

· 专家述评 ·

重视 Toric 人工晶状体应用误差来源分析和控制

徐雯 李茜

310009 杭州, 浙江大学医学院附属第二医院眼科中心

通信作者: 徐雯, Email: xuwen2003@zju.edu.cn

DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2018.03.002

【摘要】 Toric 人工晶状体 (IOL) 是一种双曲面屈光性 IOL, 可将白内障患者眼散光度与球镜度数相结合, 用于白内障患者角膜散光的矫治。与其他矫正白内障患者角膜散光的方法相比较, 白内障摘出后植入 Toric IOL 术后不发生屈光回退, 对角膜和眼表环境影响小, 术后患眼视觉质量好。然而, 临床经验和既往研究的结果发现, 相当一部分白内障患者植入 Toric IOL 后仍残留一定程度的散光, 提示存在 Toric IOL 植入误差, 是造成术后散光残留和患者屈光状态不满意的主要原因。根据 Toric IOL 应用过程中的误差来源不同可分为角膜散光测量误差、术源性散光 (SIA) 引起的误差、IOL 计算引起的误差以及术后 IOL 偏心、倾斜、旋转等位置改变引起的误差。临床眼科医生应针对相关患者对 Toric IOL 误差来源进行分析和控制, 减少 Toric IOL 植入误差, 提高患者对 Toric IOL 应用的满意度。

【关键词】 白内障/手术; 散光; 人工晶状体植入; 假体植入; Toric 人工晶状体

Paying attention to the analysis and control of errors of Toric intraocular lens application Xu Wen, Li Xi

Eye Center of the Second Affiliated Hospital, Medical College of Zhejiang University, Hangzhou 310009, China

Corresponding author: Xu Wen, Email: xuwen2003@zju.edu.cn

【Abstract】 Toric intraocular lens (IOL) is a kind of hyperboloidal IOL and is used for the correction and treatment of cataract with corneal astigmatism by combining the astigmatism and spherical power. Toric IOL implantation has better stability and less impact on the ocular surface and provides better visual quality in comparison with other approaches for the patients with cataract and corneal astigmatism after surgery. However, based on the clinical experiences and the results of previous studies, a considerable number of eyes remain a certain amount of residual astigmatism following Toric IOL implantation, indicating some errors in Toric IOL implantation. Studies showed that Toric IOL implantation errors are the main causes of residual astigmatism and postoperative unsatisfactory refractive outcomes, including preoperative measurement error, the evaluation error for surgery-induced astigmatism (SIA), the imprecision of calculators for IOL power, and the refractive changes caused by IOL decentration, tilt and rotation after surgery. Ophthalmologists should fully understand, analyze and control the causes of these errors to improve the satisfaction of patients to Toric IOL implantation.

【Key words】 Cataract/surgery; Astigmatism; Intraocular lens implantation; Prosthesis implantation; Intraocular lens, Toric

流行病学调查资料显示, 20% ~ 30% 的白内障患者有大于 1.25 D 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, 术后则无法获得满意的视觉质量^[2]。矫正白内障患者角膜散光的方法包括角膜最大屈光力轴向设置透明角膜切口、角膜缘松解切口 (limbal relaxing incision, LRI)、透明角膜松解切口 (corneal relaxing incision, CRI)、全弧深度依赖性散光角膜切开术 (full-arc depth-dependent astigmatism keratotomy, FDAK)、对称性透明角膜切口、

术后角膜屈光术以及术中散光型人工晶状体 (toric intraocular lens, Toric IOL) 植入等。Toric IOL 是将散光矫正与 IOL 球镜度数相结合的一种屈光性 IOL, 又称为复曲面 IOL, 自问世后的 20 余年间, 其材质及设计等不断改进, 加之白内障超声乳化手术切口的不断改良, 手术效果也得到不断提高。

与其他矫正白内障患者角膜散光的方法相比较, 植入 Toric IOL 术后不发生回退, 对角膜和眼表影响小, 视觉效果更好。与 CRI、LRI 等矫正角膜散光的方

法相比较, Toric IOL 植入术后残留的散光度数更小, 裸眼视力和视觉效果更好。然而, 根据临床经验和既往研究的结果, 相当一部分患者接受 Toric IOL 植入后仍残留一定散光^[3-4], 残留散光的来源可以分为非应用误差引起的散光和应用误差引起的散光。非应用误差引起的残留散光主要有两个来源, 一是不规则性角膜散光、圆锥角膜、角膜移植术后、角膜外伤瘢痕等, 使用 Toric IOL 可矫正部分散光, 改善患者视力, 但非规则性角膜散光无法矫正; 二是由于 Toric IOL 存在一定的柱镜梯度, 无法完全矫正所有角膜散光, 残留一定程度的散光。应用误差是造成患者术后屈光状态不满意的主要原因, Toric IOL 的应用误差主要来源于角膜散光的测量误差、术源性散光 (surgically induced astigmatism, SIA) 引起的误差、IOL 度数计算引起的误差以及 IOL 偏心、倾斜、旋转等位置改变引起的误差。临床医生应充分分析和了解 Toric IOL 植入术后残留散光来源, 以对术前、术中和术后的相关环节进行质量控制, 减少误差, 提高 Toric IOL 应用后的满意度。

1 角膜散光的测量误差

角膜散光由角膜前表面散光和后表面散光共同组成。角膜前表面散光的轴向随着年龄的增加向逆规方向旋转, 而角膜后表面散光常为顺规散光, 并且随着年龄增长基本保持不变。对于角膜前表面散光而言, 角膜后表面散光为一负透镜, 在顺规散光患者中, 角膜后表面散光可部分地补偿角膜前表面散光, 而在逆规散光人群中, 角膜后表面散光则使总角膜散光量增加。因此, 临床医师选择 Toric IOL 时应对角膜前表面散光量和角膜后表面散光量同时加以考量。Koch 等^[5]研究发现, 忽略角膜后表面散光将引起 Toric IOL 植入后出现误差, 顺规散光患者术后引起散光过矫, 逆规散光患者术后引起散光欠矫。获得角膜散光值的原理和方法很多, 包括手动角膜曲率计、自动角膜曲率计、角膜地形图、裂隙扫描技术、光相干断层扫描以及 Scheimpflug 前节分析系统等, 前 3 种方法仅能对角膜前表面的散光进行测量和分析, 把后表面曲率/前表面曲率默认为固定值来估计角膜总散光值。然而事实上, 角膜前表面散光与后表面散光并非呈某一固定比值, 轴向也可有偏差^[5], 因此根据角膜前表面散光无法精确地预测角膜后表面散光。裂隙扫描技术、光相干断层扫描、Scheimpflug 前节分析系统可以对前、后表面曲率进行测量, 并且采用了实际的屈光介质系数 (空气为 1, 角膜为 1.376, 水为 1.336) 使得结果更接近真实角膜情况, 因而比前述的测量设备更精确。此

外, 临床医生可以根据以往欠矫、过矫的数据制定计算图表, 如 Baylor 计算图表、Goggin 计算图表、Koch 计算图表等, 对角膜后表面散光等引起的误差进行矫正。

值得注意的是, 目前尚未证实某一种角膜散光测量方法是最准确的。Hirschall 等^[6]认为角膜生物测量的不精准是引起患者术后对屈光结果不满意的重要原因, 尤其在角膜散光较小的人群中角膜生物测量的准确性较差。Goggin 等^[7]的研究证明, 同一角膜生物测量仪器两次测量值波动于 0.22 ~ 0.46 D 之间, Norrby 等^[8]研究发现, 约 5% 的患者在不同时间点的测量值有大于 0.5 D 的波动, 可能与泪膜、瞳孔大小、角膜形态、测量环境的温度及湿度等有关。因此, 在进行 Toric IOL 计算时应结合不同角膜散光测量设备的结果, 及时发现较大的测量误差。

2 SIA 引起的误差

Toric IOL 植入需要矫正的散光包括术前角膜散光与 SIA 的矢量和。对于 SIA, 临床医师需根据患者术前、术后的角膜散光资料进行矢量计算得出, 继而作为已知参数输入计算器进行 IOL 型号和植入轴向的确定。然而, SIA 的大小较难精确控制且受许多因素影响, 如切口位置、大小、距角膜屈光中心的距离、是否使用缝线、术前角膜散光度、前房深度、患者年龄、角膜生物力学因素等。角膜切口可以使切口所在子午线变得扁平, 而与其垂直的子午线变陡峭, 不同位置的角膜切口引起的扁平-陡峭效应不同, 因而 SIA 也会发生变化^[9]。鼻侧、鼻上方及上方切口比颞侧以及颞上方切口引起更大的 SIA^[10], 2.2 mm 的颞侧切口可引起 0.19 ~ 0.31 D 的 SIA, 2.2 mm 的上方切口引起的 SIA 约为 0.4 D^[11]; 切口的大小也影响着 SIA 大小, 总体上切口越小引起的 SIA 越小。不同术者报道的 SIA 差异较大。有报道 2.2 mm 角膜缘切口引起的 SIA 为 (0.25±0.13) D, 也有报道采用 2.2 mm 透明角膜切口后 SIA 为 (0.81±0.54) D 者^[12]。因此建议每位术者根据个人的既往数据进行矢量计算, 以得到个性化的 SIA, 并且尽可能减小手术操作因素引起的角膜形态变化。角膜生物测量仪器的测量结果组内波动可大于 0.5 D, Goggin 等^[7]发现角膜散光测量-再次测量变化的绝对值约 0.14 D, 因此有研究者推测之前文献报道的 SIA 很大一部分可能由测量结果的波动所致, 并且建议当 SIA 小于 0.5 D 时, 最好设置对照组进行验证。

目前大多数临床医师在评估 SIA 时没有考虑到角膜后表面 SIA 的影响, 忽略角膜后表面可能会引起 SIA 的错误估计^[13], 当手术切口对角膜前表面产生松

解作用时,对后表面的作用可能是相反的。以往的研究发现,25%的患者中角膜后表面 SIA 可能 $\geq 0.5 \text{ D}$ ^[14],切口终点越靠近角膜中心,对角膜后表面形态产生的影响越大。

3 计算器引起的误差

附带某一柱镜度数 Toric IOL 能够实际矫正的角膜散光度数不是固定值,其大小与有效晶状体位置 (effective lens position, ELP) 及等效球镜有关。ELP 即角膜平面到晶状体平面的距离,由术后前房深度和角膜厚度决定。一些厂商提供的计算器以固定值(常以系数为 1.46)用于两平面的柱镜换算。例如,旧版的 Alcon 在线计算器默认 T3-T9 的 AcrySof toric IOL 对应的角膜平面散光度分别为 1.03、1.55、2.06、2.57、3.08、3.60 和 4.11 D,没有考虑 ELP 的影响。但是,远视眼和近视眼可能会有不同程度的浅前房或深前房,若用同一固定比率换算会造成计算结果的误差。Goggin 等^[15]的研究中将厂商的预计值与考虑了 ELP 的预计值进行比较,前者低估的晶状体度数约为 0.5 D,是造成 Toric IOL 计算错误的主要原因。Barrett 计算器不但考虑了角膜后表面散光,而且用公式估计 ELP,因而得到的结果比 Alcon 在线计算器更精确^[16]。更新后的 Alcon 在线计算器采用了 Barrett toric 计算器的计算方法,计算误差更小。

4 手术中的标记误差

人从坐位到卧位时眼球有 $2 \sim 4^\circ$ 的旋转^[17],个别患者旋转可达 14° ^[18]。眼球旋转直接导致角膜标记的误差,进而引起 Toric IOL 植入时轴向的误差。因此,术前在患者垂直坐位下进行患眼散光轴向的精确标记是减少 IOL 植入轴位偏转的先决条件。许多 Toric IOL 的临床研究描述了散光轴向的三步标记法,即患者端坐位借用裂隙灯显微镜的水平窄光带标记患眼角膜缘 0° 和 180° 或 $3:00$ 和 $9:00$ 位轴向,术中用标记环对准参考轴向并描记目标轴。三步标记法中水平轴向标记误差、目标轴向标记误差以及 IOL 植入误差平均值分别为 2.4° 、 3.3° 和 2.6° ,导致的总误差约为 $(4.9 \pm 2.1)^\circ$ ^[19]。也有一些研究中介绍了一步标记法,即术前借助裂隙灯显微镜光源标尺、气泡标记器、钟摆标记器等直接标记目标植入轴向。此外,新型图像导航技术的发展也为 Toric IOL 的准确植入提供了更便捷的方式,如 Verion(美国 Alcon 公司)、Callisto(德国 Carl Zeiss 公司)、Cassini/True Vision 法等。

5 IOL 植入后位置改变引起的误差

IOL 在囊袋内位置的稳定与否对患者术后的屈光状态产生很大影响,IOL 在囊袋内的位置不稳定时可发生偏心、倾斜、旋转等。随着白内障手术技术的不断完善,IOL 材质改善和设计的进步,IOL 在眼内居中且稳定性良好,但仍有平均 $0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$ 的偏心和 2.6° 的倾斜^[20]。少量的偏心和倾斜对 Toric IOL 的散光矫正效果无明显影响,但多焦点 Toric IOL 的少量偏心、倾斜也可能出现严重的视觉干扰,因而对 IOL 在囊袋内居中性的要求更为严苛。

IOL 的囊袋内旋转对 Toric IOL 植入眼的成像质量产生较大影响,主要是对散光度数的增加^[21]。Toric IOL 离目标轴向有 1° 旋转时会导致散光矫正幅度降低 3.3%,旋转 30° 时相当于散光度未得到任何矫正^[22]。在 20 世纪 90 年代早期,术后 IOL 的旋转是 Toric IOL 的主要问题,随着 IOL 材料和设计的不断改良,近年来 Toric IOL 植入后的平均旋转度在 $3^\circ \sim 5^\circ$ 之间^[11]。Toric IOL 在囊袋内旋转稳定性与患者眼内空间、术中技术因素以及 IOL 本身有关。有研究者发现眼轴长的患者发生旋转的风险大^[23],可能与其囊袋相应较大,IOL 与囊袋的摩擦力小,因而更容易发生旋转有关。然而,也有研究者发现长眼轴的患眼 IOL 旋转约 3° ,引起的术后残留散光与术前比较差异并无统计学意义^[4]。Toric IOL 植入的技术因素对旋转稳定性具有重要影响,尤其是撕囊、植入 IOL 和调整 IOL 轴向、清除黏弹剂和囊袋抛光等重要步骤,任何细节上的疏忽均有可能造成患者散光矫正效果的降低。撕囊过大、撕囊裂开、囊膜不均衡覆盖 IOL 均可能造成 IOL 不同程度的偏心、倾斜以及旋转,影响术后患者的视觉效果,因而建议撕囊连续、环形、居中,前囊环应均匀覆盖 IOL 光学部边缘约 0.5 mm ,以确保 IOL 的远期稳定性。IOL 旋转经常发生在术后 2 周内^[24],其原因可能与术中黏弹剂清除不彻底有关,或者是在清除黏弹剂的过程中造成了 IOL 的旋转。建议在清除黏弹剂前先将 IOL 旋转至距离目标轴向逆时针 10° 左右,彻底清除黏弹剂后再小心地将 IOL 顺时针旋转至目标轴向,但也有一些熟练的术者根据各自的手术习惯建议 IOL 植入时直接将其调整至目标轴向,借助其他器械固定 IOL。囊袋纤维化常发生在术后 3~6 个月^[25],有术者认为囊袋纤维化对 IOL 造成牵引,可能造成其旋转,但也有术者发现 IOL 旋转的程度与前囊膜混浊度呈负相关,提示可能需要适当减少前囊抛光过程以增加 IOL 稳定性。此外,Toric IOL 植入后的旋转稳定性与 IOL

的材质或大小等有关。疏水性丙烯酸 IOL 比 PMMA、硅胶等材质的 IOL 具有更好的稳定性^[26], 直径较小的 IOL 比直径较大者发生旋转的风险大。

总之, Toric IOL 为白内障合并角膜散光的患者提供了很好的矫正方式, 其安全性和有效性得到了绝大多数临床医师的认同, 但仍然存在术后残留散光。临床医师充分了解术后残留散光的原因有助于术前对患者的角膜和囊袋状态、生物测量技术、SIA 情况、轴向标记方法、手术操作技术和 IOL 计算器选择等进行充分评估和精确预测, 尽可能减少导致 IOL 植入误差的因素。

参考文献

- [1] Chen W, Zuo C, Chen C, et al. Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Chinese patients [J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(2): 188-192. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.08.060.
- [2] Hayashi K, Manabe S, Yoshida M, et al. Effect of astigmatism on visual acuity in eyes with a diffractive multifocal intraocular lens [J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(8): 1323-1329. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.02.016.
- [3] 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 [J]. Ophthalmology, 2016, 123(2): 275-286. DOI: 10.1016/j.ophtha.2015.10.002.
- [4] 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]. J Cataract Refract Surg, 2012, 38(1): 54-59. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.08.028.
- [5] 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.
- [6] Hirschschall N, Hoffmann PC, Draschl P, et al. Evaluation of factors influencing the remaining astigmatism after toric intraocular lens implantation [J]. J Refract Surg, 2014, 30(6): 394-400. DOI: 10.3928/1081597X-20140429-01.
- [7] Goggin M, Patel I, Billing K, et al. Variation in surgically induced astigmatism estimation due to test-to-test variations in keratometry [J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(10): 1792-1793. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.07.005.
- [8] Norrby S, Hirschschall N, Nishi Y, et al. Fluctuations in corneal curvature limit predictability of intraocular lens power calculations [J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(2): 174-179. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.09.014.
- [9] Tejedor J, Murube J. Choosing the location of corneal incision based on preexisting astigmatism in phacoemulsification [J]. Am J Ophthalmol, 2005, 139(5): 767-776. DOI: 10.1016/j.ajo.2004.12.057.
- [10] Pakravan M, Nikkiah H, Yazdani S, et al. Astigmatic outcomes of temporal versus nasal clear corneal phacoemulsification [J]. J Ophthalmic Vis Res, 2009, 4(2): 79-83.
- [11] Visser N, Bauer NJ, Nuijts RM. Toric intraocular lenses: historical overview, patient selection, IOL calculation, surgical techniques, clinical outcomes, and complications [J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(4): 624-637. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.02.020.
- [12] Goggin M, Moore S, Esterman A. Toric intraocular lens outcome using the manufacturer's prediction of corneal plane equivalent intraocular lens cylinder power [J]. Arch Ophthalmol, 2011, 129(8): 1004-1008. DOI: 10.1001/archophthalmol.2011.178.
- [13] Alpíns N. Astigmatism analysis by the Alpíns method [J]. J Cataract Refract Surg, 2001, 27(1): 31-49.
- [14] Nemeth G, Berta A, Szalai E, et al. Analysis of surgically induced astigmatism on the posterior surface of the cornea [J]. J Refract Surg, 2014, 30(9): 604-608. DOI: 10.3928/1081597X-20140723-01.
- [15] Goggin M, Moore S, Esterman A. Outcome of toric intraocular lens implantation after adjusting for anterior chamber depth and intraocular lens sphere equivalent power effects [J]. Arch Ophthalmol, 2011, 129(8): 998-1003. DOI: 10.1001/archophthalmol.2011.188.
- [16] Abulafia A, Barrett GD, Kleinmann G, et al. Prediction of refractive outcomes with toric intraocular lens implantation [J]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(5): 936-944. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.08.036.
- [17] Hirschschall N, Maedel S, Weber M, et al. Rotational stability of a single-piece toric acrylic intraocular lens: a pilot study [J]. Am J Ophthalmol, 2014, 157(2): 405-411. DOI: 10.1016/j.ajo.2013.09.032.
- [18] Febbraro JL, Koch DD, Khan HN, et al. Detection of static cyclotorsion and compensation for dynamic cyclotorsion in laser in situ keratomileusis [J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(10): 1718-1723. DOI: 10.1016/j.jcrs.2010.05.019.
- [19] Visser N, Berendschot TT, Bauer NJ, et al. Accuracy of toric intraocular lens implantation in cataract and refractive surgery [J]. J Cataract Refract Surg, 2011, 37(8): 1394-1402. DOI: 10.1016/j.jcrs.2011.02.024.
- [20] Kránitz K, Miháltz K, Sándor GL, et al. Intraocular lens tilt and decentration measured by Scheimpflug camera following manual or femtosecond laser-created continuous circular capsulotomy [J]. J Refract Surg, 2012, 28(4): 259-263. DOI: 10.3928/1081597X-20120309-01.
- [21] 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 [J]. 中华实验眼科杂志, 2017, 35(3): 239-242. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-0160.2017.03.011. Zhang B, Ma JX, Liu DY, et al. Optical performance of Toric intraocular lens rotation in Hwey-Lan Liou model eye [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2017, 35(3): 239-242. DOI: 10.3760/ema.j.issn.2095-0160.2017.03.011.
- [22] Novis C. Astigmatism and toric intraocular lenses [J]. Curr Opin Ophthalmol, 2000, 11(1): 47-50.
- [23] Zhu X, He W, Zhang K, et al. Factors influencing 1-year rotational stability of AcrySof Toric intraocular lenses [J]. Br J Ophthalmol, 2016, 100(2): 263-268. DOI: 10.1136/bjophthalmol-2015-306656.
- [24] 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.
- [25] Tognetto D, Toto L, Sanguinetti G, et al. Lens epithelial cell reaction after implantation of different intraocular lens materials: two-year results of a randomized prospective trial [J]. Ophthalmology, 2003, 110(10): 1935-1941. DOI: 10.1016/S0161-6420(03)00736-X.
- [26] Lombardo M, Carbone G, Lombardo G, et al. Analysis of intraocular lens surface adhesiveness by atomic force microscopy [J]. J Cataract Refract Surg, 2009, 35(7): 1266-1272. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.02.029.

(收稿日期: 2017-07-24 修回日期: 2018-02-04)

(本文编辑: 尹卫靖)

读者 · 作者 · 编者

本刊对来稿中组织病理学彩色图片及电子显微镜图片中标尺的要求

如果作者稿件中包含有组织病理图、免疫荧光染色图、免疫组织化学图、电子显微镜图片, 为了反映组织标本大小的最精确尺度, 请在电子版图片的左下方附注标尺。

(本刊编辑部)