

# Toric IOL 矫正角膜散光效果的影响因素分析

李奕<sup>1</sup>, 刘荣<sup>2</sup>, 万佳昱<sup>2</sup>

引用:李奕,刘荣,万佳昱. Toric IOL 矫正角膜散光效果的影响因素分析. 国际眼科杂志, 2024,24(12):1922-1926.

基金项目:河北省2023年度医学科学研究课题计划(No. 20231779)

作者单位:<sup>1</sup>(050017)中国河北省石家庄市,河北医科大学;  
<sup>2</sup>(063000)中国河北省唐山市工人医院眼科

作者简介:李奕,在读硕士研究生,研究方向:白内障。

通讯作者:刘荣,毕业于天津医科大学,主任医师,硕士研究生导师,主任,研究方向:白内障、青光眼. iamzhuoran@163.com

收稿日期:2024-03-12 修回日期:2024-10-22

## 摘要

白内障超声乳化联合人工晶状体(IOL)植入术是目前治疗白内障的有效方法之一,随着白内障手术技术的发展,传统白内障手术已从复明手术逐渐转变为屈光手术。散光矫正型人工晶状体(Toric IOL)的临床应用有效减小了患者的角膜散光,改善了患者的术后视觉效果。Toric IOL的矫正效果受多元因素的共同作用,包括术前生物测量的准确性,个体化选择合适的Toric IOL计算公式,植入轴位的精确度,手术切口的设计以及Toric IOL的旋转稳定性等。文章将对影响Toric IOL矫正角膜散光效果的因素做一综述。

**关键词:**白内障;角膜散光;屈光误差;散光矫正型人工晶状体;生物测量

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2024.12.11

## Analysis of factors influencing the effect of Toric intraocular lens on corneal astigmatism

Li Yi<sup>1</sup>, Liu Rong<sup>2</sup>, Wan Jiayu<sup>2</sup>

**Foundation item:** Hebei Medical Science Research Project of 2023 (No.20231779)

<sup>1</sup>Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017, Hebei Province, China; <sup>2</sup>Department of Ophthalmology, Tangshan Gongren Hospital, Tangshan 063000, Hebei Province, China

**Correspondence to:** Liu Rong. Department of Ophthalmology, Tangshan Gongren Hospital, Tangshan 063000, Hebei Province, China. iamzhuoran@163.com

Received:2024-03-12 Accepted:2024-10-22

## Abstract

• Phacoemulsification combined with intraocular lens (IOL) implantation is currently one of effective methods for treating cataracts. As cataract surgery technology has evolved, traditional cataract surgery has shifted from

vision surgery to refractive surgery. The Toric IOL can significantly reduce corneal astigmatism and enhance patients' postoperative visual effects. However, the corrective impact of Toric IOL is influenced by numerous factors, including the accuracy of preoperative biometric measurements, selection of appropriate Toric IOL calculation formulas, the precision of implantation axis, surgical incision design, and rotational stability of the Toric IOL. This article will review the factors that influence the Toric IOL's effect on corneal astigmatism.

• **KEYWORDS:** cataract; corneal astigmatism; refractive error; Toric intraocular lens; biometric measurement

**Citation:** Li Y, Liu R, Wan JY. Analysis of factors influencing the effect of Toric intraocular lens on corneal astigmatism. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2024,24(12):1922-1926.

## 0 引言

随着白内障手术技术的进步,白内障手术已经进入了屈光性手术时代。我国白内障流行病学研究指出,21.3%-22.4%的患者术前存在1.0-1.5 D的角膜散光<sup>[1]</sup>。散光矫正型人工晶状体(Toric IOL)是一种双曲面人工晶状体(IOL),其在原有球镜的基础上增加柱镜来矫正患者的角膜散光,适用于白内障合并规则性角膜散光 $\geq 0.75$  D的患者;角膜不规则散光(如角膜瘢痕、角膜变性、圆锥角膜等)的患者不宜使用Toric IOL;白内障伴有可能影响晶状体囊袋稳定性眼病者、瞳孔散大不充分或有虹膜松弛综合征者,以及高度近视者,需慎用Toric IOL<sup>[2]</sup>。Toric IOL为白内障合并规则角膜散光的患者提供了一种新的矫正方法,帮助70%以上的患者脱离了远距离眼镜<sup>[3]</sup>,但一部分患者在植入Toric IOL后仍存在残余散光,术后残余散光 $>0.75$  D时便可对患者的视觉质量造成严重负面影响,进而影响患者术后生活质量<sup>[2]</sup>。为减少术后残余散光,提高术后视觉效果,下文将对这些影响因素进行阐述。

## 1 术前生物测量的准确性

术前生物测量的准确性对于选择合适的IOL度数至关重要,即使选择合适的计算公式来预测IOL度数,但由于生物测量的误差,也会导致术后屈光误差的出现。影响Toric IOL矫正效果的术前生物测量参数主要包括眼轴长度(axial length, AL)、前房深度(anterior chamber depth, ACD)、角膜曲率、瞳孔大小、IOL偏心 and 倾斜等。

**1.1 AL** AL指从角膜顶点到黄斑之间的距离,能直接影响眼球的屈光状态。AL对预测Toric IOL的轴位十分重要。既往研究发现,长AL患者往往囊袋直径比较大,此类患者通常需要球镜度数较小、厚度较薄的Toric IOL,这使得囊袋与人工晶状体摩擦力相应减少,IOL的旋转稳定性下降,从而增加患者的残余散光,但现有研究认为AL对手术效果无显著影响或呈负相关<sup>[4]</sup>,这可能与长AL患

者角膜散光均值低于正常 AL 患者有关,且 AL 越短,手术操作空间越小,术后并发症发生的可能性越大,进而影响术后视觉效果<sup>[5]</sup>,但该研究结果尚不足以代表所有患者情况,AL 与白内障术后效果之间的相关性还需进一步探索与验证。

**1.2 ACD** 目前临床上将 ACD 定义为从角膜后表面到晶状体前表面的距离,白内障患者 ACD 改变会影响屈光效果。Hu 等<sup>[6]</sup>发现术后 ACD 的改变与术前 ACD 呈正相关,术前 ACD 增加 1 mm,术后 ACD 会随之增加 0.6–0.7 mm。Liu 等<sup>[7]</sup>通过在模拟眼中实验发现,ACD 每变化 1 mm 可导致 1.34 D 的屈光改变。ACD 预测误差约占总屈光预测误差的 20%–40%,为减小患者的术后屈光误差,Olson 和 Haigis 等先后提出了术后 ACD 的预测公式来减少因 ACD 改变引起的屈光误差<sup>[8]</sup>。目前预测术后 ACD 用人工晶状体有效位置(effective lens position,ELP)表示,在 IOL 度数计算中发挥着重要作用。

**1.3 角膜曲率** 角膜曲率是决定 Toric IOL 度数的关键参数之一,角膜曲率测量误差会直接导致所选 IOL 度数不匹配、定位偏差、散光残留等后果。在测量角膜曲率时,忽略角膜后表面散光测量会导致对角膜总散光的估计不准确。使用 Scheimpflug 相机、IOL Master 700 和 Cassini 眼前节分析仪测量角膜后表面散光的平均值大致都在 0.3 D 左右,垂直子午线曲率较大,这将对角膜总散光产生负向作用力。虽然角膜后表面散光较小,但有研究认为仅根据角膜前表面测量结果选择 Toric IOL 会导致顺规散光的矫正过度 and 逆规散光的矫正不足,从而引起术后屈光误差<sup>[9]</sup>。此外,泪膜变化和使用滴眼液也可以影响角膜曲率测量结果,干眼患者的光学散射明显高于正常眼睛,视觉质量相对较差<sup>[10]</sup>,术前详细评估泪膜将有助于提高术前眼部生物测量的准确性。

**1.4 瞳孔大小** 在术前测量角膜散光时,大多数仪器测量角膜直径 2.0–3.0 mm 的中心区域,这种测量范围虽适用于大多数患者,但 Visser 等<sup>[11]</sup>建议在相对年轻的患者中,扩大测量区域来帮助减小测量误差。年轻患者的瞳孔直径相对较大>4.0 mm,使用 2.0–3.0 mm 中心区域测量不能准确测量患者角膜视觉中心的散光值,可能导致柱镜测量度数偏高,从而产生术后屈光误差。这可能与角膜中心区域相比外围更陡峭,即距离角膜中心区域越远,角膜散光越低有关。

**1.5 IOL 偏心 and 倾斜** 倾斜是指 IOL 平面偏离与视轴垂直的平面,IOL 术后的偏心 and 倾斜与术前 IOL 位置具有明显相关性。根据光学模拟实验的结果发现,IOL 偏心 0.5 mm 可能会影响其光学性能,并引起明显的视觉症状<sup>[12]</sup>。Hirschall 等<sup>[13]</sup>发现,在白内障手术前后,IOL 平均有 5°的倾斜(相对瞳孔向外),左右眼的结果相同,从而提出了一种 IOL 倾斜的预测算法,该算法使用扫描源光学相干断层扫描(optical coherence tomography,OCT)来预测 IOL 倾斜,根据预测结果调整 Toric IOL 可以降低术后残余散光,减小屈光误差。

## 2 Toric IOL 计算公式的选择

Toric IOL 矫正角膜散光的效果不仅受患者眼部自身情况的影响,还取决于 IOL 度数的正确计算和 ELP 的准确预估。不同 Toric IOL 计算公式使用不同的生物学参数来预估 ELP<sup>[14]</sup>,为了减小患者术后残余散光,提高术后视觉效果,Toric IOL 计算公式经历了数代变化并不断发展

更新。Toric IOL 计算公式主要为各种在线计算器,下文对常用 Toric IOL 计算公式作一总结。

**2.1 Alcon 计算器** 原始 Alcon 计算器使用基于平均水平的恒定比值来计算 IOL 度数,认为角膜前后表面曲率半径比值固定为 0.82,原始 Alcon 计算器忽略了极端 AL 患者的情况,不能个体化反映整个角膜散光<sup>[15]</sup>。新 Alcon 计算器结合了 Barrett Toric 计算器的算法,考虑了角膜后表面散光,但仍未考虑其他变量的个体化差异,这会导致在某些特殊情况下 Alcon 计算器的误差较大。Yang 等<sup>[16]</sup>通过与既往研究对比发现,新 Alcon 计算器屈光误差<0.5 D 的患者占比明显提高,使用新 Alcon 计算器可以获得更高的精确度。

**2.2 Holladay Toric 计算器** 该计算器通过 IOL 球镜度数和术前预估的 ELP 来计算 Toric IOL 度数,并根据 Holladay II 公式调整 IOL 柱镜度数和角膜平面之间的比值。有研究发现使用 Holladay Toric 计算器术后会残余 0.53–0.56 D 的顺规散光<sup>[16]</sup>,并指出仅考虑 ELP 不足以优化计算结果,甚至导致严重的顺规散光,可应用 Baylor 列线图帮助计算角膜后表面散光来提高计算准确性。

**2.3 Barrett Toric 计算器** Barrett Toric 计算器是基于大数据理论模型而建立的。原始 Barrett Toric 在线计算器应用 Barrett Universal II 公式来预估 ELP,通过术前生物测量以及预测的角膜后曲率来计算 IOL 度数和轴位<sup>[17]</sup>。随着眼科生物测量仪的发展,新一代 Barrett Toric 计算器通过输入测量的角膜后曲率来预测 IOL 度数,研究对比两种版本术后残余散光误差和质心误差没有显著差异<sup>[18]</sup>。Barrett Toric 计算器在计算过程中考虑了多项眼部变量,对于 ACD 异常或长 AL/短 AL 患者的包容性极强,目前被广泛应用。Yang 等<sup>[16]</sup>在比较两种 Toric IOL 计算器时发现 Barrett Toric 计算器组有 88.57%的患者屈光误差<0.5 D,有着良好的预测准确性。

**2.4 Olsen Toric 计算器** 该公式通过光线追踪原理测得角膜散光,提出使用 C 常数来预估 ELP<sup>[19]</sup>,避免了使用固定角膜屈光度(1.3375)产生的预测误差。与传统公式相比,使用光线追踪原理中的 C 常数来预测 IOL 度数具有更高的准确性<sup>[20]</sup>,但是其准确性是否优于 Barrett Toric 计算器还需进一步研究。

**2.5 Z CALC 计算器** Z CALC 在线计算器通过 Nomogram 角膜后矫正统计模型来预估 ELP,该计算器考虑了角膜后表面散光、SIA 等因素。2.0 版本使用第四代 IOL 计算公式优化算法,可补偿角膜后表面散光。该计算公式适用于蔡司 IOL,以及激光角膜屈光手术后的 IOL 植入。Lesieur<sup>[21]</sup>研究发现,使用 2.0 版本的 IOL 柱镜绝对折射率预测误差 $\leq 0.25$  D 的患者占比 62.3%,具有较高的预测准确性。目前,Z CALC 计算器对 ACD 较为敏感,其计算准确性与 Barrett Toric 计算器无明显差异。规划 Toric IOL 时,Z CALC 计算器是否优于 Barrett Toric 计算器的计算结果还有待进一步研究。

**2.6 EVO 公式** EVO 公式是一种基于正视化理论的厚透镜公式,它适用于多种 IOL 类型,通过输入 AL、K 值和 ACD 来预测 ELP,2.0 版本提高了对过短 AL 或过长 AL 患者以及 Toric IOL 的预测<sup>[22]</sup>。Savini 等<sup>[23]</sup>通过对比 13 种 IOL 计算公式发现使用 EVO 公式平均预测误差值在 $\pm 0.5$  D 范围内的比例为 80%–88.5%,平均预测误差值在 $\pm 0.25$  D 范围内的比例在 50%以上,其准确性较高。

**2.7 Kane 公式** 通过结合理论光学、薄透镜公式和“大数据”技术来进行预测,作为一种混合公式,它同时包含了线性回归和 AI 计算<sup>[24]</sup>。该公式通过 A 常数、AL、K 值和 ACD 来预估 ELP。正常 AL 患者采用 Kane 公式预测 Toric IOL 度数可以减小散光预测误差,但 Kane 公式在特殊角膜曲率和斜轴散光患者中的预测准确性有所下降<sup>[25]</sup>,Kane 公式仍需大量临床数据及特殊病例情况来丰富其算法。

### 3 Toric IOL 轴位标记方法

术前散光轴位标记是否准确关系到 Toric IOL 植入后的矫正效果,Toric IOL 植入轴位偏差 1°,散光矫正能力就会下降 3.3%。散光轴位标记方法可以大致分为传统手动标记方法、导航引导的测量标记方法、飞秒激光辅助下的标记方法以及波前像差测量系统辅助下的标记方法<sup>[26]</sup>。

**3.1 传统手动标记** 传统手动标记法仍是 Toric IOL 散光轴位标记最为广泛的使用方法。即在裂隙灯显微镜下使用 1 mL 注射器针头在角膜缘水平轴位处做两个标记,使用标记笔对标记处染色,植入 Toric IOL 后使用散光标记器确定预装轴位,并对 IOL 轴位进行调整,以达到精确植入。但由于染色剂具有可溶解性,易受泪液、滴眼药物或术中角膜的冲洗等因素影响,使标记颜色变浅,从而影响轴位的精确性。该方法虽然较为简便,但受主观因素影响较大,也容易出现标记偏差,需要术者具备一定的经验。

**3.2 数字化系统辅助 Toric IOL 标记** 近年来数字化系统辅助 Toric IOL 标记逐渐应用于临床,各种导航系统可以通过术中实时成像定位组织区域。如 Cassini 眼前节分析仪、Pentacam 眼前节全景分析仪等。通过虹膜识别技术在术前测量时对患者的一些固定特征进行捕捉,如巩膜血管、色素痣、结膜血管等,来对散光轴位进行精准的定位,进而将散光轴位精确地标记在患者的角膜或囊膜上。囊膜标记为永久性标记,是基于飞秒激光撕囊时在囊膜边缘设计一对标记,可用于评估患者 Toric IOL 术后的旋转稳定性。数字化系统辅助 Toric IOL 标记不仅省略了术前复杂的人工手动标记步骤,还有效提高了标记的准确性,为 Toric IOL 的精确植入提供保障,减少术后屈光误差。无论采取何种标记方法,标记时均应注意患者保持头位及眼位固定,避免因头位不正或眼球转动引起标记误差。

### 4 手术源性散光

手术源性散光 (surgically induced astigmatism, SIA) 是白内障摘除联合 IOL 植入术中,术者操作引起的角膜形态改变。由于手术切口反复受到器械的损伤,造成的切口组织轻度移位,使角膜组织松解,导致角膜上相互垂直径线的曲率差异减小,切口所在方位的屈光力下降而产生的角膜散光<sup>[27]</sup>。SIA 会对患者术后的视力和视觉效果产生不良影响,SIA 已成为白内障摘除联合 IOL 植入术后影响视觉质量的重要因素。SIA 与手术切口长度、手术切口位置及形态等有关。

**4.1 手术切口长度** 切口的长度是导致 SIA 最重要的因素之一,且两者之间存在一定的正相关性,即手术切口越小,诱发的 SIA 越低,视觉质量愈好。Sonmez 等<sup>[28]</sup>通过临床观察发现,手术切口每减小 0.5 mm,SIA 相应减小 0.25 D。但有学者发现,这种正相关仅在切口 >3.0 mm 时比较明显,在对 1.8、2.2、3.0 mm 的透明角膜切口产生的 SIA 进行对比时发现,2.2 mm 切口与 3.0 mm 切口比较结果符合这一相关性,而 1.8 mm 与 2.2 mm 切口产生的 SIA 差异无统

计学意义<sup>[29]</sup>。多项研究证明,透明角膜切口长度越小,产生的 SIA 越低且更为稳定<sup>[30-31]</sup>。

**4.2 手术切口位置** 手术切口位置可影响 SIA。曹杰明等<sup>[32]</sup>发现上方透明角膜切口较颞侧透明角膜切口对角膜表面形态的影响更大。常规 3.0 mm 透明角膜切口可以矫正 0.6-0.7 D 的角膜散光<sup>[33]</sup>,颞侧 3.0 mm 透明角膜切口 SIA 为 0.768 D,而上方透明角膜切口 SIA 为 1.293 D<sup>[34]</sup>,这可能与上方切口位置靠近角膜光学中心有关,切口越靠近角膜光学中心,术后 SIA 越大<sup>[35]</sup>。Liu 等<sup>[36]</sup>认为在角膜曲率引导下在陡峭轴位置作透明切口,术后对角膜散光影响最小,能有效控制术后 SIA。Lever 等<sup>[37]</sup>首次报道了对位角膜透明切口 (opposite clear corneal incisions, OCCI) 技术,即在原手术切口的对侧做一大小和深度相同的切口, OCCI 可以使角膜最陡峭子午线平坦,从而减小原有角膜散光。李娜等<sup>[38]</sup>通过临床试验发现,术前角膜散光 >1.5 D 的患者行 OCCI 术后 1 mo 角膜散光较术前降低约 1.32 D。

**4.3 手术切口形态** 透明角膜切口的形状、深度、跨度等都影响角膜形态,不同程度地影响着 SIA。Rathi 等<sup>[39]</sup>认为角膜人字形切口产生的 SIA 最小,其次是皱眉状切口和直切口。手术时选择拱形刀做多平面切口,可提高前房稳定性,减少因房水渗漏引起的眼压波动。将切口设计为矩形短隧道,可使 SIA 降至最小<sup>[40]</sup>。而术后角膜切口缝线则会挤压手术切口,影响垂直切口径线上的角膜形态,增加 SIA。

**4.4 飞秒激光辅助下角膜切口** 随着飞秒激光技术的发展,飞秒激光辅助下的白内障摘除术可根据患者散光度数、轴位、角膜曲率设定准确的散光矫正型透明角膜切口,在规划好的角膜子午线处作一定弧长及一定深度的非穿透性角膜切开来松解角膜,从而治疗术前已经存在的角膜散光<sup>[41]</sup>。虽然飞秒切口的感染风险低于手动角膜切口,但也存在伤口不完全闭合和角膜上皮细胞向内生长的风险<sup>[42]</sup>。手工角膜切口和飞秒切口均可引起 SIA,但飞秒切口在大小、位置和深度上具有更高的精度,有助于准确矫正术前角膜散光,创造更好的视力和角膜屈光状态,是一种可靠的矫正散光的方法。

总之,随着医疗水平的不断进步,白内障手术的角膜透明切口越来越小,但是即使是微创角膜透明切口也不能避免 SIA 的产生。为了减少 SIA 带来的屈光误差,不仅要求术者规范手术操作,还需要有丰富的手术经验。术者可以通过标准散光向量分析或在线工具来预测 SIA,根据预测结果设计术中透明角膜切口或结合 Toric IOL 植入度数与轴位来减小 SIA。

### 5 IOL 旋转稳定性

只要 Toric IOL 放置轴位准确且术后不发生旋转,就能稳定地矫正白内障患者存在的角膜散光。根据研究结果显示,术后 1 mo Toric IOL 的旋转稳定性逐渐增强<sup>[43]</sup>。在达到稳定状态前,Toric IOL 在眼内每旋转 1°,散光矫正能力就会下降 3.3%,旋转 10°散光矫正能力减弱 34%,旋转 30°时对散光无矫正作用,旋转超过 30°反而会增加术后的散光<sup>[44]</sup>。IOL 旋转稳定性可能与 IOL 大小、IOL 的襟设计和材质、前囊膜混浊 (anterior capsule opacity, ACO) 分级和囊袋收缩、术中植入晶状体囊袋张力环 (capsular tension ring, CTR) 及术后眼压 (intraocular pressure, IOP) 波动有关。

**5.1 IOL 大小和摩擦** IOL 在囊袋中旋转往往发生在术后早期,增加 IOL 和囊袋之间的摩擦可以减少这种早期旋转。增加摩擦的方式有以下几种:(1)选用较大直径的 IOL 可以增加与囊袋的接触面积,从而增加摩擦、提高旋转稳定性。但术前难以确定囊袋的大小,如果 IOL 直径过大则可能导致囊袋破裂或 IOL 变形;(2)术中完全吸除囊袋中残留的黏弹剂(*ophthalmic viscosurgical device, OVD*), OVD 残留会降低 IOL 与囊袋之间的摩擦,导致 IOL 在囊袋中发生旋转<sup>[45]</sup>,此外,不同的 OVD 类型也会影响 IOL 的旋转稳定性。

**5.2 Toric IOL 襻设计和材质** 目前临床应用的 Toric IOL 的形状分为一片式和三片式,襻的形状分为 C 型襻和板状襻,材质分为疏水性丙烯酸、亲水性丙烯酸和有机硅等多种类型。有研究发现,形状为一片式的 IOL 具有更好的旋转稳定性,疏水性丙烯酸与囊膜的黏附性最强,旋转稳定性最高<sup>[46]</sup>。当使用材质相同的板状襻 IOL 和三片式 C 型襻 IOL 比较时发现,板状襻 IOL 术后旋转 $>10^\circ$  占 14%,而三片式 C 型襻 IOL 占 37%<sup>[43]</sup>,说明板状襻 IOL 拥有更好的术后旋转稳定性。但是,目前尚缺乏对上述设计元素的单一变量与旋转稳定性之间的相关性研究,未来仍需大样本量临床数据研究为 Toric IOL 设计提供理论支持。

**5.3 ACO 分级和囊袋收缩** ACO 分级与 Toric IOL 的术后旋转度数呈负相关,这可能与前囊膜和 IOL 之间的黏附性增加有关,ACO 使得 IOL 在囊袋中活动度下降,从而增加了 IOL 的旋转稳定性<sup>[45]</sup>。在 0-3 级 ACO 中,囊袋轻度收缩限制了 IOL 在囊袋中的活动,但 4 级 ACO 囊袋过度收缩使 IOL 发生卷曲,导致光学部偏离中心或倾斜,引起视觉质量偏差<sup>[43]</sup>。此时 IOL 偏离 ELP, IOL 从 ELP 向前移动会导致患者发生近视漂移,反之,从 ELP 向后移动则会导致远视漂移。白内障术后残留的晶状体上皮细胞在囊袋收缩中起重要作用,术中行前囊膜抛光可提高 ELP 的长期稳定性。

**5.4 术中植入 CTR** 在合并长 AL 近视的白内障患者中,联合植入 CTR 能提高 Toric IOL 的旋转稳定性。Vokrojová 等<sup>[47]</sup>的研究显示在  $AL \geq 24$  mm 的患者中,联合植入 CTR 能提高 Toric IOL 的旋转稳定性,但正常 AL 患者联合植入 CTR 术后旋转稳定性无显著差异。理论上,植入 CTR 可以使囊袋完全展开,增强囊袋对 IOL 的支撑作用,通过扩大囊腔直径,CTR 可以增加前囊和后囊对 IOL 的压力,抑制上皮细胞的增殖减少后发性白内障的发生,从而避免因囊袋收缩而导致 IOL 偏移<sup>[48]</sup>,但联合 CTR 植入是否可以提高正常 AL 或短 AL 患者的 Toric IOL 旋转稳定性还有待进一步研究。

**5.5 术后 IOP 波动** 白内障术后早期 IOP 可发生波动,可能与 OVD 残留、假性囊膜剥脱、原发性睫状肌无力有关。Shingleton 等<sup>[49]</sup>研究发现,术后 30 min 术眼平均 IOP 波动在  $13.0 \pm 5.6$  mmHg ( $1 \text{ kPa} = 7.5 \text{ mmHg}$ ),术后第 1 d 术眼平均 IOP 明显提高,波动在  $18.5 \pm 6.0$  mmHg。白内障术后 IOP 波动会导致前房不稳定,使 IOL 旋转稳定性下降。此外,术后眼外伤也可引起 IOL 旋转,如果外力造成明显的手术切口渗漏,则可能导致更严重的并发症和 IOL 偏移。

## 6 小结

综上所述,随着白内障手术技术的不断发展、光学测量仪器精准度不断提高以及 IOL 计算公式的不断更新,人们对于白内障术后视觉质量要求越来越高。在为患者个

体化选择 Toric IOL 时除了考虑眼部生物学参数测量参数、SIA 以及正确的 Toric IOL 计算公式外,还需不断总结影响 Toric IOL 矫正角膜散光效果的综合因素,进一步减少患者术后产生的屈光误差,以获得长期良好的术后视觉效果。

## 参考文献

- [1] 夏美云, 朱丹. 白内障术后屈光误差的影响因素及人工晶状体屈光度计算公式选择的研究进展. 中华眼科医学杂志(电子版), 2020,10(4):251-256.
- [2] 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.
- [3] Hirschall N, Findl O, Bayer N, et al. Sources of error in toric intraocular lens power calculation. J Refract Surg, 2020, 36(10):646-652.
- [4] 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.
- [5] 任瑶, 郑玮. 不同眼轴长度对超声乳化手术效果的影响. 中华眼外伤职业眼病杂志, 2024,46(2):124-130.
- [6] Hu J, Zhang WP, Cao DM, et al. Research progress on prediction of postoperative intraocular lens position. Indian J Ophthalmol, 2024,72(Suppl 2):176-182.
- [7] Liu YJ, Wang ZQ, Mu GG. Effects of measurement errors on refractive outcomes for pseudophakic eye based on eye model. Optik, 2010,121(15):1347-1354.
- [8] Olsen T. Prediction of the effective postoperative (intraocular lens) anterior chamber depth. J Cataract Refract Surg, 2006,32(3):419-424.
- [9] 陈紫亮, 饶惠英. Toric 人工晶状体植入术前角膜曲率测量及计算公式的优选. 国际眼科纵览, 2022,46(5):437-442.
- [10] D'Souza S, Annavajhala S, Thakur P, et al. Study of tear film optics and its impact on quality of vision. Indian J Ophthalmol, 2020,68(12):2899-2902.
- [11] Visser N, Bauer NJ, Nuijts RM. Residual astigmatism following toric intraocular lens implantation related to pupil size. J Refract Surg, 2012,28(10):729-732.
- [12] 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.
- [13] Hirschall N, Buehren T, Bajramovic F, et al. Prediction of postoperative intraocular lens tilt using swept-source optical coherence tomography. J Cataract Refract Surg, 2017,43(6):732-736.
- [14] 李晨. 眼前节分析系统在有效晶状体位置及白内障术后屈光效果预测中的作用. 眼科新进展, 2021,41(10):969-973.
- [15] Abulafia A, Barrett GD, Kleinmann G, et al. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation. J Cataract Refract Surg, 2015,41(5):936-944.
- [16] Yang J, Zhang H, Yang XT, et al. Accuracy of corneal astigmatism correction with two Barrett Toric calculation methods. Int J Ophthalmol, 2019,12(10):1561-1566.
- [17] Yang S, Byun YS, Kim HS, et al. Comparative accuracy of Barrett toric calculator with and without posterior corneal astigmatism measurements and the Kane toric formula. Am J Ophthalmol, 2021,231:48-57.
- [18] Skrzypecki J, Sanghvi Patel M, Suh LH. Performance of the Barrett Toric Calculator with and without measurements of posterior corneal curvature. Eye, 2019,33(11):1762-1767.
- [19] Wei LQ, Fu YH, Pan WH, et al. Accuracy of optimized Sirius ray-tracing method in intraocular lens power calculation. Int J Ophthalmol, 2022,15(2):228-232.

- [20] Chang PJ, Zhang F, Wang JJ, et al. Accuracy of constant C for ray tracing: assisted intraocular lens power calculation in normal ocular axial eyes. *Ophthalmic Res*, 2021,64(1):85-90.
- [21] Lesieur G. Microincision cataract surgery with implantation of a bitoric intraocular lens using an enhanced program for intraocular lens power calculation. *Eur J Ophthalmol*, 2020,30(6):1308-1313.
- [22] Savini G, Di Maita M, Hoffer KJ, et al. Comparison of 13 formulas for IOL power calculation with measurements from partial coherence interferometry. *Br J Ophthalmol*, 2021,105(4):484-489.
- [23] Savini G, Taroni L, Hoffer KJ. Recent developments in intraocular lens power calculation methods-update 2020. *Ann Transl Med*, 2020,8(22):1553.
- [24] Connell BJ, Kane JX. Comparison of the Kane formula with existing formulas for intraocular lens power selection. *BMJ Open Ophthalmol*, 2019,4(1):e000251.
- [25] Kane JX, Connell B. A comparison of the accuracy of 6 modern toric intraocular lens formulas. *Ophthalmology*, 2020,127(11):1472-1486.
- [26] 万佳昱, 赵春梅, 陈艳辉, 等. 散光矫正型人工晶状体轴位标记方法研究现状. *眼科新进展*, 2019,39(11):1096-1100.
- [27] 邓家权, 查旭, 张远平. 角膜切口的构型对白内障超声乳化手术术源性散光的影响研究进展. *现代医药卫生*, 2020,36(11):1681-1683.
- [28] Sonmez S, Karaca C. The effect of tunnel length and position on postoperative corneal astigmatism: an optical coherence tomographic study. *Eur J Ophthalmol*, 2020,30(1):104-111.
- [29] Na JH, Sung KR, Lee JR, et al. Detection of glaucomatous progression by spectral-domain optical coherence tomography. *Ophthalmology*, 2013,120(7):1388-1395.
- [30] 梁景黎, 邢秀丽, 杨晓彤, 等. 2.2 mm 和 3.0 mm 透明角膜切口超声乳化白内障吸除术后全角膜及角膜前后表面术源性散光的比较分析. *中华眼科杂志*, 2019,55(7):495-501.
- [31] Ren YP, Fang XX, Fang AW, et al. Phacoemulsification with 3.0 and 2.0 mm opposite clear corneal incisions for correction of corneal astigmatism. *Cornea*, 2019,38(9):1105-1110.
- [32] 曹杰明, 查旭, 张远平. 术源性散光与屈光性白内障个性化切口的研究进展. *现代医药卫生*, 2022,38(16):2798-2803.
- [33] Diakonis VF, Yesilirmak N, Cabot F, et al. Comparison of surgically induced astigmatism between femtosecond laser and manual clear corneal incisions for cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2015,41(10):2075-2080.
- [34] Nikose AS, Saha D, Laddha PM, et al. Surgically induced astigmatism after phacoemulsification by temporal clear corneal and superior clear corneal approach: a comparison. *Clin Ophthalmol*, 2018,12:65-70.
- [35] Langenbucher A, Szentmáry N, Cayless A, et al. Surgically induced astigmatism after cataract surgery - A vector analysis. *Curr Eye Res*, 2022,47(9):1279-1287.
- [36] Liu ST, Liu JY, Lin F, et al. Efficacy comparison between steep-meridian incision and non-steep-meridian incision in implantable collamer lens surgery with low-to-moderate astigmatism. *Ophthalmol Ther*, 2023,12(3):1711-1722.
- [37] Lever J, Dahan E. Opposite clear corneal incisions to correct pre-existing astigmatism in cataract surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2000,26(6):803-805.
- [38] 李娜, 王剑锋, 郝泽宇, 等. 陡峭轴切口联合对侧角膜缘松解术矫正白内障合并角膜散光患者的疗效. *眼科新进展*, 2023,43(5):397-400.
- [39] Rathi M, Dabas R, Verma R, et al. Comparison of surgically induced astigmatism in Chevron, straight, and frown incisions in manual small-incision cataract surgery. *Indian J Ophthalmol*, 2022,70(11):3865-3868.
- [40] Borkenstein AF, Packard R, Dhuhghaill SN, et al. Clear corneal incision, an important step in modern cataract surgery: a review. *Eye*, 2023,37(14):2864-2876.
- [41] 陈威, 周婧, 杜君, 等. 飞秒激光弧形角膜切开术对白内障合并角膜散光患者的矫正效果. *眼科新进展*, 2019,39(12):1137-1140.
- [42] Morales - Wong F, Navas A, Yañez - Oviedo GE, et al. Femtosecond laser applications in corneal surgery. *Taiwan J Ophthalmol*, 2023,13(3):293-305.
- [43] Lin X, Ma D, Yang J. Insights into the rotational stability of toric intraocular lens implantation: diagnostic approaches, influencing factors and intervention strategies. *Front Med*, 2024,11:1349496.
- [44] 穆延潇, 乔明超, 李琰, 等. 眼内镜植入术后再次眼内镜相关手术的原因及处理. *眼科*, 2023,32(3):245-250.
- [45] 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.
- [46] 陈紫亮, 饶惠英. Toric 人工晶状体术后旋转的影响因素及处理原则. *国际眼科杂志*, 2022,22(10):1662-1665.
- [47] Vokrojová M, Havlíčková L, Brožková M, et al. Effect of capsular tension ring implantation on postoperative rotational stability of a toric intraocular lens. *J Refract Surg*, 2020,36(3):186-192.
- [48] Lin X, Ma D, 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.
- [49] Shingleton BJ, Rosenberg RB, Teixeira R, et al. Evaluation of intraocular pressure in the immediate postoperative period after phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg*, 2007,33(11):1953-1957.