

# 散光人工晶状体稳定性的影响因素研究进展

程晓娟<sup>1,2</sup>,李晓蝶<sup>1,2</sup>,孔 警<sup>1,2</sup>,许立帅<sup>1,2</sup>

引用:程晓娟,李晓蝶,孔警,等.散光人工晶状体稳定性的影响因素研究进展.国际眼科杂志,2026,26(2):259-263.

基金项目:南充市市校战略合作专项(No.22SXQT0168);川北医学院博士启动基金项目(No.CBY21-QD28)

作者单位:<sup>1</sup>(637000)中国四川省南充市,川北医学院眼视光医学院;<sup>2</sup>(637000)中国四川省南充市,川北医学院附属医院眼科

作者简介:程晓娟,女,在读硕士研究生,研究方向:眼底病。

通讯作者:许立帅,博士,副主任医师,副教授,硕士研究生导师,研究方向:眼底病. oculistxls@hotmail.com

收稿日期:2025-07-22 修回日期:2025-12-22

## 摘要

散光是屈光不正的常见类型,由角膜或晶状体非对称曲率引起。在屈光性白内障手术时代,角膜散光对白内障患者术后的视觉质量影响很大。散光人工晶状体(Toric IOL)作为矫正白内障合并散光的重要手段,可矫正大范围的散光度数,显著提高患者术后的裸眼视力。但其术后稳定性可直接影响患者术后的视觉质量。文章就Toric IOL稳定性的影响因素及改进策略展开综述,旨在为临幊上Toric IOL的选择和未来IOL的研究方向提供参考。

关键词:白内障;散光;人工晶状体;稳定性

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2026.2.12

## Research progress on influencing factors of toric intraocular lens stability

Cheng Xiaojuan<sup>1,2</sup>, Li Xiaodie<sup>1,2</sup>, Kong Jing<sup>1,2</sup>, Xu Lishuai<sup>1,2</sup>

Foundation items: Nanchong City Municipal School Strategic Science and Technology Cooperation Special Project (No. 22SXQT0168); Doctoral Start-up Fund of North Sichuan Medical College (No.CBY21-QD28)

<sup>1</sup>Medical School of Ophthalmology and Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China;

<sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China

Correspondence to: Xu Lishuai. Medical School of Ophthalmology and Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China; Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China. oculistxls@hotmail.com

Received:2025-07-22 Accepted:2025-12-22

## Abstract

Astigmatism, a common form of refractive error, results from an asymmetric curvature of the anterior corneal surface or the lens. In the context of refractive

cataract surgery, corneal astigmatism has a substantial impact on postoperative visual outcomes. Toric intraocular lenses (Toric IOL) have become a critical option for managing cataracts accompanied by astigmatism, effectively correcting a broad spectrum of astigmatic errors and significantly improving postoperative uncorrected visual acuity. However, the rotational stability of Toric IOL following implantation is a key determinant of final visual quality. This review systematically examines factors influencing the postoperative stability of Toric IOL and discusses potential strategies for enhancement, with the aim of providing evidence-based guidance for clinical Toric IOL selection and future developments in IOL design.

• KEYWORDS: cataract; astigmatism; intraocular lens; stability

Citation: Cheng XJ, Li XD, Kong J, et al. Research progress on influencing factors of toric intraocular lens stability. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2026, 26(2):259-263.

## 0 引言

白内障是国内外主要的致盲性眼病之一,数据显示,60岁以上的白内障患病率超80%,角膜散光超过1.00 D的患者在白内障患者中约为30%。传统观念中,白内障手术以“复明”为目标,但术后残留散光会导致裸眼视力较差、视物变形、眩光等视觉质量问题。散光人工晶状体(toric intraocular lens, Toric IOL)的问世与应用,为合并角膜散光的白内障患者提供了一种安全有效的矫正方案,使其在术后能够同时解决白内障和散光两大视觉问题,显著改善了患者的术后生活质量。然而,术后Toric IOL的旋转、偏心是影响其矫正效果的关键因素。研究表明,Toric IOL偏差1°,散光矫正的损失约为3.3%;偏差10°会导致约33%的散光矫正损失,而偏差30°会导致散光矫正的完全损失<sup>[1-2]</sup>。同时,Toric IOL的偏心和倾斜,可能对IOL眼的光学性能产生负面影响,容易导致非对称性像差,从而降低视觉质量。故保持Toric IOL植入眼内的稳定性尤为重要。目前认为,Toric IOL的术后稳定性受到多种复杂因素的共同影响,这些因素可大致归纳为:Toric IOL本身的材料和设计因素,患者自身的生物学参数因素,手术相关因素,眼部疾病因素,环境与行为因素等。本文旨在通过对现有文献进行系统梳理,全面分析各种影响因素的作用机制与相互关系,并简单说明目前临幊上有效的干预措施,以期为提高Toric IOL的临床疗效提供理论依据和实践参考。

### 1 Toric IOL自身特点的影响

1.1 材料因素 镜片表面的附着力被认为可以提高稳定性<sup>[3]</sup>。目前主流的Toric IOL材料包括两种:(1)疏水性丙烯酸酯,由于其相对较高的刚性,展开速度比亲水性IOL

更慢,这可能与术中或术后 IOL 旋转有关<sup>[4-5]</sup>。但疏水性 IOL 由于纤维连接蛋白表面吸附量更大,也表现出对囊袋更强的黏附性<sup>[6]</sup>,这种生物黏附性可能使术中难以调整 IOL 位置,但也提供了 IOL 更好的旋转稳定性,抵抗 IOL 倾斜或移位<sup>[7-8]</sup>。(2)亲水性丙烯酸酯,材料更柔软,展开速度比疏水性 IOL 更快,但其亲水性可能导致囊袋生物膜形成延迟,初期稳定性较弱。在一项研究中表明,亲水性丙烯酸酯的 IOL 的术后错位率和手术重新定位率与疏水性丙烯酸酯的 IOL 相当<sup>[9]</sup>;但在另外两项研究提出,与用亲水性丙烯酸酯制成的 Toric IOL 相比,疏水性丙烯酸酯制成的 Toric IOL 能表现出更好的术后稳定性<sup>[10-11]</sup>。从材料本质上来看,疏水性丙烯酸酯因其固有的生物黏附性,在初始旋转稳定性方面具有理论优势。然而从临床疗效来看,目前成熟的手术技术以及优良的晶状体设计,可以将晶状体植入眼内后的错位率控制在较低水平,从而降低了术后的重新定位率。综上所述,亲水性和疏水性对于散光晶状体的稳定性影响方面有多重因素,但目前在散光晶状体的选择上,主流共识和多数研究还是支持疏水性丙烯酸酯晶状体,以确保最佳的术后稳定性和视觉质量。

### 1.2 形状与襻结构

襻设计是环曲面 IOL 稳定性的核心要素,研究指出,关于比较板式襻和 C 型襻的 Toric IOL 的稳定性研究中,发现在术后 3 mo 内,C 型襻组的旋转度为  $3.85^{\circ} \pm 2.92^{\circ}$ ,板式襻组的旋转度为  $2.33^{\circ} \pm 2.31^{\circ}$ ,两组散光晶状体稳定性方面存在显著差异( $P < 0.05$ )<sup>[10]</sup>。板式襻 Toric IOL 比 C 型襻 Toric IOL 表现出更优异的旋转稳定性和散光矫正效果,这表明板式襻 Toric IOL 可能是白内障合并角膜散光患者更好的选择<sup>[12]</sup>。目前临床上的多焦点散光晶状体和景深延长型散光晶状体多采用板式襻设计,但因其稳定的特性也使植入眼内后调整难度加大,这就使术者在晶状体植入时对轴向标记的准确性要求更高。晶状体材料和设计的持续创新将进一步提高 Toric IOL 的稳定性,并最大限度地减少对患者术后裸眼视力的影响。

## 2 患者生物学参数的影响

### 2.1 眼轴长度

眼轴长度(axial length, AL)对Toric IOL 的稳定性影响说法不一。在较早的研究中指出,长 AL 是 Toric IOL 旋转的危险因素<sup>[13]</sup>,长 AL 导致了多例白内障手术后 IOL 的早期旋转和倾斜<sup>[14-15]</sup>,这可能是由于在长 AL 患者中,其晶状体囊袋的直径往往更大,Toric IOL 植入眼内后,晶状体襻与囊袋赤道部之间的接触可能不够紧密,贴合度下降,Toric IOL 在囊袋内活动的空间较大,容易旋转和倾斜。但在近期研究中发现,AL 与囊袋的大小及囊膜直径之间没有正相关性,未发现 AL 的长短与 Toric IOL 旋转有明显的相关性<sup>[16-17]</sup>,同时在李娜等<sup>[18]</sup>的回顾性研究中也发现,不同 AL 白内障患者植入 Toric IOL 术后的旋转稳定性无明显差异。早期研究和近期研究结果的差异性,可能与早期和近期在临床技术,测量手段以及晶状体设计等方面成熟性有关。近现代,由于技术的发展进步,术前生物测量更精确,手术技术更成熟,晶状体设计能为不同解剖学特性的患者提供更适合的型号。故而目前对于长 AL 的患者,不应认为其旋转风险高而不使用 Toric IOL。尽管如此,长 AL 常与高度近视和视网膜病变等共存。故在选择 Toric IOL 时,我们仍应谨慎。

### 2.2 角膜散光的方向

角膜散光的方向是影响 Toric IOL 稳定性的因素之一,角膜散光的方向可以决定 Toric IOL 植入的方向<sup>[19-20]</sup>。几项比较 C 型襻 Toric IOL 的研究发

现,顺规散光(WTR)和斜轴散光的患者相比逆规散光更容易出现明显的旋转偏差<sup>[21]</sup>。此外,在 Miyake 等<sup>[14]</sup>进行的一项涉及 378 眼的研究中,他们报告说,在植入 AcrySof IQ Toric IOL 的 6 眼中,IOL 旋转 $>20^{\circ}$ 的所有眼睛都患有 WTR 散光。垂直固定的 Toric IOL 可能表现出更高的旋转倾向。关于板式襻 Toric IOL,没有明确的结论表明 Toric IOL 的旋转与角膜散光的方向之间存在关系。顺时针和逆时针旋转都有可能,主要取决于 Toric IOL 的设计。不同方向的散光因眼睑力学、角膜生物力学特性及囊袋收缩模式的差异,可能导致晶状体旋转风险显著不同。

## 3 手术因素的影响

### 3.1 轴向标记误差

手术轴向标记是 Toric IOL 植入术中关键的步骤之一,其准确性直接决定散光矫正效果。术前测量误差,角膜地形图或生物测量仪轴位偏差,都可能导致散光晶状体的轴位偏差。目前对于数字标记的准确性是否优于手动标记,没有共识。在最新的几项研究中也表明,图像引导的 Callisto 眼系统和手动标记方法在 Toric IOL 对齐、旋转稳定性、残余散光方面都显示出了统计学上同等的效果<sup>[22-23]</sup>。但在一项荟萃分析中,研究的总体证据表明,图像引导标记比手动标记更好,轴错位更少,差异向量更小,术后散光更少<sup>[24-25]</sup>。这可能是由于数字标记在整个过程中消除了与患者眼睛的直接接触,而患者眼球运动也能准确定位轴的位置,使得标记更加准确,从而减少误差<sup>[26]</sup>。然而数字图像引导标记也有其局限性,它依赖于术前高分辨率的前段图像,在手术期间,必须避免结膜水肿或出血,以保持清晰的手术领域。传统的手工标记的准确性很高,但与患者头位,标记者的经验,标记墨水的扩散等多项因素也有关<sup>[27]</sup>。当医生对患者进行标记时,患者眼球轻微运动可能将会引入标记偏差,从而使误差增大。然而,计算机标记和传统手工标记术后的裸眼远视力和矫正远视力方面没有显著差异,在术后都产生了可比性<sup>[25]</sup>,这表明在临床应用上,我们应该根据能力选择适合的标记方法。未来随着人工智能的快速发展,我们期待有更好的数字化系统,给手术实施带来更好的准确性和有效性。

### 3.2 连续环形撕囊

连续环形撕囊(continuous curvilinear capsulorhexis, CCC)是白内障手术中的核心步骤之一。有研究发现,前囊膜撕囊不规则会显著增加 IOL 的倾斜和偏心<sup>[28]</sup>。在 Feng 等<sup>[29]</sup>的数值模拟研究中显示,34.0 D 的高屈光晶状体在撕囊尺寸变化时表现出最大的倾斜和偏心量(表 1),撕囊尺寸在 5.5 mm 时,IOL 偏心和倾斜量较小,不会产生明显的光学影响。当撕囊尺寸过大或过小时,IOL 的偏心和旋转都会增大<sup>[30]</sup>。最近一项研究显示,前囊膜覆盖在 IOL 光学表面上的状态将影响 Toric IOL 的稳定性,当 IOL 的光学部未完全覆盖时,IOL 会向前移动,完全覆盖比部分覆盖具有更大的稳定性<sup>[16]</sup>。目前,关于 CCC 对 Toric IOL 术后稳定性的影响的研究有限,在未来,期待有更多大样本的研究详细地探讨。

表 1 撕囊尺寸对 Toric IOL 稳定性及光学质量的影响

撕囊尺寸(mm)	偏心量	倾斜度	稳定性	光学影响
<5.0	大	大	差	大
5.0-5.5	小	小	好	小
>5.5	大	大	差	大

**3.3 黏弹剂去除不完全** 手术中黏弹剂(OVD)去除不完全会影响Toric IOL稳定性风险因素,其通过改变囊袋内压力分布,延迟晶状体襻与囊袋贴合,诱导术后晶状体旋转或倾斜<sup>[31]</sup>。在Chen等<sup>[32]</sup>的研究中,使用液压植入技术产生的结果与使用OVD相当。且OVD组的IOL植入的平均时间为71.50 s,非OVD组为37.60 s。在非OVD组中,IOL植入所用的时间要短得多,这不仅提高了手术效率,缩短了手术时间,降低了成本,同时也消除了OVD可能诱导眼压升高的缺点。但目前尚未有明确的研究表明OVD与IOL稳定性之间的关联,有待进一步研究探索。

#### 4 疾病因素的影响

**4.1 囊膜混浊** 前囊膜混浊(anterior capsule opacification, ACO)的分级也影响Toric IOL的旋转。有研究发现二者呈负相关,ACO分级是影响Toric IOL稳定性的独立因素<sup>[13]</sup>。另外ACO可直接遮挡晶状体光学区边缘,导致眩光及对比敏感度下降。较高的ACO等级可能会减少Toric IOL旋转,这表明减少前囊的抛光可能会提高Toric IOL的稳定性<sup>[13,33]</sup>。后囊膜混浊(posterior capsule opacification, PCO)不直接牵拉晶状体,但它可导致囊袋不对称收缩,从而使Toric IOL不稳定<sup>[34]</sup>。YAG激光后囊切开术(YAG capsulotomy)是目前临床上最常用的治疗后发性白内障的方法。其具有诱发Toric IOL旋转的潜在风险<sup>[35]</sup>。但目前尚无有效的研究表明PCO与Toric IOL稳定性的直接关系。

**4.2 玻璃体视网膜疾病** 玻璃体切除术(pars plana vitrectomy, PPV)后眼内微环境的改变,特别是玻璃体腔内氧浓度的升高和维生素浓度的降低,可能导致晶状体氧化损伤,促进白内障的形成<sup>[36]</sup>。据文献报道,PPV术后6 mo,患者的晶状体开始出现明显的混浊趋势<sup>[37]</sup>,越来越多的研究者推荐白内障和玻璃体视网膜联合手术。但当玻璃体被液体取代,折射率发生变化,会引起-0.13--0.5 D的近视漂移<sup>[38-39]</sup>。因此专家组建议,在选择IOL度数时,应略小于计算得出的度数,以抵消由近视漂移造成的屈光状态变化<sup>[36]</sup>。此外,合适的IOL计算公式也是影响联合手术患者术后屈光结果的因素,Barrett和Olsen公式在PPV术后球面等效精度计算效果最佳,平均误差最小<sup>[40-41]</sup>。硅油填充眼的IOL度数计算可选择Holladay, SRK/T以及EVO等第五代公式<sup>[42]</sup>。与此同时,术中使用的填充物,也可能导致IOL位置的移动,影响患者术后的屈光状态。有研究发现,PPV术中填充硅油是IOL倾斜超过7%的危险因素<sup>[43]</sup>。Iwama等推测,在CCC(5.5-5.8 mm)相对较大的情况下,空气填充可能会诱发更大的IOL位置异常<sup>[44-45]</sup>。在Tan等<sup>[43]</sup>的研究中,证明了IOL倾斜和偏心在PPV组中比非PPV组中更大,在PPV组中,约20%的眼IOL倾斜大于7°。此外,硅油填充的持续时间与IOL倾斜程度呈正相关。因此,一旦视网膜情况稳定,建议尽快移除硅油。此研究还表明,糖尿病(DM)是IOL偏心超过0.4 mm的危险因素。DM患者囊膜收缩的高风险可增加IOL的移位和下沉,尤其是在糖尿病视网膜病变患者中<sup>[46]</sup>。据报道,巩膜环扎术迫使AL缩短或变形,导致晶状体襻受力不均,增加了AL并使扣带面积变陡,导致近视和高度散光<sup>[47]</sup>。但目前尚无关于巩膜环扎术对IOL位置影响的研究。PPV术后的白内障手术具有

挑战性,并发症多,发生率较高。故Toric IOL应谨慎应用于PPV的患者。

**4.3 假性剥脱综合征** 青光眼常合并假性剥脱综合征(pseudoexfoliation syndrome, PEX),PEX的患者悬韧带因细胞外基质(假性剥脱物质)沉积而脆弱,术中易发生断裂,导致囊袋不对称收缩,从而使晶状体倾斜或旋转的风险增加<sup>[48]</sup>。但目前关于这类疾病和IOL稳定性的相关研究较少,尚无确切定论。

#### 5 环境与行为因素

术后早期过度的体力活动会增加Toric IOL旋转和偏心的可能性<sup>[49]</sup>。在一项多中心研究中,1例接受右眼Toric IOL植入的患者在手术后几天参加了马拉松比赛。在1 wk的随访中,患者右眼的Toric IOL旋转超过80°。患者几周前左眼植入的Toric IOL术后保持稳定<sup>[50]</sup>。因此临幊上建议在手术后的前3 d,患者应避免剧烈活动<sup>[49]</sup>。

#### 6 Toric IOL旋转和偏心的干预措施

**6.1 术前干预** 术前精准规划与评估,高精度轴位标记,多设备交叉验证,联合角膜地形图(Pentacam)、光学生物测量仪(IOL Master 700)及前节OCT,确保散光轴位一致性。对于PEX、高度近视、糖尿病等患者,术前应用UBM评估悬韧带完整性,光学生物测量仪测算囊袋直径,从而选择匹配的IOL,降低IOL旋转和偏心的风险。

**6.2 术中干预** 先前的研究已经提供了支持使用囊袋张力环(CTR)来限制IOL旋转的证据。CTR组Toric IOL的平均旋转角度为(1.85±1.72)°,非CTR组为(4.02±2.04)°,这证明CTR的植入是一种安全有效的技术,可以确保Toric IOL更好的稳定性<sup>[51-53]</sup>。植入CTR后,囊袋得到有效支撑,使IOL的倾斜和偏心最小化,从而增加稳定性<sup>[54]</sup>。然而,在手术期间是否应该常规植人CTR,目前没有共识。需要进一步研究来比较不同设计、材料和手术技术对稳定性的影响。

**6.3 术后干预** 当Toric IOL的旋转距离预期轴超过10°时,有必要重新定位。如果旋转<10°,眼睛折射力的变化低于0.50 D,通常不会显著影响视力。术后>1 wk,旋转>30°或偏心>1 mm,保守治疗无效,只能手术复位。适用于襻变形、悬韧带断裂或囊袋严重收缩等情况。但是,术前的精确定位及预防远远比术后的矫正更重要。

#### 7 小结

综上所述,Toric IOL是屈光性白内障手术的重要进展。它为同时存在白内障和有临床意义的角膜散光的患者提供了一种有效的手术解决方案,但因其偏心、倾斜及旋转所带来的视力影响不容忽视,故在临幊上面对不同的患者,精确的术前测量,合适的Toric IOL选择,以及术中严格的轴向定位尤为重要。随着设计和材料的进步,越来越多新的Toric IOL进入到临床应用,在实现了优良视觉质量的同时也表现出了良好的稳定性,未来,我们期待有更多优良的Toric IOL进入临床,为更多患者实现摘镜愿望。

**利益冲突声明:**本文不存在利益冲突

**作者贡献声明:**程晓娟论文选题,初稿撰写;李晓蝶、孔警文献检索;许立帅选题指导,论文修改。所有作者阅读并同意最终的文本。

## 参考文献

- [1] Titiyal JS, Kaur M, Jose C, et al. Comparative evaluation of toric intraocular lens alignment and visual quality with image-guided surgery and conventional three-step manual marking. *Clin Ophthalmol*, 2018, 12;747-753.
- [2] Schallhorn SC, Hettinger KA, Pelouskova M, et al. Effect of residual astigmatism on uncorrected visual acuity and patient satisfaction in pseudophakic patients. *J Cataract Refract Surg*, 2021, 47 (8): 991-998.
- [3] 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.
- [4] Vacalebre M, Frison R, Corsaro C, et al. Current state of the art and next generation of materials for a customized IntraOcular lens according to a patient-specific eye power. *Polymers*, 2023, 15(6):1590.
- [5] Inoue Y, Takehara H, Oshika T. Axis misalignment of toric intraocular lens: placement error and postoperative rotation. *Ophthalmology*, 2017, 124(9):1424-1425.
- [6] Jaitli A, Roy J, Chatila A, et al. Role of fibronectin and IOL surface modification in IOL: Lens capsule interactions. *Exp Eye Res*, 2022, 221:109135.
- [7] Schartmüller D, Lisy M, Mahnert N, et al. Rotational stability and refractive outcomes of a new hydrophobic acrylic toric intraocular lens. *Eye Vis*, 2024, 11(1):25.
- [8] Lin XQ, Ma DM, Yang J. Exploring anterior capsular contraction syndrome in cataract surgery: insights into pathogenesis, clinical course, influencing factors, and intervention approaches. *Front Med*, 2024, 11:1366576.
- [9] Haripriya A, Sweekruthi GK, Mani I, et al. Comparison of surgical repositioning rates and outcomes for hydrophilic vs hydrophobic single-piece acrylic toric IOLs. *J Cataract Refract Surg*, 2021, 47(2):178-183.
- [10] Sun JJ, Bai HR, Cui W, et al. Comparison of clinical outcome after implantation of two toric intraocular lenses with different haptic type: a prospective randomized controlled trial. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2024, 262(3):847-855.
- [11] Maedel S, Hirnschall N, Chen YA, et al. Rotational performance and corneal astigmatism correction during cataract surgery: Aspheric toric intraocular lens versus aspheric nontoric intraocular lens with opposite clear corneal incision. *J Cataract Refract Surg*, 2014, 40(8):1355-1362.
- [12] Gao X, Zhou D, Jiang Y, et al. Comparison of clinical outcomes and capsular bag stability between plate-haptic and C-loop haptic toric IOLs in cataract eyes. *Eur J Ophthalmol*, 2025, 35(6):1992-2000.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] Shah GD, Praveen MR, Vasavada AR, et al. Rotational stability of a toric intraocular lens: Influence of axial length and alignment in the capsular bag. *J Cataract Refract Surg*, 2012, 38(1):54-59.
- [16] Sasaki K, Eguchi S, Miyata A, et al. Anterior capsule coverage and rotational stability of an acrylic toric intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2021, 47(5):618-621.
- [17] He SH, Chen X, Wu XD, et al. Early-stage clinical outcomes and rotational stability of Tecnis toric intraocular lens implantation in cataract cases with long axial length. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1):204.
- [18] 李娜, 刘荣, 万佳昱, 等. 不同眼轴长度白内障患者散光矫正型人工晶状体植入术后相关指标的差异. 国际眼科杂志, 2023, 23(8):1372-1375.
- [19] Dong EY, Joo CK. Predictability for proper capsular tension ring size and intraocular lens size. *Korean J Ophthalmol*, 2001, 15 (1): 22-26.
- [20] Lee H, Kim TI, Kim EK. Corneal astigmatism analysis for toric intraocular lens implantation: precise measurements for perfect correction. *Curr Opin Ophthalmol*, 2015, 26(1):34-38.
- [21] Lee BS, Chang DF. Comparison of the rotational stability of two toric intraocular lenses in 1273 consecutive eyes. *Ophthalmology*, 2018, 125(9):1325-1331.
- [22] Tripathi AN, Kumar S, Sharma VK, et al. Comparing toric intraocular lens alignment: intraoperative image-guided system versus manual marking in cataract surgery: a randomized clinical trial. *Int Ophthalmol*, 2025, 45(1):228.
- [23] Ding N, Wang XZ, Song XD. Digital versus slit-beam marking for toric intraocular lenses in cataract surgery. *BMC Ophthalmol*, 2022, 22(1):323.
- [24] Zhou FQ, Jiang W, Lin ZL, et al. Comparative meta-analysis of toric intraocular lens alignment accuracy in cataract patients: Image-guided system versus manual marking. *J Cataract Refract Surg*, 2019, 45(9):1340-1345.
- [25] Yu JG, Ye T, Xiang Y. Digital marking versus manual marking technique for toric intraocular lens alignment: a meta-analysis. *BMC Ophthalmol*, 2025, 25(1):499.
- [26] Kose B, Albayrak S. Results of Callisto Eye System in Toric Intraocular Lens Alignment. *Beyoglu Eye J*, 2020, 5(1):1-4.
- [27] Mayer WJ, Kreutzer T, Dirisamer M, et al. Comparison of visual outcomes, alignment accuracy, and surgical time between 2 methods of corneal marking for toric intraocular lens implantation. *J Cataract Refract Surg*, 2017, 43 (10):1281-1286.
- [28] Rossi T, Ceccacci A, Testa G, et al. Influence of anterior capsulorhexis shape, centration, size, and location on intraocular lens position: finite element model. *J Cataract Refract Surg*, 2022, 48 (2):222-229.
- [29] Feng LY, Vidal CC, Weeber H, et al. Effects of capsulorhexis size and position on post-surgical IOL alignment. *Sci Rep*, 2024, 14:31132.
- [30] Buhl L, Kassumeh S, Kreutzer TC, et al. Rotational stability of plate haptic toric intraocular lenses after combined 25-gauge vitrectomy and cataract surgery. *Int J Ophthalmol*, 2023, 16(8):1231-1236.
- [31] Nuñez MX, Henriquez MA, Escaf IJ, et al. Consensus on the management of astigmatism in cataract surgery. *Clin Ophthalmol*, 2019, 13:311-324.
- [32] Chen YQ, Cao Q, Xue CY, et al. Comparison of two techniques for toric intraocular lens implantation: hydroimplantation versus ophthalmic viscosurgical devices. *BMC Ophthalmol*, 2018, 18(1):109.
- [33] Saldanha MJ, Benjamin L, Patel CK. Postoperative rotation of a 3-piece loop-haptic acrylic intraocular lens. *J Cataract Refract Surg*, 2009, 35(10):1751-1755.
- [34] Vukich JA, Ang RE, Straker BJ, et al. Evaluation of intraocular lens rotational stability in a multicenter clinical trial. *Clin Ophthalmol*, 2021, 15:3001-3016.

- [35] Jampaulo M, Olson MD, Miller KM. Long-term staar toric intraocular lens rotational stability. *Am J Ophthalmol*, 2008, 146(4): 550–553.
- [36] 中国医药教育协会智能眼科分会, 中国医学装备协会眼科专业委员会屈光不正防治学组. 眼前后节联合手术时机及人工晶状体植入等屈光策略专家共识(2025). 中华实验眼科杂志, 2025, 43(3): 193–203.
- [37] Bellucci C, Benatti L, Rossi M, et al. Cataract progression following lens-sparing pars plana vitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 22064.
- [38] Chen X, Zhao H, Xu YF, et al. Accuracy of new intraocular lens calculation formulae in eyes undergoing silicone oil removal/pars Plana vitrectomy–cataract surgery. *Retina*, 2023, 43(9): 1579–1589.
- [39] Shiraki N, Wakabayashi T, Sakaguchi H, et al. Optical biometry-based intraocular lens calculation and refractive outcomes after phacovitrectomy for rhegmatogenous retinal detachment and epiretinal membrane. *Sci Rep*, 2018, 8: 11319.
- [40] Darcy K, Gunn D, Tavassoli S, et al. Assessment of the accuracy of new and updated intraocular lens power calculation formulas in 10 930 eyes from the UK National Health Service. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46(1): 2–7.
- [41] Raimundo M, Findl O. Update on intraocular lens formulas. *Curr Opin Ophthalmol*, 2025, 36(1): 4–9.
- [42] El-Baha SM, Ei-Samadoni A, Idris HF, et al. Intraoperative biometry for intraocular lens (IOL) power calculation at silicone oil removal. *Eur J Ophthalmol*, 2003, 13(7): 622–626.
- [43] Tan XH, Liu ZZ, Chen XY, et al. Characteristics and risk factors of intraocular lens tilt and decentration of phacoemulsification after pars Plana Vitrectomy. *Trans Vis Sci Tech*, 2021, 10(3): 26.
- [44] Iwama Y, Maeda N, Ikeda T, et al. Impact of vitrectomy and air tamponade on aspheric intraocular lens tilt and decentration and ocular higher-order aberrations: phacovitrectomy versus cataract surgery. *Jpn J Ophthalmol*, 2020, 64(4): 359–366.
- [45] Leisser C, Hirnschall N, Findl O. Effect of air tamponade on tilt of the intraocular lens after phacovitrectomy. *Ophthalmologica*, 2019, 242(2): 118–122.
- [46] Tappin MJ, Larkin DP. Factors leading to lens implant decentration and exchange. *Eye*, 2000, 14(5): 773–776.
- [47] Lee DH, Han JW, Kim SS, et al. Long-term effect of scleral encircling on axial elongation. *Am J Ophthalmol*, 2018, 189: 139–145.
- [48] Lawu T, Mukai K, Matsushima H, et al. Effect 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.
- [49] Ma DM, Yu WJ, Cai L, et al. Optimal timing of repositioning surgery for a plate-haptic toric intraocular lens: a multicenter retrospective study. *J Refract Surg*, 2023, 39(2): 120–126.
- [50] Lin XQ, Ma DM, Yang J. Insights into the rotational stability of toric intraocular lens implantation: diagnostic approaches, influencing factors and intervention strategies. *Front Med*, 2024, 11: 1349496.
- [51] Rastogi A, Khanam S, Goel Y, et al. Comparative evaluation of rotational stability and visual outcome of toric intraocular lenses with and without a capsular tension ring. *Indian J Ophthalmol*, 2018, 66(3): 411–415.
- [52] Zhao Y, Li JX, Yang K, et al. Combined special capsular tension ring and toric IOL implantation for management of astigmatism and high axial myopia with cataracts. *Semin Ophthalmol*, 2018, 33(3): 389–394.
- [53] 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.
- [54] Miyoshi T, Fujie SH, Yoshida H, et al. Effects of capsular tension ring on surgical outcomes of premium intraocular lens in patients with suspected zonular weakness. *PLoS One*, 2020, 15(2): e0228999.