

引文格式:李盼盼,吴坚,周婧,薛莹,管怀进.角膜后表面散光的测量及临床意义[J].眼科新进展,2018,38(2):184-187. doi:10.13389/j.cnki.rao.2018.0042

【文献综述】

角膜后表面散光的测量及临床意义[△]

李盼盼 吴坚 周婧 薛莹 管怀进

作者简介:李盼盼,女,1988年5月出生,江苏南通人,在读硕士研究生,住院医师。联系电话:18862807716; E-mail: 825665680@qq.com; ORCID: 0000-0001-5329-0281

About LI Pan-Pan: Female, born in May, 1988. Master degree, Resident physician. Tel: 18862807716; E-mail: 825665680@qq.com; ORCID: 0000-0001-5329-0281

收稿日期:2017-07-21

修回日期:2017-10-19

本文编辑:王燕

△基金项目:江苏省科技计划项目基金资助(编号:BE2016699);南通市前沿与关键技术社会民生创新计划项目(编号:MS22015072)

作者单位:226001 江苏省南通市,南通大学附属医院眼科

通讯作者:管怀进, E-mail: guanhuaijinleye@163.com; ORCID: 0000-0002-4205-2015

Received date: Jul 21, 2017

Accepted date: Oct 19, 2017

Foundation item: Jiangsu Province Science and Technology Department of Social Development Major Projectskey Disease Standardization Diagnosis and Treatment (No: BE2016699); Nantong Frontier and Key Technologies of Social Innovation of the People Livelihood Programs (No: MS22015072)

From the Department of Ophthalmology, the Affiliated Hospital of Nantong University, Nantong 226001, Jiangsu Province, China

Responsible author: GUAN Huai-Jin, E-mail: guanhuaijinleye@163.com; ORCID: 0000-0002-4205-2015

膜前表面半径来粗略估计CA^[3,4],这种方法往往无法分析AA和PA。随着技术的发展,目前有多种仪器能够较为准确地测量角膜后表面散光,它们运用不同的技术组合测量角膜曲率,以下将分别进行阐述。

1.1 Orbscan Orbscan、Orbscan II裂隙扫描角膜地形图系统是临床上第1个能够提供角膜后表面信息的分析系统^[5]。采用裂隙扫描技术与Placido盘系统相结合,其光学裂隙扫描装置分别从左右两边

Measurement and clinical significant of posterior corneal astigmatism

LI Pan-Pan, WU Jian, ZHOU Jing, XUE Ying, GUAN Huai-Jin

[Abstract] Corneal astigmatism includes anterior astigmatism (AA) and posterior astigmatism (PA). According to the literature, 85.0% - 96.1% PA ranging from -0.01 to -1.10 D refers to astigmatism against the rule. With the age increasing, PA shows a significant trend from astigmatism against the rule to with the rule, while AA shows toward against-the-rule astigmatism. Therefore, PA often leads to partially decrease of total astigmatism (TA) in young adults, but the increase of TA in aged elderly. Clinically, ignorance of PA will lead to a false estimate of TA, thereby affecting visual quality after refractive cataract surgery. And this article aims to introduce the measurement of PA and its clinical significance for providing the reference in clinical practices.

[Key words] posterior astigmatism; total astigmatism; surgically induced astigmatism; Toric intraocular lens

[摘要] 角膜散光由角膜前表面散光(anterior astigmatism, AA)和角膜后表面散光(posterior astigmatism, PA)组成。据文献统计,PA在-0.01 ~ -1.10 D范围内,85.0% ~ 96.1%为逆规散光。随着年龄的增长,PA总体呈现由逆规向顺规漂移的趋势,AA的趋势则与之相反。因此,对于青年人,PA使总角膜散光(total astigmatism, TA)减小;对于老年人,PA使TA增大。在临床上,忽略PA会错误估计TA,影响屈光性白内障手术后的视觉质量。本文旨在介绍PA的测量方法及临床意义,以供眼科医生在临床工作中参考。

[关键词] 角膜后表面散光;总角膜散光;手术源性散光;散光型人工晶状体

[中图分类号] R778.1

角膜散光(corneal astigmatism, CA)由角膜前表面散光(anterior astigmatism, AA)和角膜后表面散光(posterior astigmatism, PA)组成。据文献统计,PA在-0.01 ~ -1.10 D范围内^[1],85.0% ~ 96.1%为逆规散光。与角膜前表面相比,角膜后表面屈光指数较小(角膜前、后表面屈光指数分别为0.376、-0.040)^[2],同时在裂隙光扫描(scanning-slit)地形图、Scheimpflug照相技术发展以前,PA很难测量^[3]。因此,在临床应用PA往往被忽略,从而影响术前对角膜散光的整体评估,导致术后视觉质量的差异。本文旨在介绍PA的测量方法及临床意义,以供眼科医生在临床工作中参考。

1 PA的测量方法

角膜散光传统的测量方法是使用角膜曲率计,通过屈光指数1.3375及角发射20条裂隙光以45°角投射并扫描角膜,共获得40个裂隙切面,其中每个切面可获得240个点的数据,最终产生9600个数据点。计算机根据色彩编码技术制作出角膜前表面高度图、角膜后表面高度图、角膜前表面屈光力地形图及全角膜厚度图^[6]。Meyer等^[7]对Orbscan II、Pentacam HR和Galilei这3种仪器的可重复性和一致性进行比较,发现Orbscan II的可重复性最低。王虎杰等^[6]研究发现Orbscan测得角膜前后表面曲率和前后表面高度均显著

高于 Pentacam。

1.2 Pentacam Pentacam、Pentacam HR 眼前节综合分析系统,又称眼前节全景仪,在临床上使用最为广泛。它是第一种采用 Scheimpflug 成像原理进行旋转扫描的三维眼前节分析诊断系统^[5-6],其内置的 Scheimpflug 摄像机可在 2 s 内扫描获得共轴的 50 幅裂隙图像,每幅图像包含 500 点,最终每个层面产生 25 000 个真实的高度点,由高度推导出角膜曲率和屈光力^[5-6,8]。因为其测量值为高度数据,与测量方向和参考点的轴位无关,所以得到的曲率更加精确且可重复性好^[9],但其测量会受到角膜透明度的影响,无法穿透混浊的角膜进行测量。

1.3 Sirius Sirius 三维眼前节分析仪是基于 Scheimplug 旋转相机和 Placido 环相结合的新型三维眼前节分析仪^[10]。其采用 22 环的 Placido 环与旋转 Scheimplug 相机,从 0°~180°旋转扫描 25 张图像和 1 张 Placido 环像,获得 2500 个有效数据点。前表面曲率由 Placido 环和 Scheimpflug 相机联合获得,角膜厚度图、前后表面角膜高度图通过 Scheimpflug 相机获取^[11]。有文献报道,Sirius 测量前后角膜曲率半径有高度的可重复性^[10,12-13],但其测量值与 Pentacam 比较差异有统计学意义^[10]。

1.4 Galilei Galilei Placido-dual Scheimpflu 眼前节分析仪由两个 Scheimpflug 旋转摄像系统和一个 Placido 环组成^[14]。其工作原理为两个 Scheimpflug 摄像机同时旋转 180°扫描眼球,以避免眼球偏斜引起的测量误差,可产生 122 000 个数据点。同时使用 Placido 环和 Scheimpflug 相机分析角膜前表面的曲率,用 Scheimpflug 旋转摄像系统获得角膜后表面的数据,用光线追踪的方法计算总角膜屈光力^[15-16]。Menassa 等^[14]报道其测量重复性好,Koch 等^[16]认为与 Pentacam 相比,Galilei 会低估 PA。总之,Galilei 对角膜后表面屈光力的测量准确性尚需进一步探讨与证实。

1.5 Visante Omni Visante Omni 眼前节分析系统将 Placido 盘和 OCT 两个原理相结合。Placido 盘可以精确获取角膜前表面的数据,结合 Visante OCT 可以对角膜厚度等进行准确评估,产生 7960 个数据点,从而获取角膜后表面的高度和曲率等信息^[5,17-18]。Liu 等^[18]研究显示 Visante Omni 在测量角膜曲率、角膜厚度等方面有良好的可重复性。另有研究显示 Visante Omni 测量角膜后表面的数据与 Pentacam 的参数分析有较好的一致性^[5]。

2 PA 的临床意义

2.1 PA 与 AA CA 根据轴向的位置可分为顺规散光(with the rule,WTR)、逆规散光(aganist the rule,ATR)及斜轴散光。角膜前表面屈光力为正值,最大屈光力子午线在 60°~120°为 WTR,最大屈光力子午线在 0°~30°或 150°~180°为 ATR。角膜后表面

屈光力为负值,最大屈光力子午线在 0°~30°或 150°~180°为 WTR,最大屈光力子午线在 60°~120°为 ATR^[19-21]。据文献统计,PA 的范围为 -0.01~-1.10 D,其中大部分人群为 ATR^[1]。AA 与年龄密切相关,有研究者通过极坐标值的分析方法发现,AA 以每 5 a 0.18 D 由垂直向水平漂移,而 PA 以 ATR 为主,以每 5 a 0.022 D 的速度由水平向垂直漂移,这表明随着年龄增加,AA 由 WTR 向 ATR 有明显漂移,而后表面的趋势则相反,且总体变化很小^[22]。有文献报道 PA 对 AA 的补偿作用为 13.4%~31.0%^[23-24],这种补偿作用随年龄增加而逐渐减小^[1]。

2.2 PA 与总角膜散光 总角膜散光(total astigmatism,TA)由 AA 和 PA 组成,TA 可以通过光线追踪技术直接测量。对于不具备光线追踪技术的医院可以通过前后表面散光度数和轴位计算。计算方法有 Holladay-Cravy-Koch 法^[25]和矢量合计^[2,26],具体如下。

Holladay-Cravy-Koch 法:

$$\alpha = A_2 - A_1$$

$$2\beta = \arctan \frac{C_2 (\sin 2\alpha)}{C_1 + C_2 (\cos 2\alpha)}$$

$$\theta = \frac{1\beta\alpha + 180^\circ}{2}$$

$$SC = C_1 \sin^2 \theta + C_2 \sin^2 (\alpha - \theta)$$

$$C_3 = C_1 + C_2 - 2SC$$

$$A_3 = A_1 + \theta$$

角膜总散光计为 $C_3 @ A_3$ 。 A_1, A_2 是轴位($A_2 > A_1$), C_1, C_2 是其对应的散光度数。由于矢量计算要求后表面散光大小使用正值,所以使用扁平轴位进行计算。

矢量合计:矢量合计 AA 和 PA,计算 TA 的轴位及散光。AA 的矢量 \vec{AA} 即 $\vec{AA} \times A_{AA}$, A_{AA} 为 AA 陡峭子午线。PA 的矢量 \vec{PA} 即 $\vec{PA} \times A_{PA}$, A_{PA} 是 PA 的扁平子午线。TA 的矢量 $\vec{TA} = \vec{AA} \times \vec{PA}$, $\vec{TA} \times A_{TA}$, A_{TA} 为陡峭子午线。

PA 大部分为 ATR,前表面散光为 WTR 时,PA 使 TA 减小,前表面散光为 ATR 时,使 TA 增大^[19]。AA 随年龄增加由 WTR 向 ATR 漂移,因此在年轻人群,PA 减小 TA;在老年人群,PA 增加 TA^[19]。

Eom 等^[27]使用 IOLMaster 和 Galilei 对 99 人 99 眼的 CA 进行研究[年龄(37.9 ± 13.0)岁],其中 IOLMaster 测量模拟角膜曲率计散光,Galilei 测量 AA 和 TA。结果显示 AA[(1.35 ± 0.77)D]显著大于 TA[(1.21 ± 0.70)D]($P < 0.01$)。模拟角膜曲率计散光[(1.21 ± 0.70)D]显著大于 TA[(1.10 ± 0.66)D]($P < 0.01$)。

张蝶念等^[2]用模拟角膜曲率计散光(屈光指数 1.337 5 及角膜前表面曲率半径计算)和 TA(Peta-

cam 测量的 AA 和 PA, 矢量合计 TA) 对 88 人 105 眼的 CA 进行研究[年龄(69.14 ± 10.40)岁], 结果显示模拟角膜曲率计散光[(1.07 ± 0.64)D] 显著小于 TA[(1.12 ± 0.65)D] ($P=0.02$)。

这两个研究结果与之前的理论推断(对于青年人, PA 减小 TA; 对于老年人, PA 增加 TA)一致。

2.3 PA 与屈光性白内障手术 随着白内障手术技术的发展和散光型人工晶状体(Toric intraocular lens, Toric IOL)的问世, 目前白内障手术已向屈光性手术发展。白内障术中可联合在角膜最大屈光力轴向方向设置透明角膜切口、松解性角膜切开或植入 Toric IOL 等方法矫正散光。因此, 准确测量白内障患者术前 CA 的大小及轴位是术中精确矫正散光的前提, 仅用 AA 或模拟角膜曲率计散光代替 TA 远不能满足当今“精准医疗”的要求, 故 PA 越来越受到重视。

2.3.1 PA 与手术源性散光 屈光性白内障手术常利用手术切口诱导的 CA, 即手术源性散光(surgically induced astigmatism, SIA)矫正术前已存在的 CA, 一般将切口置于角膜陡峭子午线上或者于该子午线上设置一对透明角膜切口^[28]。Nemeth 等^[20]研究(2.8 mm 透明角膜切口)结果显示, 角膜后表面的 SIA 为(0.32 ± 0.29)D, 其中 SIA > 0.5 D 者占 25%。Cheng 等^[29]研究(2.75 mm 透明角膜切口)发现忽略 PA 会导致白内障术后 SIA 显著偏差, SIA 误差 > 0.25 D 占 64%, SIA 误差 > 0.5 D 占 24%。Loeffler 等^[30]研究(2.2 mm 透明角膜切口, 弧形切口深度: 80% 角膜厚度)中, 角膜前表面的 SIA 为(0.71 ± 0.73)D, 角膜后表面的 SIA 为(0.12 ± 0.07)D, 总角膜的 SIA 为(0.74 ± 0.32)D。弧形切口未穿透角膜后弹力层不影响 PA, 而透明角膜切口切穿角膜全层, 所以在角膜最大屈光力轴方向设置单一或一对透明角膜切口矫正术前已存在的散光时, 角膜切口的设置及 SIA 的计算也应考虑角膜后表面因素。

2.3.2 PA 与 Toric IOL Toric IOL 是将散光矫正与人工晶状体的球镜度数相结合的一种新型屈光性人工晶状体, 通过在线计算器输入角膜屈光力 K1、K2 和轴向、切口位置、切口诱导散光值和人工晶状体球镜度数, 确定 Toric IOL 的柱镜度数和轴位^[31]。在裂隙光扫描地形图、Scheimpflug 照相技术发展以前计算 Toric IOL 时未将角膜后表面散光考虑在内, 但是在 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可以获得最佳的矫正效果。有研究报道植入 Toric IOL 白内障手术后主觉验光散光在(-0.72 ± 0.43) ~ (-1.03 ± 0.79)D 之间^[32-33], 这表明忽略 PA 计算 Toric IOL 的方法不够精准。

Reitblat 等^[34]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, 结果显示根据前角膜散光计算植入 Toric IOL 后的

残余散光(0.47 D)显著大于其他 4 种考虑角膜后表面散光计算植入 Toric IOL 后的残余散光。

Zhang 等^[35]研究显示分别用角膜曲率计法(IOL Master)和角膜总屈光力法(Galilei dual rotating camera Scheimpflug-Placido tomographer)计算 Toric IOL 柱镜度数和轴向, 根据角膜曲率计法计算并植入 Toric IOL 后, WTR 中有 59% 矫正, 36% 过矫, 5% 欠矫。ATR 中 33% 矫正, 0% 过矫, 67% 欠矫, 这种明显的偏倚在角膜总屈光力法中没有出现。Koch 等^[16]提出植入 Toric IOL 矫正 CA, 忽略 PA 会过矫 WTR, 欠矫 ATR。

综上所述, 目前白内障手术已向屈光性手术发展, 患者对术后视觉质量的要求越来越高。CA 是 AA 和 PA 共同组成的, 因此在手术同时需要矫正的散光也应该是 AA、PA 的大小及轴位的矢量和。忽略 PA 会造成 TA 的大小及轴位的错误估计, 从而会影响患者术后视觉质量。因此在屈光性白内障手术中需考虑 PA 的影响以达到更好的手术效果。

参考文献

- [1] KOCH DD, ALI SF, WEIKERT MP, JENKINS R, WANG L. Contribution of posterior corneal astigmatism to total corneal astigmatism[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2012, 38(12): 2080-2087.
- [2] ZHANG DN, ZHANG H, TIAN F, ZHANG L. Effects of posterior corneal astigmatism on total corneal astigmatism in age-related cataract[J]. *Rec Adv Ophthalmol*, 2015, 35(7): 652-655.
张蝶念, 张红, 田芳, 张磊. 老年性白内障患者中角膜后表面散光对总角膜散光的影响[J]. 眼科新进展, 2015, 35(7): 652-655.
- [3] SAVINI G, VERSACI F, VESTRI G, DUCOLI P, NAESER K. Inference of posterior corneal astigmatism on total corneal astigmatism in eyes with moderate to high astigmatism[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2014, 40(10): 1645-1653.
- [4] LIU XL. The research of posterior corneal astigmatism in the patients with cataract[D]. Shijiazhuang: Hebei medical university, 2013, 6-7.
刘新玲. 白内障患者角膜后表面散光相关研究[D]. 石家庄: 河北医科大学, 2013, 6-7.
- [5] XUE C. Clinical study in morphology of corneal flap and changes of posterior corneal elevation after femtosecond-laser assisted LASIK[D]. Tianjin: Tianjin medical university, 2012, 29.
薛超. 飞秒激光 LASIK 角膜瓣形态及术后角膜后表面高度变化的临床研究[D]. 天津: 天津医科大学, 2012, 29.
- [6] WANG HJ, LI J, LIU L, LI XY, LI DP, WANG H. Comparison of corneal topography measurement with two different instruments[J]. *J Clin Ophthalmol*, 2013, 21(3): 260-262.
王虎杰, 栗静, 刘磊, 李新宇, 黎冬平, 王恒. 两种仪器测量近视患者角膜地形图的对比研究[J]. 临床眼科杂志, 2013, 21(3): 260-262.
- [7] MEYER JJ, GOKUL A, VELLARA HR, PRIME Z, MCGHEE CN. Repeatability and agreement of Orbscan II, Pentacam HR, and Galilei tomography systems in corneas with keratoconus[J]. *Am J Ophthalmol*, 2017, 17: 122-128.
- [8] MILLA M, PINERO DP, AMPARO F, ALIO JL. Pachymetric measurements with a new Scheimpflug photography-based system Intraobserver repeatability and agreement with optical coherence tomography pachymetry[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2011, 37(2): 310-316.
- [9] LI BZ, LIANG C. Comparison and evaluation of four different techniques of keratometric measurements[J]. *Chin J Pract Ophthalmol*, 2014, 32(4): 450-455.
李炳震, 梁晨. 冬雪川, 孙岩秀, 郝燕生. 四种不同方法测量角膜

- 曲率比较研究[J]. 中国实用眼科杂志, 2014, 32(4): 450-455.
- [10] NASSER CK, SINGER R, BARKANA Y, ZADOK D, AVNI I, GOLDICH Y. Repeatability of the sirius imaging system and agreement with the pentacam HR[J]. *Journal of Refractive Surgery*, 2012, 28(7): 493-497.
- [11] QIAN NN, YU T. Consistency of sirius and auto-keratometer in measuring corneal curvature[J]. *J Xinxiang Med Univ*, 2015, 32(8): 744-748.
钱娜娜, 余腾. Sirius与自动角膜曲率仪测量角膜曲率的一致性分析[J]. 新乡医学院学报, 2015, 32(8): 744-748.
- [12] LANZA M, IACCARINO S, CENNAMO M, LANZA A, COEN G. New scheimpflug camera device in measuring corneal power changes after myopic laser refractive surgery[J]. *Contact Lens & Anterior Eye*, 2015, 38(2): 115-119.
- [13] MASOUD M, LIVNY E, BAHAR I. Repeatability and intrasession reproducibility obtained by the Sirius anterior segment analysis system[J]. *Eye Contact Lens*, 2015, 41(2): 107-110.
- [14] MENASSA N, KAUFMANN C, GOGGIN M, JOB OM, BACHMANN LM, THIEL MA. Comparison and reproducibility of corneal thickness and curvature readings obtained by the Galilei and the Orbscan II analysis systems[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2008, 34(10): 1742-1747.
- [15] HUA YJ, HUANG JH, WANG QM. Clinical meaning of corneal thickness and progress of corneal pachymetry[J]. *Int Eye Sci*, 2011, 11(8): 1376-1378.
华焱军, 黄锦海, 王勤美. 角膜厚度的临床意义及测量方法进展[J]. 国际眼科杂志, 2011, 11(8): 1376-1378.
- [16] KOCH DD, JENKINS RB, WEIKERT MP, YEU E, WANG L. Correcting astigmatism with toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2013, 39(12): 1803-1809.
- [17] MARTINEZ-ALBERT N, ESTEVE-TABOADA JJ, MONTESMICO R. Repeatability of whole-cornea measurements using an anterior segment imaging device based on OCT and Placido-disk[J]. *Expert Rev Med Devices*, 2017, 14(2): 169-175.
- [18] LIU YC, KONSTANTOPOULOS A, RIAU AK, BHAYANI R, LWIN NC, TEO EP, et al. Repeatability and reproducibility of corneal biometric measurements using the visante Omni and a rabbit experimental model of Post-Surgical corneal ectasia[J]. *Transl Vis Sci Technol*, 2015, 4(2): 169-175.
- [19] READ SA, VINCENT SJ, COLLINS MJ. The visual and functional impacts of astigmatism and its clinical management[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2014, 34(3): 267-294.
- [20] NEMETH G, BERTA A, SZALAI E, HASSAN Z, MODIS LJ. Analysis of surgically induced astigmatism on the posterior surface of the cornea[J]. *J Refract Surg*, 2014, 30(9): 604-608.
- [21] MIYAKE T, SHIMIZU K, KAMIYA K. Distribution of posterior corneal astigmatism according to axis orientation of anterior corneal astigmatism[J]. *PLoS One*, 2015, 10(1): e0117194.
- [22] JD HD, LIOU SW, TSAI RJ, TSAI CY. Effects of aging on anterior and posterior corneal astigmatism[J]. *Cornea*, 2010, 29(6): 632-637.
- [23] DUBBELMAN M, SICAM V, VAN DER HEIJDE GL. The shape of the anterior and posterior surface of the aging human cornea[J]. *Vision Res*, 2006, 46(6/7): 993-1001.
- [24] JD HD, TSAI CY, LIOU SW. Accuracy of corneal astigmatism estimation by neglecting the posterior corneal surface measurement[J]. *Am J Ophthalmol*, 2009, 147(5): 788-795.
- [25] HOLLADAY JT, CRAVY TV, KOCH DD. Calculating the surgically induced refractive change following ocular surgery[J]. *J Cataract Refract Surg*, 1992, 18(5): 429-443.
- [26] EYDELMAN MB, DRUM B, HOLLADAY J, HILMANTEL G, KEZIRIAN G, DURRIE D, et al. Standardized analyses of correction of astigmatism by laser systems that reshape the cornea[J]. *J Refract Surg*, 2006, 22(1): 81-95.
- [27] EOM Y, KANG SY, KIM HM, SONG JS. The effect of posterior corneal flat meridian and astigmatism amount on the total corneal astigmatism estimated from anterior corneal measurements[J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2014, 252(11): 1769-1777.
- [28] KANG ZL. Corneal astigmatism and optical quality after phacoemulsification and multifocal intraocular lens implantation: single versus double clear corneal incisions[J]. *J Clin Ophthalmol*, 2013, 21(4): 289-294.
康震雷. 比较单侧及双侧透明角膜切口在白内障超声乳化吸除联合多焦点人工晶状体植入术后的角膜散光及视觉质量[J]. 临床眼科杂志, 2013, 21(4): 289-294.
- [29] CHENG LS, TSAI CY, TSAI RJ, LIOU SW, HO JD. Estimation accuracy of surgically induced astigmatism on the cornea when neglecting the posterior corneal surface measurement[J]. *Acta Ophthalmol*, 2011, 89(5): 417-422.
- [30] LOEFFLER F, BOEHM M, HERZOG M, PETERMANN K, KOHNEN T. Tomographic analysis of anterior and posterior and total corneal refractive power changes after femtosecond Laser-Assisted keratotomy[J]. *Am J Ophthalmol*, 2017, 180(17): 102-109.
- [31] CHEN X, YU JC. Research progress in the method of treating astigmatism at the time of cataract surgery[J]. *Int Eye Sci*, 2015, 15(6): 993-996.
陈星, 于建春. 白内障手术同时矫正散光的方法研究进展[J]. 国际眼科杂志, 2015, 15(6): 993-996.
- [32] SUN XY, VICARY D, MONTGOMERY P, GRIFFITHS M. Toric intracorneal lenses for correcting astigmatism in 130 eyes[J]. *Ophthalmology*, 2000, 107(9): 1776-1781.
- [33] MENDICUTE J, IRIGOYEN C, ARAMBERRI JA, MONTESMICO R. Foldable toric intraocular lens for astigmatism correction in cataract patients[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2008, 34(4): 601-607.
- [34] REITBLAT O, LEVY A, KLEINMANN G, ABULAFIA A, ASSIA EI. 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.
- [35] ZHANG LJ, SY ME, MAI H, YU F, HAMILTON DR. Effect of posterior corneal astigmatism on refractive outcomes after toric intraocular lens implantation[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2015, 41(1): 84-89.