

白内障术前角膜散光检查的新进展

廖珊^{1,2}, 刘可¹

引用: 廖珊, 刘可. 白内障术前角膜散光检查的新进展. 国际眼科杂志 2022;22(7):1123-1126

作者单位:¹(410011) 中国湖南省长沙市, 中南大学湘雅二医院眼科;²(410015) 中国湖南省长沙市, 长沙爱尔眼科医院

作者简介: 廖珊, 毕业于中南大学湘雅医学院, 本科, 主治医师, 研究方向: 白内障。

通讯作者: 刘可, 毕业于中南大学湘雅医学院, 博士研究生, 副主任医师, 研究方向: 白内障、青光眼. liukelc@csu.edu.cn

收稿日期: 2022-01-24 修回日期: 2022-05-30

摘要

随着人们生活水平的不断提高和生活方式的多样化发展, 获得更好的视觉质量已成为现阶段手术治疗白内障的新目标。角膜散光直接影响白内障手术功能性人工晶状体 (IOL) 种类的选择和患者术后视功能的恢复, 角膜散光检查的种类不再局限于单一的散光数值, 而是细分成角膜前表面散光、后表面散光、全角膜散光以及高阶角膜散光等, 相应的检查设备及技术也有较多更新。临床医生可根据不同设备特点及应用范围, 选择适合的检查设备评估术前角膜散光情况, 为制定更精准的屈光性白内障手术规划提供参考, 对散光型 IOL 的定位、度数计算以及多焦点类 IOL 的选择有重要意义。本文将对白内障术前角膜散光检查种类和检查设备新进展进行综述。

关键词: 白内障; 角膜散光; 角膜曲率测量仪; 角膜地形图; 屈光性白内障手术

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2022.7.11

Development of approaches to assess corneal astigmatism before cataract surgery

Shan Liao^{1,2}, Ke Liu¹

¹Department of Ophthalmology, the Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410011, Hunan Province, China; ²Aier Eye Hospital (Changsha), Changsha 410015, Hunan Province, China

Correspondence to: Ke Liu. Department of Ophthalmology, the Second Xiangya Hospital of Central South University, Changsha 410011, Hunan Province, China. liukelc@csu.edu.cn

Received: 2022-01-24 Accepted: 2022-05-30

Abstract

• With the rapidly improvement of people's living standard and diversification life style, obtaining better visual quality has become a new goal of cataract surgery.

Corneal astigmatism directly affects the selection of functional intraocular lens (IOL) in cataract surgery and the recovery of postoperative visual function. The types of corneal astigmatism are no longer limited to a single astigmatism value, but subdivided into anterior corneal astigmatism, posterior corneal astigmatism, total corneal astigmatism and corneal higher order astigmatism. The corresponding examination equipment and technology are also updated. According to the characteristics and application of different equipment, clinicians can select appropriate examination equipments to evaluate the preoperative corneal astigmatism, so as to provide reference for formulating more accurate refractive cataract surgery planning. It is important for the axis and power calculation of Toric IOL and the selection of multifocal IOL. This paper reviews the recent progress of corneal astigmatism examination before cataract surgery.

• **KEYWORDS:** cataract; corneal astigmatism; keratometry; corneal topography; refractive cataract surgery

Citation: Liao S, Liu K. Development of approaches to assess corneal astigmatism before cataract surgery. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(7):1123-1126

0 引言

现代屈光性白内障手术以获得更好的术后视觉质量作为临床追求目标, 恢复视力不再是手术的唯一目的。术前角膜散光的评估是屈光性白内障手术设计的重要环节, 有研究报道, 在 60~80 岁白内障患者中, 超过 40% 患者角膜散光 $\geq 1.0D$ ^[1], 而大于 0.50D 的角膜散光即会显著降低功能视力^[2-3]。随着近年来角膜屈光近视矫正手术的广泛开展和屈光性人工晶状体 (IOL) 的临床普及使用, 角膜的光学特性被研究得越来越深入。角膜散光不再仅仅局限于单一的一个角膜前表面散光 (anterior corneal astigmatism, ACA) 数值, 角膜后表面散光 (posterior corneal astigmatism, PCA) 以及综合角膜全层所得到的全角膜散光 (total corneal astigmatism, TCA) 对白内障术后视觉质量也有影响, 一些病例中后表面散光甚至直接决定是否可以使用散光矫正型或多焦点类 IOL 以及影响散光矫正型 IOL 的柱镜度数的选择。角膜的高阶不规则散光反映了角膜更细微的光学不规则性, 在临床中也被认识到影响白内障手术 IOL 种类的选择和术后视觉质量, 高于 0.5 μm 的角膜高阶不规则散光患者不宜植入多焦点类 IOL。角膜散光种类的细分离不开各种检查设备的更新, 由传统的只能测量角膜中央前表面散光的手动/自动角膜曲率测量仪、光学生物测量仪, 发展到能测量 PCA、TCA 和角膜高阶不规则

散光的各种角膜地形图仪器。术前对角膜散光的检查越全面精准,手术规划越合理,术后视觉质量提高越多。本文就最新的角膜各类散光认识和相应检查设备展开综述。

1 ACA

由于眼球内部的不同屈光介质存在不同的折射率,使外界的光线照射入眼球内时发生部分反射,而呈现出反射像,这些像即是 Purkinje 像。根据 Purkinje 像的大小计算出角膜前表面的曲率半径,并利用屈光指数来计算角膜屈光力 K 值,进一步得出角膜散光。传统的角膜曲率测量仪是从认识到角膜上物体的反射可以作为一种测量角膜曲率的精确方法开始,只能测量角膜前表面的曲率及散光。术前精准的测量 ACA 的大小和轴向可以个性化规划白内障手术方式进行散光处理,例如在透明角膜陡峭轴上做角膜主切口或角膜缘松解切口可以使其所在的子午线变平,并产生耦合效应,使其垂直的 90° 轴向角膜曲率变陡,从而减少术后残留的角膜散光,以求得到更优的视觉质量^[4-5]。

2 PCA

光线穿过角膜进入前房时会在角膜后表面发生另一次折射,后表面的弧形结构决定了此平面也会有散光的产生,随着检查设备的技术升级,PCA 得以直接测量出来。有研究表明,随着患者年龄的增加,ACA 的轴向由顺规散光逐渐向逆规散光转变,而 PCA 变化小,几乎始终保持逆规散光,因此导致 PCA 对角膜总散光的抵消作用随年龄增大而逐渐减小,随着 ACA 的逆规漂移,将转变为叠加作用^[6-7]。Jin 等^[7]对患者 164 例 211 眼的散光情况进行分析,探讨 PCA 对角膜总散光的影响,发现忽略 PCA 测量得到的 TCA 值,在逆规散光眼中被低估 16%,在顺规散光眼中被高估 9%,所以应重视 PCA,尤其是角膜前表面逆规散光较高者。而既往研究得到平均 PCA 为 -0.26 ~ -0.78D^[8]。由此可见对 TCA 的评估只根据 ACA 进行,而忽视 PCA,可能会影响白内障手术时对角膜散光矫正的准确性。Cheng 等^[9]的一项研究显示忽略 PCA 导致的差异大于 0.50D,表明可能会导致部分白内障手术后角膜散光的估计出现偏差,测量 PCA 可提高对散光程度的预测。Orbscan 角膜地形图是第一个直接采集和分析角膜后表面数据的裂隙光扫描技术设备,开启了对真实 TCA 的评估^[10]。但由于其为断面扫描,角膜高度分析是通过角膜前后表面的相对参照获得,一张图像的误差可能会导致整个角膜的三维建模误差。基于 Scheimpflug 原理的 Pentacam 和 Galilei 等设备消除了裂隙光扫描技术的弊端,利用光线追踪技术获得整个角膜屈光力和散光分布情况^[11-12]。

3 TCA

TCA 由 ACA 和 PCA 综合叠加形成。由于检查设备的局限性、缺乏理论认识和临床证据,传统的角膜曲率测量仪器,如角膜曲率测量仪、光学生物测量仪和基于 Placido 盘成像的角膜地形图仪等,不能直接采集角膜后表面的信息。在以往角膜屈光力的评估中,多采用模拟角膜散光来代替和估计真实的 TCA,通过不同原理和方法先测量得到角膜前表面曲率半径,并根据假定的屈光指数(传统标准角膜曲率指数为 1.3375)来计算出模拟角膜屈光力 SimK(Simulated K),进一步得出模拟角膜散光^[13]。

研究表明这些传统角膜曲率测量仪在临床中常常高估了总角膜屈光力^[14-15]。目前,由于实现了对角膜后表面曲率半径的直接测量,考虑了真实的前后表面曲率,总角膜屈光力引起了更多的关注,也反映了真实的角膜厚度和角膜非球面值。Visser 等^[16]发现将角膜后表面曲率纳入角膜曲率计算的结果与 SimK 显著不同。虽然早期的 Orbscan 设备可以采集和分析角膜后表面数据,但其原理是通过假设穿过角膜后表面的为平行光线,对角膜后表面的信息进行采集,并单纯的将 ACA 和 PCA 的测量结果直接做矢量叠加来得到 TCA,忽略了角膜厚度对最终结果的影响,可靠性和重复性相对较差。随着检查设备的不断迭代,直接或间接采集和分析角膜后表面信息的能力日趋精进,通过不断优化升级,提升了 PCA 和 TCA 测量的重复性和可靠性^[17]。

4 高阶不规则散光

散光是一个具有大小和方向的矢量,但在屈光性白内障手术中,单纯分析低阶散光的大小和轴向是不够的。由于光学特性,角膜的表面形态出现局部的不规则或是折射率的改变会使这部分的屈光力与全角膜的屈光力不同,产生高阶不规则散光,引起物像的畸变。在像差系统中不规则散光与高阶像差对应,即 Zernike 多项式中三阶以上像差。与包括离焦或散光在内的低阶像差相比,高阶像差不能通过球镜或柱镜来全部矫正,影响白内障术后视觉质量^[18],并且限制术中散光型 IOL(Toric IOL)和多焦类 IOL(MIOL)的使用。2019 年中国多焦点 IOL 临床应用专家共识^[19]提出,术前建议进行角膜像差分析以明确高阶像差,角膜中央直径 4mm 区域总高阶像差(Total HOA),即角膜高阶不规则散光,<0.3 μ m 的患者可推荐植入 MIOL,超出此范围的患者谨慎植入,>0.5 μ m 不建议植入 MIOL。

5 术前散光的检查方法

临床上角膜散光的常用检测方法包括自动角膜曲率计检查法和手动角膜曲率计检查法、光学测量仪检查法(如 IOL Master、OA2000 和 Lenstar 等)、角膜地形图仪检查法(如 Itrace、OPD、Orbscan、Pentacam、Galilei 等)等。各种方法测量的结果客观可靠、可重复性高,其适用范围和原理有所不同,测量结果可互相参考比较,但不可随意替换,需根据临床需求做出选择^[11,20-21]。

5.1 手动及自动角膜曲率测量仪 屈光白内障手术中角膜曲率和散光的测量是角膜曲率测量仪最重要的临床应用之一。最初在 18 世纪,为了研究调节过程中角膜曲率的变化,一种原始形式的角膜测量仪被发明出来,之后在其设计和工作原理上进行了一些修改和改进,现代角膜测量仪诞生的基础是利用光学反射的原理^[22]。手动角膜曲率测量仪测量的是角膜中心 3mm 以内的散光,根据物体在角膜上反射所产生的 Purkinje 像的大小以及形状,首先测量出角膜前表面的曲率半径,再将其转换为角膜曲率值,从而得到散光值。为了适应客观数据的数字化测量,各种自动角膜曲率计被引入临床中。自动角膜曲率测量仪是在手动角膜曲率测量仪的基础上加上电脑操作完成,过去已有研究报道多种自动角膜测量仪的可靠性,Sheppard 等^[23]研究证明无论是水平还是垂直子午线上的测量,Grand Seiko 自动角膜曲率测量仪(WAM-5500)与 Javal-Schiottz 手动角膜测量相似,具有准确性、可重复性。

也有研究证明与手动型相比,自动角膜曲率测量仪具有准确、可靠、易于使用的优点^[24]。但角膜曲率测量仪是基于一些假设参数而得出的数值,只有在角膜正常的患者中才能得出正确的测量值,而在一些角膜疾病或屈光手术后的特殊患者应用中,得到的结果可信度较低。

5.2 光学生物测量仪 IOL Master 500 部分相干光学生物测量仪是利用偏振光学相干干涉的原理(partial coherence interferometry, PCI)测量眼前节参数的新型非接触式仪器,其中评估角膜曲率功能是使用自动角膜曲率计集成到电脑中完成,它以六角形阵列投射六个映光点,并分析角膜前表面的反射,测量角膜前表面直径 2.3mm 的曲率,利用屈光指数 1.3375 计算得到散光值。Lenstar LS900 低相干光学生物测量仪是一种基于低相干光反射原理的设备,是一种双区自动角膜曲率计,它采用光学低相干技术和波长 950nm 的扫描光束,测量的是角膜前表面 1.65mm 和 2.30mm 直径范围的曲率,利用屈光指数 1.3320 计算得到角膜散光^[16]。光学相干断层成像技术(optical coherence tomography, OCT)是基于低相干干涉的原理,红外光从眼前节反射,通过比较反射之间的时间延迟来计算和分析角膜整体情况^[25]。IOL Master 700 是临床上应用的扫频 OCT,其不需要纵向扫描,直接采集两侧反射光的干涉光谱,经过傅里叶变换后得到角膜信息,因此具有更快的采集时间,可减少眼球运动引起的伪影、降低信噪比和提供更好的分辨率,其投射 18 个光点,测量角膜前表面直径 1.5、2.5、3.5mm 的曲率,进而得到散光值。LaHood 等^[26]首次报道了 IOL Master 700 对角膜后表面散光的测量,结果表明与其他设备的研究数据基本一致,但该设备对 PCA 的测量尚未纳入界面选项和输出。最近新一代 IOL Master 700 TK 将远心光学技术与扫频 OCT 成像技术相结合,实现了角膜后表面曲率及全角膜曲率的直接测量,其应用于临床的可靠性及重复性有待进一步验证。

5.3 角膜地形图 角膜地形图已经成为识别散光大小和轴向的关键工具,它可以评估整个角膜情况,并可以检测不规则散光。OPD-Scan III 视功能分析仪中以 Placido 盘成像原理测量得到的角膜地形图^[27],Placido 环总共含有 33 环、11880 个测量点蓝色测量光源,获得角膜 3mm 直径范围的角膜曲率半径、角膜散光大小以及陡峭轴的轴向。Orbscan 及 Orbscan II 是以裂隙光带扫描为原理的眼前节分析仪,它能够在 1.5s 内采集角膜前后表面约 9000 个数据点,获得从鼻侧和颞侧 45°角投射在角膜上的裂隙光束反射的图像信息,同时结合 Placido 盘反射影像,呈现出三维角膜地形图,包括角膜前后表面曲率、高度和厚度图,进而得出角膜前后表面参数^[28]。由于角膜的非平面形状会导致周边角膜数据采集困难和不可靠,Scheimpflug 原理的引入使得周边角膜数据的测量更具可靠性。Pentacam 是利用 Scheimpflug 原理来测量角膜前后表面参数的眼前节分析仪,由一个旋转 Scheimpflug 摄像机组成,在 2s 内从 0°~180°的角度拍摄 25~50 张裂隙图像,每张图像显示角膜前后表面的 500 个真实的高度点,拍摄重建形成三维图像,可以测量角膜前表面半径和角膜后表面半径,获得全角膜前后表面角膜曲率和厚度等参数^[29]。而 Galilei、Sirius 等角膜分析仪是将双旋转 Scheimpflug 摄像机与 Placido 盘相结合,在角膜散光测量中具有良好的可重复

性^[30-31]。有研究表明,当要了解整个角膜曲率或后表面等数据,以及角膜屈光手术后角膜表面形态有所变化时,如角膜表面不规则、角膜平坦及角膜陡峭,角膜地形图系统的角膜测量范围可扩大到 90% 以上,可以了解中央区域到周边区域的变化,准确测量不规则散光以及非球面状态的角膜,测量精度更客观^[32]。所以,对于角膜屈光手术后的白内障手术术前角膜散光的测量,为了准确评估角膜情况并进行手术干预,需要对其形态有精确的了解,角膜地形图更具优势。

6 小结与展望

随着白内障手术技术的不断发展,屈光性白内障手术在尽可能提高患者术后裸眼视力的同时,也要满足患者术后清晰、舒适的视觉质量需求,术前精准地测量和评估角膜散光是白内障术前规划的一个重要环节。PCA 的直接测量、TCA 的认识和角膜高阶不规则散光的客观测量使白内障术前散光检查逐步完善。各种角膜地形图检查设备是光学生物测量仪器的有效补充。目前角膜地形图的检查以非接触性测量为主,对患者安全无创,但要求被检查者在要求时间内尽量保持眼球不动,若眼球频繁转动会产生测量误差。对于 Scheimpflug 设备,当摄像机围绕眼球旋转扫描过程中可能会出现潜在的眼球运动,而双旋转 Scheimpflug 摄像机对测量值进行平均并最大限度地减少偏心^[33]。使用旋转摄像机的 Scheimpflug 设备可以对高度不规则的角膜进行精确测量,而基于 Placido 的反射系统很难精确表示这些角膜,但传统的 Placido 盘地形图提供的是角膜即时图像,可能提供角膜表面最真实的投影。目前,随着光学技术的快速发展,其显示出更快的扫描速度和更可靠的跟踪系统,目前的趋势是多种技术相结合测量评估角膜,例如通过添加部分相干干涉测量 SLED 二极管,光学生物测量技术已被添加到新型角膜地形图设备中(Pentacam AXL)。

综上所述,术前联合多种角膜地形图仪和角膜曲率测量仪准确地测量和评估角膜散光情况是屈光性白内障手术中重要的一步,无论是对患者个性化选择手术方式、IOL 类型,还是预测术后效果都起关键性作用,可最大程度上减少术后 TCA,帮助白内障手术患者获得术后最佳视觉质量。

参考文献

- 1 Chen WR, Zuo CG, Chen CY, *et al.* Prevalence of corneal astigmatism before cataract surgery in Chinese patients. *J Cataract Refract Surg* 2013; 39(2):188-192
- 2 Nichamin LD. Astigmatism control. *Ophthalmol Clin North Am* 2006;19(4):485-493
- 3 Wolffsohn JS, Bhogal G, Shah S. Effect of uncorrected astigmatism on vision. *J Cataract Refract Surg* 2011;37(3):454-460
- 4 Li Z, Han Y, Hu BD, *et al.* Effect of Limbal relaxing incisions during implantable collamer lens surgery. *BMC Ophthalmol* 2017;17:63
- 5 Mendicute J, Irigoyen C, Ruiz M, *et al.* Toric intraocular lens versus opposite clear corneal incisions to correct astigmatism in eyes having cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2009;35(3):451-458
- 6 Zhang Y, Chen HM, Zhang YC, *et al.* The differences of corneal astigmatism in different populations and its quantitative analysis. *Afr Health Sci* 2020;20(2):775-778
- 7 Jin YY, Zhou Z, Yuan XY, *et al.* Effect of the posterior corneal surface on total corneal astigmatism in patients with age-related cataract.

Int J Ophthalmol 2018;11(6):958-965

8 Mohammadi SF, Khorrani-Nejad M, Hamidirad M. Posterior corneal astigmatism: a review article. *Clin Optom (Auckl)* 2019;11:85-96

9 Cheng LS, Tsai CY, Tsai JF, et al. Estimation accuracy of surgically induced astigmatism on the cornea when neglecting the posterior corneal surface measurement. *Acta Ophthalmol* 2011;89(5):417-422

10 Prisant O, Hoang-Xuan T, Proano C, et al. Vector summation of anterior and posterior corneal topographical astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2002;28(9):1636-1643

11 Crawford AZ, Patel DV, McGhee CNJ. Comparison and repeatability of keratometric and corneal power measurements obtained by orbscan II, pentacam, and Galilei corneal tomography systems. *Am J Ophthalmol* 2013;156(1):53-60

12 Klijn S, Reus NJ, van der Sommen CM, et al. Accuracy of total corneal astigmatism measurements with a scheimpflug imager and a color light-emitting diode corneal topographer. *Am J Ophthalmol* 2016;167:72-78

13 Zheng TY, Chen ZH, Lu Y. Influence factors of estimation errors for total corneal astigmatism using keratometric astigmatism in patients before cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2016;42(1):84-94

14 Hoshikawa R, Kamiya K, Fujimura F, et al. Comparison of conventional keratometry and total keratometry in normal eyes. *Biomed Res Int* 2020;2020:8075924

15 Ale MJB. Comparison of the corneal curvatures obtained from three different keratometers. *Nepal J Ophthalmol* 2013;5(1):9-15

16 Visser N, Berendschot TTJM, Verbakel F, et al. Comparability and repeatability of corneal astigmatism measurements using different measurement technologies. *J Cataract Refract Surg* 2012;38(10):1764-1770

17 Meyer JJ, Gokul A, Vellara HR, et al. Repeatability and agreement of orbscan II, pentacam HR, and Galilei tomography systems in corneas with keratoconus. *Am J Ophthalmol* 2017;175:122-128

18 Namba H, Kawasaki R, Sugano A, et al. Age-related changes in ocular aberrations and the Yamagata study (funagata). *Cornea* 2017;36(Suppl 1):S34-S40

19 中华医学会眼科学分会白内障及人工晶状体学组. 中国多焦点人工晶状体临床应用专家共识(2019年). *中华眼科杂志* 2019;55(7):491-494

20 Shajari M, Cremonese C, Petermann K, et al. Comparison of axial length, corneal curvature, and anterior chamber depth measurements of 2 recently introduced devices to a known biometer. *Am J Ophthalmol* 2017;

178;58-64

21 Chang M, Kang SY, Kim HM. Which keratometer is most reliable for correcting astigmatism with toric intraocular lenses? *Korean J Ophthalmol* 2012;26(1):10-14

22 Gutmark R, Guyton DL. Origins of the keratometer and its evolving role in ophthalmology. *Surv Ophthalmol* 2010;55(5):481-497

23 Sheppard AL, Davies LN. Clinical evaluation of the grand seiko auto ref/keratometer WAM-5500. *Ophthalmic Physiol Opt* 2010;30(2):143-151

24 Noonan CP, Rao GP, Kaye SB, et al. Validation of a handheld automated keratometer in adults. *J Cataract Refract Surg* 1998;24(3):411-414

25 Doors M, Berendschot TTJM, de Brabander J, et al. Value of optical coherence tomography for anterior segment surgery. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(7):1213-1229

26 LaHood BR, Goggin M. Measurement of posterior corneal astigmatism by the IOLMaster 700. *J Refract Surg* 2018;34(5):331-336

27 Guilbert E, Saad A, Elluard M, et al. Repeatability of keratometry measurements obtained with three topographers in keratoconic and normal corneas. *J Refract Surg* 2016;32(3):187-192

28 Cairns G, McGhee CNJ. Orbscan computerized topography: attributes, applications, and limitations. *J Cataract Refract Surg* 2005;31(1):205-220

29 Oliveira CM, Ribeiro C, Franco S. Corneal imaging with slit-scanning and Scheimpflug imaging techniques. *Clin Exp Optom* 2011;94(1):33-42

30 Bao FJ, Savini G, Shu B, et al. Repeatability, reproducibility, and agreement of two scheimpflug-placido anterior corneal analyzers for posterior corneal surface measurement. *J Refract Surg* 2017;33(8):524-530

31 Urias EA, Polychronopoulou E, Pandit RT. Comparison of simulated and true keratometry measurements using swept-source optical coherence tomography and dual scheimpflug-placido imaging. *J Ophthalmol* 2021;2021:5860846

32 Fityo S, Bühren J, Shajari M, et al. Keratometry versus total corneal refractive power: analysis of measurement repeatability with 5 different devices in normal eyes with low astigmatism. *J Cataract Refract Surg* 2016;42(4):569-576

33 Martin R. Cornea and anterior eye assessment with placido-disc keratometry, slit scanning evaluation topography and scheimpflug imaging tomography. *Indian J Ophthalmol* 2018;66(3):360-366