

白内障术中联合矫正角膜散光的研究进展

李盼盼^{1,2} 综述 管怀进¹ 吴坚¹ 审校

¹南通大学附属医院眼科 226001; ²南通市第一人民医院 南通大学第二附属医院眼科 226001

通信作者:管怀进, Email: guanhjeye@126.com

【摘要】 散光矫正是屈光性白内障手术的必然要求,目前白内障术中联合矫正角膜散光的方法主要有角膜切开和散光型人工晶状体(Toric IOL)植入。无论是手术刀还是飞秒激光角膜切开,其矫正散光的效果都与切口的位置、构型、形状、长度和深度、切口与视轴距离等有关。Toric IOL 的样式和材料会影响其在囊袋内的旋转稳定性,从而影响其矫正散光的效果。此外,术前 Toric IOL 的计算及角膜散光轴向的漂移亦会影响其矫正效果。本文就白内障术中联合矫正角膜散光的研究进行综述,以供眼科医师在临床工作中参考。

【关键词】 白内障手术; 角膜散光; 角膜切开; 散光型人工晶状体

基金项目: 江苏省科技计划项目基金项目 (BE2016699); 南通市前沿与关键技术社会民生创新计划项目 (MS22015072); “十三五”科教强卫工程南通市青年医学重点人才项目 (025)

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.04.014

Research progress of correcting corneal astigmatism in cataract surgery

Li Panpan^{1,2}, Guan Huaijin¹, Wu Jian¹

¹Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong 226001, China; ²Department of Ophthalmology, Nantong City No. 1 People's Hospital, Second Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong 226001, China

Corresponding author: Guan Huaijin, Email: guanhjeye@126.com

【Abstract】 Correction of astigmatism is an important part of refractive cataract surgery. Currently, methods of combined corneal astigmatism correction in cataract surgery mainly include keratotomy and Toric intraocular lens (IOL) implantation. Whether it is a scalpel or femtosecond laser keratotomy, the effects of astigmatism correction is related to the position, shape, length and depth of the incisions, configuration, and distance between incisions and optic axis. Moreover, the pattern and material of Toric IOL can affect its rotation stability and effects of astigmatism correction. This article reviewed recent progress of correcting corneal astigmatism in cataract surgery, which provided reference for ophthalmologists in clinical.

【Key words】 Cataract surgery; Corneal astigmatism; Keratotomy; Toric intraocular lens

Fund program: Technology and Science Foundation of Jiangsu Province (BE2016699); Frontier and Key Technology Social Welfare Innovation Project (MS22015072); “13th five-year” Science, Education and Health Project Nantong Youth Medical Key Talents Project (025)

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.04.014

临床上白内障合并角膜散光患者较常见,研究显示 47.27% 的白内障患者术前角膜散光 $>1.0\text{ D}$ ^[1]。散光度数超过 0.75 D 便可引起明显的视物模糊、重影等症状^[2]。近年来,随着白内障显微手术技术的不断进步、飞秒激光技术的发展和散光型人工晶状体 (Toric intraocular lens, Toric IOL) 的应用,传统的白内障复明手术已逐渐发展为屈光性手术^[3-5]。白内障术中联合矫正角膜散光是屈光性白内障手术的必然要求。目前,白内障术中矫正散光的方法主要有角膜切开和 Toric IOL 植入。角膜切开是指通过在周边角膜上作单个或多个切口来松解角膜,使角膜在眼压及弹性应力作用下相应方位的屈光力下降,垂直方位的屈光力增加,从而使角膜的散光减少^[6]。Toric IOL

的设计原理是在传统球镜基础上加一柱镜,其柱镜轴位与角膜最大屈光力子午线精确重合可以矫正角膜散光。本文就白内障术中联合矫正角膜散光相关研究进行综述。

1 角膜切开

目前,白内障术中角膜切开主要包括手工角膜切开和飞秒激光角膜切开 2 种方法。无论是手术刀还是飞秒激光切开,其矫正散光的效果都与切口位置、构型、形状、长度和深度、切口与视轴距离等有关。依据切开位置和数量不同可将角膜切口进行分类:

1.1 角膜最大屈光力轴向设置透明角膜切口

将透明角膜切口 (clear corneal incisions, CCI) 设置在角膜最大屈光力轴向上。目前,超声乳化白内障摘除手术切口根据其宽度分为标准切口 (3.1 ~ 3.4 mm)、小切口 (2.8 ~ 3.0 mm) 和微小切口 (≤ 2.2 mm)。就切口宽度而言,切口越小,术源性散光 (surgically induced astigmatism, SIA) 越小,其散光矫正效应也越小。研究显示,切口每减小 0.5 mm, SIA 约减小 $0.25 \text{ D}^{[7]}$ 。2.8、2.4 和 2.2 mm CCI 的 SIA 分别为 $0.42 \sim 1.04 \text{ D}^{[8-11]}$ 、 $0.41 \sim 1.03 \text{ D}^{[9,12-13]}$ 和 $0.24 \sim 0.61 \text{ D}^{[14-16]}$ 。但 SIA 不会随切口的减小而一直减小,2.2 mm 和 1.8 mm CCI 的 SIA 差异无统计学意义^[17-18]。如果患者术前角膜散光较小应采用小切口,可减少 SIA,从而减少术后角膜散光。对于术前角膜散光较大的患者可扩大切口以矫正术前已存在的散光。根据角膜切口的结构可分为单平面斜形切口和阶梯状切口 (双平面、三平面)。研究显示,单平面斜形切口的 SIA 小于阶梯状切口^[19]。手术切口按形状分为直线切口、弧形切口和反弧形切口,不同形态的切口对角膜散光造成的影响不同。研究表明,反弧形巩膜隧道切口因其两端远离角膜缘,切口形成向后悬吊的作用而减少角膜变形,从而减小 SIA^[20]。该切口简单易行,但临床应用受限,不能矫正散光度数较大者;对于角膜最大屈光力轴向位于 $30^\circ \sim 60^\circ$ 的散光患者不适合此方法矫正,会影响后续眼内操作。

1.2 对侧透明角膜切口

在角膜最大屈光力轴向上设置一对透明角膜切口 (opposite clear corneal incisions, OCCI),即手术中将超声乳化主切口设置在角膜最大屈光力轴向上,另一切口放置在对侧透明角膜上。研究显示,2.8 ~ 3.5 mm OCCI 平均矫正散光 $1.00 \sim 2.06 \text{ D}^{[21-24]}$ 。该方法简单易行,不需特殊手术器械,但增加切口渗漏和感染的风险^[19]。最大屈光力轴向位于 $30^\circ \sim 60^\circ$ 的角膜散光同样不适合此法。

1.3 松解性角膜切开

在角膜缘血管拱环内、中央角膜外的角膜范围内最大屈光力轴向上设置单个或一对弧形切口 (arcuate keratotomy, AK)。根据切口位置分为透明角膜松解切口 (corneal relaxing incisions, CRIS) 和角巩膜缘松解切口 (limber relaxing incisions, LRIS)。其散光矫正量与松解切口的弧长、深度及与角膜中心的距离有关,切口的弧度越长,深度越深,越靠近角膜中心,其散光矫正作用越大^[25]。弧形切口的规划可参照诺模图^[26-27]或通过网络计算器 (<http://www.lriccalculator.com/>) 计算。Kulkarni 等^[26] 研究发现,光学直径为 7 mm,切口深度为 $600 \mu\text{m}$,根据术前角膜散光参照诺模图设计切口弧长,术前术后的角膜散光分别为 $(2.93 \pm 1.45) \text{ D}$ 和 $(2.10 \pm 1.29) \text{ D}$ 。Tsioulas 等^[28] 研究发现,光学直径为 5 mm,切口深度为最薄点角膜厚度,根据术前角膜散光参照诺模图设计切口弧长,术前术后的角膜散光分别为 $(4.8 \pm 0.9) \text{ D}$ 和 $(1.1 \pm 0.6) \text{ D}$ 。手工弧形切开因矫正散光的可预测性差、术后角膜穿孔、切口裂开等原因临床上应用受限^[29]。

随着飞秒激光技术的发展,飞秒激光辅助角膜弧形切开 (femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy, FS-AK) 在矫正角

膜散光的应用中逐渐开展。飞秒激光由计算机控制操作,以微米为单位精准设定弧形切口的位置、弧度和深度。Yoo 等^[4] 研究发现,FS-AK 组光学直径为 9 mm,切口深度为 85% 角膜厚度,根据术前角膜散光参照诺模图设计切口弧度,术前术后的角膜散光分别为 $(1.315 \pm 0.131) \text{ D}$ 和 $(0.874 \pm 0.135) \text{ D}$ 。Rückl 等^[29] 在飞秒激光的辅助下将弧形切口设置在基质层,术前、术后 6 个月角膜散光分别为 $(1.50 \pm 0.47) \text{ D}$ 和 $(0.63 \pm 0.64) \text{ D}$ 。因其将弧形切口设置在基质层内而未穿透角膜前弹力层和后弹力层,增加了手术安全性。手工弧形切开优点为操作简便,散光矫正范围较大且不受散光轴向限制;其缺点为可预测性不强,术后异物感明显,可能出现角膜穿孔、切口裂开等并发症。FS-AK 可精准设置切口,可预测性和安全性较好,但费用较高。

1.4 全弧度深度依赖性散光角膜切开

全弧度深度依赖性散光角膜切开 (full-arc depth-dependent arcuate keratotomy, FDAK) 根据角膜地形图把角膜分为陡峭区和平坦区,切口弧长固定,通过调整切口深度 (占角膜厚度的百分比) 控制散光矫正量。Akura 等^[30] 在角膜 7.5 mm 直径的光学区上制作弧长为 90° 的成对弧形切口,切口深度为 40% ~ 80% 角膜厚度,可矫正 $1.00 \sim 4.00 \text{ D}$ 散光。研究显示,FDK 切口深度与散光矫正效应接近线性相关,能较准确地控制散光矫正量,并降低术中角膜穿孔发生率^[31]。目前 FDAK 的相关研究较少,其有效性和安全性尚需进一步研究。

2 Toric IOL

Toric IOL 是将散光矫正与 IOL 的球镜度数相结合的一种新型屈光性 IOL。Toric IOL 可经由常规手术切口植入,既矫正散光又不需改变角膜原有的组织结构,其适用范围是术前角膜散光规则且散光度数 $> 0.75 \text{ D}$ 的白内障患者^[32]。近年来由于其良好的稳定性、较高的预测性和精确性而在临床上得到广泛应用。

2.1 Toric IOL 的种类

目前,可用于矫正散光的 IOL 根据其设计样式主要分为: (1) 平板式: AA4203TF/AA4203TL (美国 Staar 公司)、AT-TORBI (Meditec, 德国 Carl Zeiss 公司) 和 Lentis Tplus LU 313-T (德国 Occulantis 公司); (2) 开放式环状: AcrySof SN6AT (美国 Alcon 公司)、MicroSil 6116TU 和 Torica-aA/Torica-S (德国 Human Optics); (3) 闭合式环状: T-flex 573T/T-flex 623T (英国 Rayner)、Akreos (美国 Bausch & Lomb 公司)。现将白内障术中常用的 Toric IOL 分别阐述。

2.1.1 AA4203TF/TL Toric IOL AA4203TF 和 AA4203TL Toric IOL 是由硅凝胶材料制成的一片式板状 IOL,光学直径为 6.0 mm,有总长度 10.8 mm (A4203TF) 和 11.2 mm (AA4203TL) 2 种晶状体, IOL 球镜度数为 $+10 \sim +28 \text{ D}$ 。因其柱镜度数仅有 2.0 D 和 3.5 D 2 种,限制了其临床使用范围。

2.1.2 AcrySof SN6AT Toric IOL AcrySof SN6AT Toric IOL 是一片式疏水性丙烯酸酯 IOL。光学直径为 6.0 mm,全长为 13.0 mm,球镜度数为 $+6.00 \sim +30.00 \text{ D}$,晶状体型号有 T2 ~ T9,各型号间柱镜度数在晶状体平面以 0.7 D 递增,所对应的

角膜平面以 0.5 D 递增,可矫正 0.5~4.0 D 的角膜散光。改良的 L 襻具有更好的旋转稳定性,能进一步提高 IOL 在囊袋内的稳定性。

2.1.3 MicroSil 6116TU Toric IOL MicroSil 6116TU Toric IOL 是三片式可折叠 IOL,光学面由硅凝胶制成,襻为聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)。光学部直径为 6.0 mm,总长度为 11.6 mm,IOL 球镜度数为-3.00~+30.00 D,柱镜度数为+2.00~+12.00 D,以 0.5 D 递增。晶状体襻为螺纹 Z 形,可紧贴囊膜的赤道部使其更加牢固。

2.1.4 T-flex 573T/623T Toric IOL T-flex 573T 和 T-flex 623T Toric IOL 是一片式亲水性丙烯酸酯 IOL。T-flex 573T Toric IOL 光学部直径为 5.75 mm,总长度为 12 mm。T-flex 573T Toric IOL 光学部直径为 6.25 mm,总长度为 12.5 mm。IOL 的球镜度数为+6.0~+26.0 D,柱镜度数为+1.00~+6.00 D。

2.2 Toric IOL 散光矫正效果的影响因素

2.2.1 Toric IOL 精准计算 通过在线计算器输入角膜屈光力 K_1 、 K_2 和轴向、切口位置、SIA 和 IOL 球镜度数,确定 Toric IOL 的柱镜度数和轴位。术前获得准确的角膜曲率数据是 Toric IOL 精准计算的关键。在裂隙光扫描地形图、Scheimpflug 照相技术开展以前,无法测量角膜后表面散光 (posterior corneal astigmatism, PA),计算 Toric IOL 时未能考虑 PA。研究发现,忽略 PA 计算并植入 Toric IOL 白内障术后主观验光散光度数为 $(-0.72 \pm 0.43) \sim (-1.03 \pm 0.79) D^{[33-34]}$ 。Atchison 等^[35] 研究发现,PA 可补偿 12.9%~31.0% 的角膜前表面散光 (anterior astigmatism, AA)。Reitblat 等^[36] 分别用 5 种方法计算植入 Toric IOL 柱镜度数和轴向并比较这 5 种方法的精准性,结果显示根据 AA 计算植入 Toric IOL 后的残余散光为 0.47 D,显著大于其他 4 种考虑 PA 计算植入 Toric IOL 后的残余散光。Shao 等^[37] 亦提出 Toric IOL 的计算不能忽略 PA。

2.2.2 Toric IOL 旋转稳定性 Toric IOL 植入后在囊袋内的稳定性,尤其是旋转稳定性是保证术后视觉质量稳定的关键。理论上,Toric IOL 轴向每旋转 3° ,其矫正散光的能力就会丢失 10%,旋转角度 $\leq 30^\circ$ 仍可矫正部分散光,旋转角度超过 30° ,柱镜作用完全消失,甚至会加重患者术后散光^[38]。国际标准 (ISO 11979-7:2014) 对 IOL 的旋转稳定的定义是 90% 的 IOL 在手术当天至术后 4~6 个月旋转 $< 10^\circ$ ^[39]。Chang 等^[40] 研究显示,直径为 11.2 mm 的 AA4203TL 型 Toric IOL 比直径为 10.8 mm 的 A4203TF 型 Toric IOL 稳定性更好。Mol 等^[41] 研究显示,SN6AT Toric IOL 具有较好的稳定性。Alberdi 等^[42] 研究显示,植入 T-flex 术后 3 个月 IOL 旋转 $\leq 10^\circ$ 。影响 Toric IOL 自身旋转的主要因素为:(1)IOL 的设计 C 形襻 IOL 术后旋转发生率较高,Z 形、L 形及平板式 IOL 术后稳定性好^[19]。(2)IOL 的大小 IOL 大小与囊袋空间相匹配才能维持其稳定性,囊袋越大,其赤道部的摩擦力越小,IOL 稳定性越差^[43]。(3)IOL 的材料 硅凝胶对囊膜黏附性低,PMMA 次之,丙烯酸对囊膜的黏附性最好^[19]。

2.2.3 角膜散光轴向的漂移 角膜散光轴向的漂移亦是影响 Toric IOL 植入术后视觉质量的关键因素。Shao 等^[37] 研究显

示,随着年龄的增加,AA 由顺规散光向逆规散光漂移,总角膜散光也表现出类似的趋势。在 Toric IOL 临床应用中,其轴位与角膜最大屈光力子午线精确重合时才能获得最佳矫正效果。角膜散光轴向漂移后很难再与 Toric IOL 的轴向完全重合,从而影响视觉质量。

3 小结

随着数字化导航及飞秒激光的应用,白内障术中联合矫正角膜散光的方法也不断推陈出新。角膜切开简单、易行,但其预测性差,改变角膜原有结构会产生过矫、欠矫和屈光回退等并发症^[44]。Toric IOL 可预测性好,且不会影响角膜原有的结构,未来将具有更广阔的临床应用前景,但其术后 IOL 旋转及年龄相关性角膜散光轴向的漂移会影响远期效果^[38,45-46],其远期有效性和稳定性尚需长期临床研究进一步验证。

参考文献

- [1] Yuan X, Song H, Peng G, et al. Prevalence of corneal astigmatism in patients before cataract surgery in Northern China [J/OL]. J Ophthalmol, 2014, 2014 : 536412 [2017 - 11 - 09]. <https://www.hindawi.com/journals/joph/2014/536412/>. DOI:10.1155/2014/536412.
- [2] Aykut V, Kirgiz A, GülAy B, et al. Comparison of pre-incision and single-stepped clear corneal incision in phacoemulsification surgery [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2014, 18(12) : 1698-1703.
- [3] Kim H, Wang WJ, Joo CK. Corneal astigmatism in patients after cataract surgery: a 10-year follow-up study [J]. J Refract Surg, 2016, 32(6) : 404-409. DOI:10.3928/1081597X-20160303-01.
- [4] Yoo A, Yun S, Kim JY, et al. Femtosecond laser-assisted arcuate keratotomy versus Toric IOL implantation for correcting astigmatism [J]. J Refract Surg, 2015, 31(9) : 574-578. DOI:10.3928/1081597X-20150820-01.
- [5] Asena L, Güngör SG, Akman A. Comparison of keratometric measurements obtained by the verion image guided system with optical biometry and auto-kemorefractometer [J]. Int Ophthalmol, 2017, 37(2) : 391-399. DOI:10.1007/s10792-016-0274-8.
- [6] 管怀进. 重视白内障合并角膜散光的精准手术矫正问题 [J]. 中华实验眼科杂志, 2017, 35(3) : 193-196. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.03.001.
Guan HJ. Paying attention to precision correcting surgery for cataract associated with corneal astigmatism [J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2017, 35(3) : 193-196. DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.03.001.
- [7] Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, et al. The correlation between incision size and corneal shape changes in sutureless cataract surgery [J]. Ophthalmology, 1995, 102(4) : 550-556. DOI:10.1016/S0161-6420(95)30983-9.
- [8] Koç M, İlhan Ç, Koban Y, et al. Effect of corneal biomechanical properties on surgically-induced astigmatism and higher-order aberrations after cataract surgery [J]. Arq Bras Oftalmol, 2016, 79(6) : 380-383. DOI:10.5935/0004-2749.20160108.
- [9] Tetikoğlu M, Yeter C, Helvacıoğlu F, et al. Effect of corneal incision enlargement on surgically induced astigmatism in biaxial microincision cataract surgery [J]. Turk J Ophthalmol, 2016, 46(3) : 99-103. DOI:10.4274/tjo.52386.
- [10] 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.
- [11] Sethi HS, Saluja K, Naik MP. Comparative analysis of coaxial phacoemulsification with 2.2- and 2.8-mm clear corneal incisions [J]. Int Ophthalmol, 2018, 38(1) : 215-222. DOI:10.1007/s10792-017-0450-5.
- [12] 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]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(10): 2075-2080. DOI: 10.1016/j.jcrs.2015.11.004.
- [13] Ofir S, Abulafia A, Kleinmann G, et al. Surgically induced astigmatism assessment; comparison between three corneal measuring devices[J]. J Refract Surg, 2015, 31(4): 244-247. DOI: 10.3928/1081597X-20150319-04.
- [14] Can I, Takmaz T, Yildiz Y, et al. Coaxial, microcoaxial and biaxial microincision cataract surgery: prospective comparative study[J]. J Cataract Refract Surg, 2010, 36(5): 740-746. DOI: 10.1016/j.jcrs.2009.11.013.
- [15] Wang J, Zhang EK, Fan WY, et al. The effect of micro-incision and small-incision coaxial phaco-emulsification on corneal astigmatism[J]. Clin Exp Ophthalmol, 2009, 37(7): 664-669. DOI: 10.1111/j.1442-9071.2009.02117.x.
- [16] Kim YJ, Knorz MC, Auffarth GU, et al. Change in anterior and posterior curvature after cataract surgery[J]. J Refract Surg, 2016, 32(11): 754-759. DOI: 10.3928/1081597X-20160816-01.
- [17] Yang J, Wang X, Zhang H, et al. Clinical evaluation of surgery-induced astigmatism in cataract surgery using 2.2 mm or 1.8 mm clear corneal micro-incisions[J]. Int J Ophthalmol, 2017, 10(1): 68-71. DOI: 10.18240/ijo.2017.01.11.
- [18] Luo L, Lin H, He M, et al. Clinical evaluation of three incision size-dependent phacoemulsification systems[J]. Am J Ophthalmol, 2012, 153(5): 831-839. DOI: 10.1016/j.ajo.2011.10.034.
- [19] 杨丽红, 汤欣. 白内障手术同时矫正术前散光的研究进展[J]. 中华眼科杂志, 2011, 47(6): 573-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2011.06.022.
Yang LH, Tang X. The research progress in treating astigmatism at the time of cataract surgery[J]. Chin J Ophthalmol, 2011, 47(6): 573-576. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2011.06.022.
- [20] 刘文慧, 施彦, 李一壮. 角膜地形图引导下白内障手术切口构建的变异对角膜散光影响[J]. 中国实用眼科杂志, 2010, 28(1): 31-36. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2010.01.010.
Liu WH, Shi Y, Li YZ. The effect of the corneal astigmatism in changed cataract surgery incision with the corneal topography[J]. Chin J Pract Ophthalmol, 2010, 28(1): 31-36. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1006-4443.2010.01.010.
- [21] Lever J, Dahan E. Opposite clear corneal incisions to correct pre-existing astigmatism in cataract surgery[J]. J Cataract Refract Surg, 2000, 26(6): 803-805.
- [22] Chiam PJ. Effect of paired opposite clear corneal incisions on with-the-rule versus against-the-rule astigmatism[J]. Cornea, 2015, 34(8): 901-905. DOI: 10.1097/ICO.0000000000000441.
- [23] Razmjoo H, Koosha N, Vaezi MH, et al. Corneal astigmatism change and wavefront aberration evaluation after cataract surgery: "Single" versus "paired opposite" clear corneal incisions[J]. Adv Biomed Res, 2014, 3(2): 163-169. DOI: 10.4103/2277-9175.139126.
- [24] Nemeth G, Kolozsvari B, Berta A, et al. Paired opposite clear corneal incision: time-related changes of its effect and factors on which those changes depend[J]. Eur J Ophthalmol, 2014, 24(5): 676-681. DOI: 10.5301/ejo.5000428.
- [25] Kaufmann C, Peter J, Ooi K, et al. Limbal relaxing incisions versus on-axis incisions to reduce corneal astigmatism at the time of cataract surgery[J]. J Cataract Refract Surg, 2005, 31(12): 2261-2265. DOI: 10.1016/j.jcrs.2005.08.046.
- [26] Kulkarni A, Mataftsi A, Sharma A, et al. Long-term refractive stability following combined astigmatic keratotomy and phacoemulsification[J]. Int Ophthalmol, 2009, 29(2): 109-115. DOI: 10.1007/s10792-007-9178-y.
- [27] Baharozian CJ, Song C, Hatch KM, et al. A novel nomogram for the treatment of astigmatism with femtosecond-laser arcuate incisions at the time of cataract surgery[J]. Clin Ophthalmol, 2017, 11(5): 1841-1848. DOI: 10.2147/OPHTH.S141255.
- [28] Tsioulis G, Droutsas D, Moschos M, et al. Arcuate relaxing incisions with a 5.00-mm optical zone for the correction of high postcataract astigmatism[J]. Ophthalmologica, 2000, 214(6): 385-389. DOI: 10.1159/000027530.
- [29] Rückl T, Dexl AK, Bachernegg A, et al. Femtosecond laser-assisted intrastromal arcuate keratotomy to reduce corneal astigmatism[J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(4): 528-538. DOI: 10.1016/j.jcrs.2012.10.043.
- [30] Akura J, Matsuura K, Hatta S, et al. A new concept for the correction of astigmatism: full-arc, depth-dependent astigmatic keratotomy[J]. Ophthalmology, 2000, 107(1): 95-104.
- [31] Akura J, Matsuura K, Hatta S, et al. Clinical application of fullarc depth-dependent, astigmatic keratotomy[J]. Cornea, 2001, 20(8): 839-843.
- [32] 中华医学会眼科分会白内障与人工晶体学组. 我国散光矫正型人工晶体的应用专家共识(2017年)[J]. 中华眼科杂志, 2017, 53(1): 7-10. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2017.01003.
- [33] Sun XY, Vicary D, Montgomery P, et al. Toric intraocular lenses for correcting astigmatism in 130 eyes[J]. Ophthalmology, 2000, 107(9): 1776-1782.
- [34] Mendicute J, Irigoyen C, Aramberri J, et al. Foldable toric intraocular lens for astigmatism correction in cataract patients[J]. J Cataract Refract Surg, 2008, 34(4): 601-607. DOI: 10.1016/j.jcrs.2007.11.033.
- [35] Atchison DA, Markwell EL, Kasthurirangan S, et al. Age-related changes in optical and biometric characteristics of emmetropic eyes[J]. J Vis, 2008, 8(4): 20-29. DOI: 10.1167/8.4.29.
- [36] Reitblat O, Levy A, Kleinmann G, et al. Effect of posterior corneal astigmatism on power calculation and alignment of Toric intraocular lenses: comparison of methodologies[J]. J Cataract Refract Surg, 2016, 42(2): 217-225. DOI: 10.1016/j.jcrs.2015.11.036.
- [37] Shao X, Zhou KJ, Pan AP, et al. Age-related changes in corneal astigmatism[J]. J Refract Surg, 2017, 33(10): 696-703. DOI: 10.3928/1081597X-20170718-04.
- [38] Viestenz A, Seitz B, Langenbucher A. Evaluating the eye's rotational stability during standard photography: effect on determining the axial orientation of toric intraocular lenses[J]. J Cataract Refract Surg, 2005, 31(3): 557-561. DOI: 10.1016/j.jcrs.2004.07.019.
- [39] 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.
- [40] Chang DF. Early rotational stability of the longer staar Toric intraocular lens: fifty consecutive cases[J]. J Cataract Refract Surg, 2003, 29(5): 935-940.
- [41] Mol IE, van Dooren BT. Toric intraocular lenses for correction of astigmatism in keratoconus and after corneal surgery[J]. Clin Ophthalmol, 2016, 10: 1153-1159. DOI: 10.2147/OPHTH.S107305.
- [42] Alberdi T, Macías-Murelaga B, Bascarán L, et al. Rotational stability and visual quality in eyes with Rayner toric intraocular lens implantation[J]. J Refract Surg, 2012, 28(10): 696-701. DOI: 10.3928/1081597X-20120921-04.
- [43] Strenn K, Menapace R, Vass C. Capsular bag shrinkage after implantation of an open-loop silicone lens and a poly(methyl methacrylate) capsule tension ring[J]. J Cataract Refract Surg, 1997, 23(10): 1543-1547.
- [44] Buckhurst PJ, Wolffsohn JS, Davies LN, et al. Surgical correction of astigmatism during cataract surgery[J]. Clin Exp Optom, 2010, 93(6): 409-418. DOI: 10.1111/j.1444-0938.2010.00515.x.
- [45] 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.
- [46] Bachernegg A, Rückl T, Riha W, et al. Rotational stability and visual outcome after implantation of a new Toric intraocular lens for the correction of corneal astigmatism during cataract surgery[J]. J Cataract Refract Surg, 2013, 39(9): 1390-1398. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.03.033.

(收稿日期: 2017-12-03 修回日期: 2019-02-22)

(本文编辑: 杜娟)