* 2015;31(2):90-97
- 39 Felipe A, Artigas JM, Díez-Ajenjo A, et al. Modulation transfer function of a toric intraocular lens: evaluation of the changes produced by rotation and tilt. *J Refract Surg* 2012;28(5):335-340
- 40 Ferrer-Blasco T, Domínguez-Vicent A, García-Lázaro S, et al. In vitro optical quality of monofocal aspheric toric intraocular lenses: effect of cylindrical power. *Int Ophthalmol* 2018;38(3):933-941