

白内障患者角膜后表面散光评估方法及临床意义

程洪, 胡柯*

重庆医科大学附属第一医院眼科, 重庆

收稿日期: 2023年4月11日; 录用日期: 2023年5月6日; 发布日期: 2023年5月15日

摘要

随着白内障手术进入屈光手术时代, 充分评估角膜散光, 尽量减少可能的测量误差, 对于术后达到理想屈光状态至关重要。术前对角膜散光进行准确测量是白内障手术的关键环节。过去, 由于对角膜后表面散光(PCA)的认识不足和检查仪器的限制, 人们低估了PCA对整个角膜散光的影响。目前, 利用各种不同的仪器, 可以直接或间接地获得角膜后表面的信息。本文从相关测量仪器、临床特点以及与在白内障手术中的临床意义3个方面对PCA进行综述。

关键词

白内障手术, 角膜散光, 角膜后表面散光

Assessment and Clinical Characteristics of Posterior Corneal Astigmatism in the Patients with Cataract

Hong Cheng, Ke Hu*

Department of Ophthalmology, First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

Received: Apr. 11th, 2023; accepted: May 6th, 2023; published: May 15th, 2023

Abstract

With cataract surgery evolved from visual restoration surgery to refractive surgery, adequately and correctly assessing corneal astigmatism is critical to achieving the ideal refractive state after

*通讯作者。

surgery. Accurate measurement of corneal astigmatism is a necessary part of cataract surgery. The effect of posterior corneal astigmatism (PCA) on overall corneal astigmatism was underestimated due to a lack of knowledge of PCA and limitations of the examination instrumentation. Currently, information on the posterior corneal surface can be collected directly or indirectly using different principles. This article describes the measurement methods and clinical characteristics of PCA to improve the understanding of these factors and bring attention to them in clinical practice.

Keywords

Cataract Surgery, Corneal Astigmatism, Posterior Corneal Astigmatism

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着白内障手术技术日新月异的发展, 白内障术后视觉质量也得到了不断的提升。据报道, 约有20%~30%的白内障患者合并角膜散光 > 1.25 D, 而角膜散光 > 1.00 D 会严重影响患者术后的视觉质量[1], 引起视物模糊、复视、光晕、眩光等症状, 因此术后残留散光是影响患者术后视觉质量的重要因素之一。散光矫正的方法包括配戴眼镜、角膜接触镜以及做角膜松解切口等, 目前认为, 在白内障手术中植入散光矫正型人工晶体是矫正角膜散光的有效方法[2]。在白内障术前规划中, 准确评估应矫正的角膜散光, 尽量减少可能出现的测量误差, 这对术后达到理想屈光状态至关重要[3]。Goto 等认为患者术后出现屈光误差的重要原因之一在于术前角膜散光不精准的测量[4]。

角膜前表面散光(Anterior corneal astigmatism, ACA)及角膜后表面散光(Posterior corneal astigmatism, PCA)共同组成全角膜散光(Total corneal astigmatism, TCA)。既往由于研究方法的限制, 且角膜的屈光指数(1.376)与房水(1.336)之间的差异很小, 所以对散光的关注多集中在角膜前表面, PCA 曾一度被认为是可以忽略不计的。临床上发现, 在白内障手术后, 即使散光矫正型人工晶体未出现明显的偏心和倾斜[5], 患者术眼验光数据也与测量的前表面散光结果不一致[6]。自从2013年 Koch 等、报告了角膜后表面散光对全角膜散光的影响后, PCA 在屈光性白内障手术中的作用越来越受到眼科医生的关注。

随着检查技术设备的不断更新换代, 我们可以通过仪器直接或者间接获得角膜后表面信息[7], 目前, 后角膜曲率可以通过浦肯野图像, 扫描狭缝成像, Scheimpflug 成像和光学相干断层扫描等不同的技术组合来测量。使用这些工具的同时, 利用 Gaussian 光学透镜公式[8] (高斯成像公式: $1/u + 1/v = 1/f$, 即物距的倒数加上像距的倒数等于焦距的倒数)以及光线追踪原理, 通过测量角膜的前后曲率和角膜的厚度来确定总角膜屈光力。总体角膜散光由仪器测量的 ACA 和一个特定的修正屈光指数(通常为 1.3375)计算所得, 称为模拟角膜散光[9]。

本文旨在介绍 PCA 在白内障手术中的临床特点、测量方法和临床意义, 以便眼科医生在临床实践中加以利用。

2. PCA 测量的技术设备

2.1. 不同仪器

传统使用角膜曲率计或者部分光学相干生物测量仪器等对于角膜后表面散光进行测量, 通过角膜前

表面半径及不同的屈光指数(通常为 1.3375)来粗略计算,这样的测量方式不能直接对角膜后表面的信息进行采集。1995 年临床上第一次出现可以直接获取角膜后表面信息的仪器设备裂隙光扫描系统[10],如 Orbscan 和 Orbscan II。设备结合 Placido 盘和三维裂隙扫描技术,其光学装置从颞侧和鼻侧发射 20 条裂隙光束,以 45°角投射并扫描角膜,收集从角膜反射的图像信息并分析三角关系,一共得到 40 个裂隙切片面,其中每个切面有 240 个数据点,最终获得 9600 个数据点[11]。最终制作出角膜前表面高度图、角膜后表面高度图、角膜前表面屈光地形图及全角膜厚度图。

而后,根据 Scheimpflug 原理设计的 Pentacam、Galilei 和 Sirius 等设备开始在临床应用,Pentacam HR 是基于 Scheimpflug 成像原理对眼球进行旋转扫描的三维眼前节分析诊断系统[12],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,从中得出角膜曲率和屈光力[13],所得数据与参考点轴向和测量方向无关,因此得到的数据更加精准且重复性更高。

Galilei 和 Sirius 则都是分别将 Placido 盘与双旋转或单旋转 Scheimpflug 摄像机相结合的设备。两个设备前表面曲率均由 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,Sirius 旋转 180°扫描眼球,得到 25 张图像和 1 张 Placido 环像,最终获得 2500 个有效数据点[14],Galilei 则运用两个 Scheimpflug 摄像机同时旋转 180°扫描眼球捕获 122,000 个数据点。

目前有些报道彩色 LED 地形测量仪(Cassini I-Optics, Den Haag, The Netherlands)也可以应用于角膜后表面散光的测量,Cassini 由 679 个红色、黄色和绿光 LED 以特定的模式排列构成,以确保光源和图像点之间的 1:1 的对应关系。使用正向光线追踪,重建角膜前表面。结合角膜前表面的信息,再借助浦肯野原理及 7 个额外的红外线 LED 来研究角膜的后表面[15]。在 91 只眼睛的研究中,Cassini 所测得角膜后表面散光的中位数为-0.35 D。

光学相干断层成像设备(OCT)是基于低相干干涉测量的原理,通过比较从眼前节反射的红外光与参考反射的时间延迟来计算和分析整体角膜信息[7]。临床常用是扫频 OCT,其优势在于直接采集两侧反射光的干涉光谱,而无需纵向扫描,再经过傅里叶变换后获取角膜信息,提高了采集速度的同时,减少了眼球运动引起的伪影、降低信噪比和提供更好的分辨率[10]。IOL-Master 700 (Carl Zeiss Meditec, Jena, Germany)是一种新型的无创光学生物测量仪,使用波长为 1050 nm 的扫频光学相干断层扫描(SS-OCT)[16]。使用角膜表面的反射光点测量角膜曲率,以及基于巩膜和虹膜图像测量瞳孔直径、视轴和白到白(WTW)等。IOL-Master 700 在一次测量采集过程中获得每个参数的多次测量,基于扫频源频域 OCT 进行轴向测量,可实 44 毫米的扫描深度和 22 微米的组织分辨率[17]。

2.2. 仪器间的对比

在以往的一些研究[18]表明基于 Scheimpflug 原理设计的 Pentacam HR 和 Galilei 与 Orbscan 相比,其一致性和可重复性更高,Scheimpflug 原理避免了角膜的非平面形状引起的对周边角膜数据捕获的困难性和不可靠性这一弊端。Pentacam HR 测量受限于角膜透明度,对于混浊的角膜无法得到精确的结果。Menassa 等报道 Galilei 和 Sirius 在 PCA 和 TCA 的评估中都具有良好的可重复性,但是针对其在圆锥角膜人群中应用的可靠性有待进一步证实。Koch 认为与 Pentacam 相比,Galilei 会低估 PCA。Stijn 等认为 Pentacam 和 Cassini 对于总角膜散光测量的准确性高于前角膜散光测量。

前节 OCT 技术可以大幅提升眼前节图像的分辨率和清晰程度,因此在理论上认为与 Scheimpflug 成像技术相比,前节 OCT 技术可获得更为精确的角膜前后表面信息。在一项在对 530 眼的角膜后表面散光数据测量研究[19]中,对比了扫频 OCT 及双旋转 Scheimpflug 成像系统(DSA),DSA 测得的平均角膜后表面散光值为-0.29 D,明显高于扫频 OCT 所得平均值-0.19 D,两者有着临床上的显著差异。与 DSA 相比,扫频 OCT 所测得的后部角膜散光值较低。LaHood 在 2018 年首次报道了 IOLMaster 700 对 1098 例患者

进行了角膜散光测量, 结果表明 IOLMaster700 所测得角膜后部散光的平均幅度为 0.24 D, 略低于其他设备的研究数据。

目前, 还没有公认的黄金标准来比较后部角膜散光的测量, 因此很难验证任何新设备的准确性。在目前阶段, 最好的办法是比较不同仪器(见表 1)所测得的数值以及其相关性。因此, 在术前规划中, 医生有必要考虑不同仪器之间由于测量原理和测量范围的不同而产生的结果差异。

Table 1. Results of posterior corneal astigmatism measurements for different instruments

表 1. 不同仪器的 PCA 测量结果

研究者	年份	测量仪器/测量原理	测量值(D)
Dunne 等	1992	Purkinje Images	0.23 (± 0.02 , n = 40, F). 0.37 (± 0.03 , n = 40, M)
Liu 等	1999	Orbscan	0.37 (± 0.18 , n = 94) 测量直径 3.0 mm 0.52 (± 0.25 , n = 94) 测量直径 5.0 mm 1.04 (± 0.20 , n = 94) 测量直径 7.0 mm
Dubbleman 等	2006	Scheimpflug imaging	0.31 (n = 114)
Rydström 等	2016	Pentacam HR	0.26 (± 0.15 , n = 402)
LaHood 等	2018	IOLMaster 700	0.24 (± 0.15 , n = 1098)
Cui 等	2019	Cassini Pentacam HR	0.35 (0.04~0.89, n = 117) 0.29 (0.00~0.80, n = 117)
Li 等	2019	Sirius	0.31 (± 0.17 , 0.05~1.09, n = 121)
Wylęgała 等	2020	Galilei G6 Casia 2 Revo NX	0.44 (n = 94) 测量直径 4.0 mm 0.52 (n = 94) 测量直径 3.2 mm 0.05 (n = 94) 测量直径 3.0 mm
Mendes 等	2020	Cassini	0.37 (± 0.24 , n = 400)

3. PCA 的临床特征

3.1. PCA 基本临床特征

蒋元丰等[10]人对于既往报道中纳入眼数大于 100 眼的研究所得结果进行统计分析, PCA 平均值约为 0.30 D, 其中有约占比 6%~15% 的人群超过 0.50 D, Koch 等认为超过 0.50 D 约占比 9%, PCA 的轴位绝大多数为逆规, 这与之前的研究结果相似。Jiang [9]的研究发现年轻患者平均 PCA 高于老年患者($r^2 = 0.045$, $P < 0.001$), 认为 PCA 随年龄增长缓慢且轻度的向顺规飘移趋势。Naeser 等[20]在对不同年龄组的统计研究中发现, PCA 在不同性别间差异没有统计学意义。在对于中国地区 1979 只眼的相关与回归分析中发现 PCA 与角膜后表面低阶像差(LOA)之间存在正相关($r = 0.172$, $P < 0.001$) [21], 与角膜后表面高阶像差(HOA)仅呈弱正相关($r = 0.033$, $P < 0.001$), 由于 HOA 和 LOA 均为评价视觉质量的重要客观指标, 所以忽略 PCA 会对白内障术后视觉质量产生较大影响。对比高度近视人群与普通人群的散光分布, PCA 的平均大小以及轴位分布不具有统计学意义。对于 PCA 与测量角膜直径的相关性研究, Liu 和 Wylęgała [22]分别使用 Orbscan 及 Galilei 对于不同直径的角膜进行测量, 认为 PCA 不同测量直径中具有统计学意义。而 Fredriksson 等[23]认为 PCA 在分别以瞳孔为中心和以角膜顶点为中心的测量之间具有统计学差异。

3.2. PCA 与 TCA、ACA

景清荷等[21]研究认为 ACA 以顺规散光为主, 而 PCA 和 TCA 中以逆规散光为主。ACA 随着年龄增长, 从顺规散光逐渐向逆规逆转, 而绝大多数人群 PCA 呈逆规散光, 因此 PCA 对 ACA 多数起到一定的

补偿作用, 进而降低 TCA, 随着年龄的增长可能会转变成叠加作用。与之相关, 有研究[23]表明年龄小于 60 岁的患者 TCA 主要为顺规散光(WTR), 而年龄大于 60 岁的患者 TCA 主要为逆规散光(ATR)。在 ACA 轴位为顺规时(WTR), PCA 与其呈强正相关; ACA 轴位为顺规时(ATR), PCA 与其无相关性; 则 ACA 为斜轴时, 两者呈弱相关性。推测角膜前后表面形态一致性(顺规眼最高, 逆规眼最低)越高, ACA 与 PCA 的相关性就越强。对于 PCA 的忽略或者不准确测量, 可能会导致一些人群中 TCA 的估计出现显著偏差。基于 PCA 以上临床特征, 考虑若 ACA 为顺规散光, 那么 TCA 是减低的; 若 ACA 为逆规散光, 那么 TCA 呈增加趋势。在一项对于 3769 只眼的研究中发现, TCA 的两个年龄转折点是 36 岁和 69 岁。从 18 岁到 35 岁, TCA 向逆规则散光的平均变化为 0.13 D/10 年, 从 36 岁到 68 岁为 0.45 D/10 年, 69 岁以后这种变化趋势下降, 这种变化主要考虑与 ACA 相关。

4. PCA 在白内障手术中的临床意义

4.1. PCA 与散光型人工晶体

随着进入屈光性白内障手术时代, 现在普遍认为对白内障合并散光的患者而言, 植入散光矫正型人工晶体能显著降低总散光程度, 从而有效改善患者术后视觉质量。术前对于角膜散光情况的评估及散光人工晶体的公式计算对于提高术后视觉质量至关重要。散光人工晶体计算公式综合预测的晶状体位置、人工晶体的球面功率以及角膜数据等数据来得出人工晶体度数, 越来越多研究表明[24]不考虑 PCA 或仅依靠角膜前表面散光来估计整体角膜散光情况, 会造成散光和轴位的偏差, 从而影响后续白内障手术的规划和效果, 最终导致患者术后视觉质量的下降。

目前临床上使用的散光型 IOL 计算公式均将 PCA 纳入考虑范畴, Barrett Toric 在线计算公式分别将仪器直接测得的后表面散光数据以及常规预测后表面散光数据进行计算, 得到不同的结果以供比较, 而不同人工晶体厂家推荐使用的在线散光型 IOL 计算公式(例如 Zeiss Toric 在线计算公式等)并未采用实际测得的后表面散光数据进行计算, 而是直接默认角膜后表面散光为逆规散光。Nakano 等[25]研究认为在计算散光人工晶体度数时加入后角膜散光并不能改善斜轴眼的预测结果, 与之相反的是, 在 WTR 眼或者 ATR 眼中考虑真实测量的 PCA 则可以改善术后的屈光效果。临床工作中根据术前角膜散光及选择散光晶体的不同, 运用多公式计算以及对比是必要的。

4.2. PCA 与术源性散光

术源性散光(surgically induced astigmatism, SIA)是导致白内障手术后屈光误差及视觉质量下降的重要因素之一, 对于屈光性白内障手术影响更甚[26]。未穿透角膜后弹力层的切口不会影响 PCA, 所以术中在角膜陡峭子午线上设置单一或一对透明角膜切口可以矫正角膜散光。手术切口的大小、位置和结构均是 SIA 的影响因素, 随着对于 SIA 的不断深入研究, 发现除了关注 SIA 对 ACA 的影响之外, PCA 同样会对屈光性白内障手术 SIA 的计算也会产生干扰, 从而影响屈光性 IOL 植入后的视觉效果[26]。Li 等[27]认为 1.8 mm 的陡峭轴透明角膜切口所带来的 SIA 可显著减少 ACA, 同时增加 PCA, 推断手术切口末端至角膜中心的距离越短, 术后后角膜散光(Surgically induced astigmatism on the posterior cornea, P-SIA)可能越大。在 He 等[28]对 92 只眼睛的研究(2.2 mm 透明角膜切口)中, 角膜前表面的 SIA 为 (0.69 ± 0.41) D, 角膜后表面的 SIA 为 (0.23 ± 0.14) D, 同时证明较长的透明角膜切口合并较小的切口角度会导致更大的角膜前后表面 SIA。刘文洁等[29]使用 Pentacam 对于 97 例白内障患者术前评估时候发现 PCA 与模拟角膜散光间具有正相关性($r = 0.225, P = 0.027$), 认为在术前评估需矫正的 TCA 时, 需要考虑到 PCA 的影响, 若 PCA 为顺规散光, 实际需矫正的散光应大于测量值, 而 PCA 为逆规散光时, 实际应矫正的散光应小于测量值。在屈光性白内障术前规划时, 需要将 PCA 纳入到角膜切口设置及 SIA 的计算的考虑

范围中。

5. 总结与展望

随着白内障患者对于术后视觉质量的期望值越来越高, 我们需要不断发展更新屈光性白内障手术理念。多项研究[30] [31]发现忽略 PCA 会导致术后残余散光增大, 使得散光矫正预测性降低, 所以对于 PCA 的精准评估及全角膜散光的综合考虑是术前规划的重中之重。随着技术的发展, 目前有多种仪器能够较为准确地测量 PCA, 但其一致性、稳定性和可重复性有待进一步研究。熟悉 PCA 的测量方式、分布规律和临床特点, 对合理规划白内障手术及晶体度数选择具有重要意义。

参考文献

- [1] 魏玮, 李志国, 诸科璇. 散光多焦点人工晶状体联合植入的临床观察[J]. 浙江医学, 2020, 42(12): 1290-1293.
- [2] Rampat, R. and Gatineau, D. (2021) Multifocal and Extended Depth-of-Focus Intraocular Lenses in 2020. *Ophthalmology*, **128**, e164-e185. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.09.026>
- [3] Kessel, L., Andresen, J., Tendal, B., et al. (2016) Toric Intraocular Lenses in the Correction of Astigmatism during Cataract Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ophthalmology*, **123**, 275-286. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2015.10.002>
- [4] Goto, S. and Maeda, N. (2021) Corneal Topography for Intraocular Lens Selection in Refractive Cataract Surgery. *Ophthalmology*, **128**, e142-e152. <https://doi.org/10.1016/j.ophtha.2020.11.016>
- [5] 董静, 张素华, 王晓刚. 角膜后表面散光对散光型人工晶状体计算的重要性[J]. 眼科学报, 2021, 36(2): 167-175.
- [6] Lu, L.W., Rocha-de-Lossada, C., Rachwani-Anil, R., Flikier, S. and Flikier, D. (2021) The Role of Posterior Corneal Power in 21st Century Biometry: A Review. *Journal Français d'Ophthalmologie*, **44**, 1052-1058. <https://doi.org/10.1016/j.jfo.2020.11.031>
- [7] 廖珊, 刘可. 白内障术前角膜散光检查的新进展[J]. 国际眼科杂志, 2022, 22(7): 1123-1126.
- [8] Langenbucher, A., Schrecker, J., Cayless, A., et al. (2022) Calculation of Equivalent and Toric Power in AddOn Lenses Based on a Monte Carlo Simulation. *Ophthalmic Research*, **65**, 300-309. <https://doi.org/10.1159/000521702>
- [9] Jiang, Y., Qin, Y., Bu, S., et al. (2021) Distribution and Internal Correlations of Corneal Astigmatism in Cataract Patients. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 11514. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-91028-2>
- [10] 蒋元丰, 秦鲁宁, 张红, 田芳. 角膜后表面散光的评估方法及临床特征的研究进展[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2021, 23(11): 875-880.
- [11] 李盼盼, 吴坚, 周婧, 等. 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.
- [12] Kreps, E.O., Jimenez-Garcia, M., Issarti, I., et al. (2020) Repeatability of the Pentacam HR in Various Grades of Keratoconus. *American Journal of Ophthalmology*, **219**, 154-162. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.06.013>
- [13] 李盼盼, 袁幽, 黄黎黎, 等. OPD-Scan III 测量角膜屈光力和散光的可重复性及其与 Pentacam 检测结果的一致性[J]. 中华实验眼科杂志, 2021, 39(3): 238-242.
- [14] De la Parra-Colín, P., Garza-León, M. and Barrientos-Gutierrez, T. (2014) Repeatability and Comparability of Anterior Segment Biometry Obtained by the Sirius and the Pentacam Analyzers. *International Ophthalmology*, **34**, 27-33. <https://doi.org/10.1007/s10792-013-9780-0>
- [15] Mendes, J., Ribeiro, F.J. and Ferreira, T.B. (2021) Evaluation of Posterior and Total Corneal Astigmatism with Colour-LED Topography. *Eye*, **35**, 2585-2593. <https://doi.org/10.1038/s41433-020-01278-z>
- [16] Shi, Q., Wang, G.-Y., Cheng, Y.-H. and Pei, C. (2021) Comparison of IOL-Master 700 and IOL-Master 500 Biometers in Ocular Biological Parameters of Adolescents. *International Journal of Ophthalmology*, **14**, 1013-1017. <https://doi.org/10.18240/ijo.2021.07.08>
- [17] Leighton, R.E., Breslin, K.M., Saunders, K.J. and McCullough, S.J. (2022) An Evaluation of the IOLMaster 700 and Its Agreement with the IOLMaster v3 in Children. *Ophthalmic and Physiological Optics*, **42**, 48-58. <https://doi.org/10.1111/opo.12918>
- [18] Turner, J.M., Purslow, C. and Murphy, P.J. (2022) Comparison of Javal-Schiøtz Keratometer, Orbscan IIz and Pentacam Topographers in Evaluating Anterior Corneal Topography. *Clinical and Experimental Optometry*. <https://doi.org/10.1080/08164622.2022.2067470>
- [19] Wang, L., Cao, D., Vilar, C. and Koch, D.D. (2020) Posterior and Total Corneal Astigmatism Measured with Optical

- Coherence Tomography-Based Biometer and Dual Scheimpflug Analyzer. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **46**, 1652-1658. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000327>
- [20] Næser, K., Savini, G. and Bregnhøj, J.F. (2018) Age-Related Changes in with-the-Rule and Oblique Corneal Astigmatism. *Acta Ophthalmologica*, **96**, 600-606. <https://doi.org/10.1111/aos.13683>
- [21] 景清荷, 唐雅婷, 钱东瑾, 等. 高度近视并发白内障患者角膜后表面散光及像差特征分析[J]. 中华实验眼科杂志, 2018, 36(5): 360-367.
- [22] Wylęgała, A., Mazur, R., Bolek, B. and Wylęgała, E. (2020) Reproducibility, and Repeatability of Corneal Topography Measured by Revo NX, Galilei G6 and Casia 2 in Normal Eyes. *PLOS ONE*, **15**, e230589. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0230589>
- [23] Fredriksson, A. and Behndig, A. (2017) Measurement Centration and Zone Diameter in Anterior, Posterior and Total Corneal Astigmatism in Keratoconus. *Acta Ophthalmologica*, **95**, 826-833. <https://doi.org/10.1111/aos.13517>
- [24] 梁景黎, 张红, 田芳, 等. 角膜后表面散光对 Toric 人工晶状体矫正效果的影响[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2017, 19(2): 81-86.
- [25] Nakano, S., Iida, M., Hasegawa, Y., *et al.* (2021) Influence of Posterior Corneal Astigmatism on the Outcomes of Toric Intraocular Lens Implantation in Eyes with Oblique Astigmatism. *Japanese Journal of Ophthalmology*, **65**, 288-294. <https://doi.org/10.1007/s10384-021-00812-0>
- [26] 李晨, 曹奕虹. 两种不同角膜缘切口对白内障超声乳化吸除术后角膜源性散光的影响对比[J]. 临床眼科杂志, 2020, 28(6): 522-527.
- [27] Li, X., Chen, X., He, S. and Xu, W. (2020) Effect of 1.8-mm Steep-Axis Clear Corneal Incision on the Posterior Corneal Astigmatism in Candidates for Toric IOL Implantation. *BMC Ophthalmology*, **20**, Article No. 187. <https://doi.org/10.1186/s12886-020-01456-3>
- [28] He, Q., Huang, J., He, X., *et al.* (2021) Effect of Corneal Incision Features on Anterior and Posterior Corneal Astigmatism and Higher-Order Aberrations after Cataract Surgery. *Acta Ophthalmologica*, **99**, e1027-e1040. <https://doi.org/10.1111/aos.14778>
- [29] 刘文洁, 刘杰为, 王琪, 等. 老年性白内障患者角膜后表面散光对总角膜散光的影响[J]. 中国实用眼科杂志, 2018, 36(2): 149-151, 128.
- [30] Lüdeke, I., Gonnermann, J., Jørgensen, J., *et al.* (2019) Refractive Outcomes of Femtosecond Laser-Assisted Secondary Arcuate Incisions in Patients with Residual Refractive Astigmatism After Trifocal Intraocular Lens Implantations. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*, **45**, 28-34. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2018.08.024>
- [31] Gupta, S.N, Goel, R. and Kumar, S. (2022) Factors Affecting Surgically Induced Astigmatism in Manual Small-Incision Cataract Surgery. *Indian Journal of Ophthalmology*, **70**, 3779-3784. https://doi.org/10.4103/ijo.IJO_1034_22