

doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2020.11.08

View this article at: <http://dx.doi.org/10.3978/j.issn.1000-4432.2020.11.08>

角膜后表面散光对散光型人工晶状体计算的重要性

董静¹ 综述 张素华², 王晓刚² 审校

(1. 山西医科大学第一临床医学院眼科, 太原 030001; 2. 山西省眼科医院白内障1科, 太原 030002)

[摘要] 随着白内障手术由复明性向屈光性转变, 对角膜的散光矫正显得越来越重要。而角膜散光不仅仅应该关注角膜前表面的散光数据, 更应该考虑角膜后表面的散光, 否则对散光人工晶状体植入矫正角膜散光可能出现不同程度的术后屈光误差。角膜后表面散光均值约为0.37 D, 且多数情况下会产生逆规散光的效果, 因此在进行散光型人工晶状体计算时应考虑到这一特点, 进一步防止术后欠矫或过矫的发生。

[关键词] 角膜; 前表面; 后表面; 散光; 人工晶状体

Importance of calculation of posterior corneal astigmatism on Toric intraocular lens power

DONG Jing¹, ZHANG Suhua², WANG Xiaogang²

(1. Department of Ophthalmology, First Hospital of Shanxi Medical University, Taiyuan 030001; 2. First Department of Cataract, Shanxi Eye Hospital, Taiyuan 030002, China)

Abstract With the cataract surgery evolving from visual restoration surgery to refractive surgery, surgical correction of corneal astigmatism becomes more and more important. For Toric intraocular lens implantation, the surgeon should not only pay attention to the values in surface of anterior corneal astigmatism but also that in posterior corneal astigmatism. Otherwise, unwanted postoperative refractive errors may occur. The mean value of posterior corneal astigmatism was around 0.37 D. In most cases, the posterior corneal astigmatism produces against-the-rule effect. Therefore, the above-mentioned feature of posterior corneal astigmatism should be noticed to prevent the under-correction or over-correction effect of toric lens.

Keywords cornea; anterior surface; posterior surface; astigmatism; intraocular lens

多数人眼均存在不同程度的角膜散光, 是角膜前后表面散光数据综合的结果。而当角膜散光量大于0.75 D时, 会对视觉质量产生不同程度的影响。随着白内障手术理念由复明性向屈光性方向

的逐渐转变, 角膜散光的矫正越来越重要。过往由于角膜曲率检查技术的限制, 对散光的关注多集中在角膜前表面, 而随着新检查技术的出现, 角膜后表面散光对散光矫正的手术设计也存在不

收稿日期 (Date of reception): 2020-08-15

通信作者 (Corresponding author): 王晓刚, Email: movie6521@163.com

基金项目 (Foundation item): 国家自然科学基金 (81971697)。This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (81971697).

同程度的影响, 因此纳入角膜后表面散光数据的分析结果可能更为准确, 也是未来散光矫正的发展方向。

通过合理矫正角膜散光提高白内障术后患者视觉质量已经引起越来越多眼科手术医生的关注与重视。早期临床认为术前角膜前表面曲率检查结果与全眼验光结果的不一致主要是由晶体源性的散光所引起, 但即使手术很顺利, 术后人工晶状体(intraocular lens, IOL)未出现明显的偏心和倾斜, 患者术眼验光数据^[1]仍然提示存在与前表面曲率结果不一致的验光数据, 这一发现提示部分研究者开始考虑到角膜后表面散光的存在与重要性。如果进行散光屈光性白内障手术矫正, 为了达到更好的术后效果, 角膜后表面散光数据必须纳入手术设计中^[2]。

对于常规角膜曲率计和角膜地形图设备, 主要是通过测量角膜前表面一定范围内的曲率数据来推算总角膜屈光力及总角膜散光, 这种推算虽然考虑了角膜后表面曲率, 但是将角膜后表面与角膜前表面的曲率设计为一个固定比值[此比值在正常眼约为0.82, 在激光辅助原位角膜磨镶术(laser-assisted in situ keratomileusis, LASIK)或准分子激光角膜切削术(photo refractive keratectomy, PRK)近视矫正术后约为0.76, 在LASIK/PRK远视矫正术后约为0.86]^[3]。角膜后表面的屈光指数差异仅为0.04(角膜1.376, 房水1.336), 明显小于角膜前表面的屈光指数差异0.376(角膜1.376, 空气1.0), 所以角膜后表面的屈光力及散光值明显小于前表面, 因此角膜后表面散光数据在临床应用中曾被忽略^[4]。

1 角膜后表面散光的特点

虽然角膜后表面散光值不大, 但其对全角膜散光存在影响, 从而会对散光IOL的计算结果产生影响。同时年龄会对其产生影响, 这均是手术设计应该考虑的因素。

研究^[5]发现: 角膜后表面散光的平均值约为0.37 D, 但实际后表面散光的数据波动性较大, 这可能也是散光IOL及角膜松解切口矫正散光后仍然会残留部分散光的原因之一。Ho

等^[6]研究发现: 角膜后表面散光会平均降低约13.4%的全角膜散光, 约28.8%的被研究眼总角膜散光与前表面角膜散光相差大于0.5 D或轴位大于10°, 这也足以体现后表面角膜散光的重要性。Koch等^[7]研究发现: 在约80%的白内障眼中, 角膜后表面的散光陡轴均位于垂直方向, 同时后表面散光值为负数, 在这种情况下后表面散光会产生逆规散光的效果(图1)。因此单纯依据角膜前表面散光进行散光IOL计算, 对于顺规(with-the-rule, WTR)散光可能存在不同程度的过矫现象, 而对于逆规(against-the-rule, ATR)散光会存在不同程度的欠矫现象^[8]。

基于以上后表面散光的特点及散光向量数据分析方法, 若一患眼前表面为顺规散光, 那么全角膜散光值是减低的; 若一患眼前表面为逆规散光, 那么总角膜散光呈增加趋势(图2)。这也与美国Baylor研究小组^[1]发表的研究结果相一致, 其对41眼植入Toric散光IOL患者的术后随访发现顺规散光过矫约为0.5~0.6 D, 而逆规散光欠矫约为0.2~0.3 D。同时研究比较发现, 与IOL Master、手动角膜曲率计相比, Galilei设备可以通过Scheimpflug成像技术实现对角膜后表面散光的真实测量, 从而实现术后预测误差较小的结果, 但研究中也发现对于术前角膜顺规散光的患眼, Galilei也会出现约0.57 D的预测误差。

年龄会对后表面角膜散光产生影响。Ueno等^[9]利用扫频光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)研究发现: 陡峭轴的角膜厚度高于平坦轴, 且这种差异与年龄明显相关, 同时还发现陡峭轴上方角膜厚度高于下方, 提示角膜后表面散光为不规则散光, 会引起不同程度的高阶像差。但是Koch等^[7]研究发现角膜后表面散光数据与年龄之间无明显的相关性。2018年李盼盼等^[10]研究发现: 随着年龄的增长, 角膜后表面散光呈现由逆规向顺规漂移的趋势, 且对青年人后表面角膜散光可使总角膜散光减少, 而对于老年人后表面角膜散光可使总角膜散光增加。以上研究之间的结果差异可能与研究采用不同的测量设备有关, 但也提示这方面的研究有待深入, 去探寻到两者之间真正的数据关系。

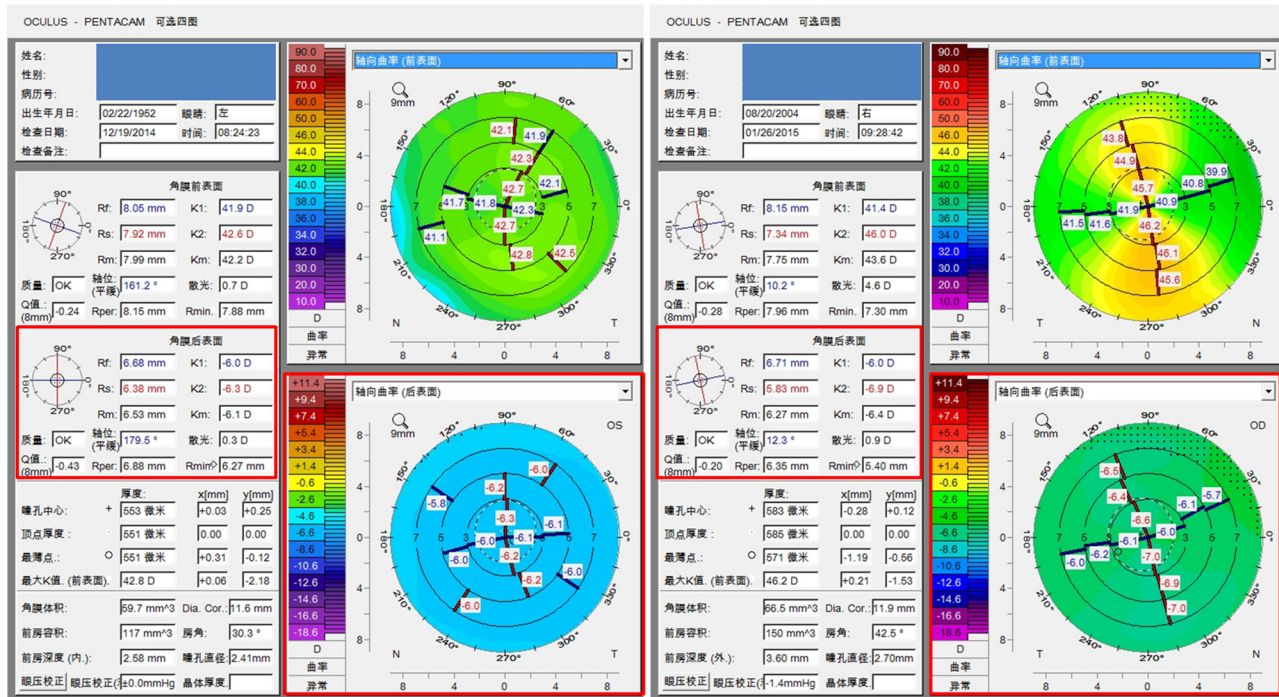


图1 利用Pentacam眼前节分析系统采集的角膜前后表面曲率数据图

Figure 1 Data map of anterior and posterior corneal curvature analyzed by Pentacam Scheimpflug imaging system

左图为年龄为68岁患者的左眼数据，右侧为年龄为16岁患者的右眼数据，红色框内为各眼角膜后表面曲率及散光数据和图示，可见两眼的角膜后表面散光陡轴均接近90° 方位。

The two figures show the corneal data of the left eye of a 68-year-old patient (left side) and the right eye of a 16-year-old patient (right side). The curvature and astigmatism data of the posterior corneal surface are shown in red boxes, which indicate that the steep axis of posterior corneal curvature of the two eyes are close to 90° .

2 角膜后表面散光的测量方法

目前，临床上可以使用基于多色发光二极管角膜反射成像技术的Cassini角膜地形图分析仪、利用Scheimpflug成像原理的Pentacam三维眼前节成像系统、基于扫频光源的光学相干断层扫描原理的IOL Master700生物测量系统以及早期的Purkinje成像技术等实现角膜后表面真实数据的测量与分析(表1)^[11]。基于以上设备测量获得的角膜前后表面曲率以及角膜厚度数据，利用光线追踪原理以及Gaussian光学透镜公式可以获得全角膜屈光力^[12]。2020年来自美国Baylor研究小组的一项比较研究^[13]发现：在对530眼的角膜后表面散光数据测量中，扫频OCT测得的平均后表面散光值约为-0.19 D，明显低于双旋转Scheimpflug成像系统的-0.29 D，所以在临床实际工作中，医生应该考虑到不同设备因测量原理及测量范围不同所产

生的结果差异。

3 考虑到角膜后表面散光的 Toric 散光 IOL 计算方法

以往研究^[7]发现：近0.3 D的后表面散光会使约80%患眼总角膜散光值减少，进而影响散光IOL的散光度选择。而且因为散光是一个向量数据，在综合考虑角膜前后表面散光及术源性散光(surgical induced astigmatism, SIA)的大小及轴位情况下，会出现散光IOL大小及放置位置结果的变化^[14]。而散光IOL发生1°的轴位旋转会降低约3.3%的散光矫正效果^[15]。因后表面散光数据测量设备的普及性尚有不足，故2013年Baylor研究小组提出的散光IOL选择列线图在临床得到广泛应用；同时Barrett教授及各个厂家提供的针对性散光IOL在线计算公式也为广大临床医生提供参考，以下举例对其进行简单阐述。

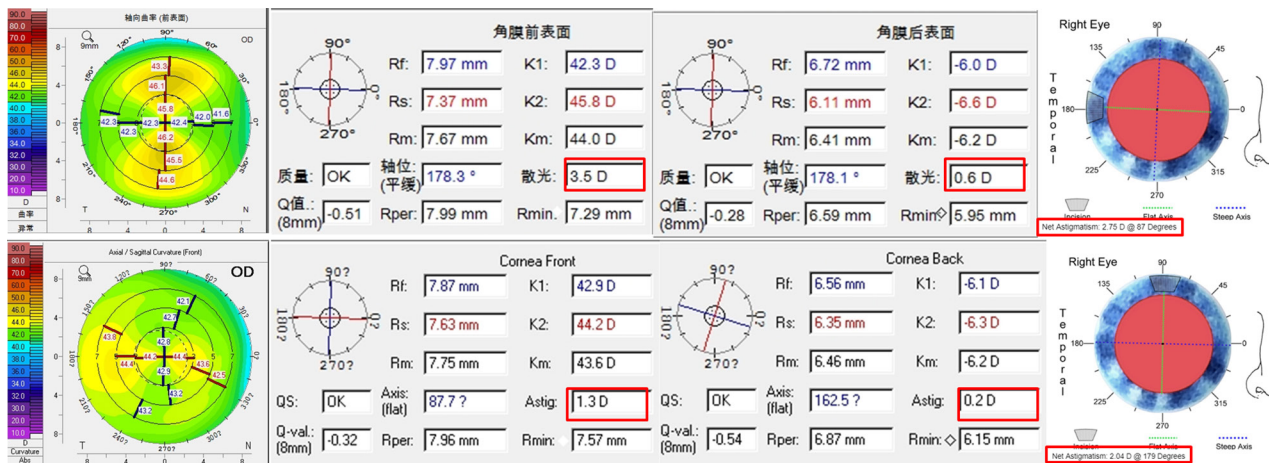


图2 前表面为顺规散光和逆规散光状态下的总角膜散光结果变化

Figure 2 Changes in the result of total corneal astigmatism with anterior surface with-the-rule and against-the-rule

上排为一前表面为顺规散光3.5 D、后表面散光为0.6 D，手术切口设置于178°，术源性散光为0.3 D，利用Barrett散光在线计算公式后得到需要手术矫正的总散光量为2.75 D轴位87°，呈下降趋势；下排为一前表面为逆规散光1.3 D、后表面散光为0.2 D，手术切口设置于88°，术源性散光为0.3 D，利用Barrett散光在线计算公式后得到需要手术矫正的总散光量为2.04 D轴位179°，呈增加趋势。

In the upper row, it's an anterior astigmatism 3.5 D WTR and a posterior astigmatism 0.6 D. The surgical incision was set at 187° and the surgically induced astigmatism was 0.3 D. The total amount of astigmatism that needed to be surgically corrected is obtained by using the Barrett astigmatism online calculation formula It is 2.75 D@87°, showing a downward trend. In the lower row, it's an anterior astigmatism 1.3 D ATR and a posterior astigmatism 0.2 D. The surgical incision was set at 88° and the surgically induced astigmatism was 0.3D. The total amount of astigmatism that needed to be surgically corrected is obtained by using the Barrett astigmatism online calculation formula It is 2.04 D@179°, showing an increasing trend.

表1 可实现角膜后表面散光测量的仪器及其基本原理总结

Table 1 A summary of the instrument and its basic principles for measuring posterior corneal astigmatism in cornea

设备名称	测量原理
Orbscan II角膜地形图仪	Placido盘结合光裂隙扫描
Pentacam三维眼前节成像系统	单旋转Scheimpflug
Sirius三维眼前节成像系统	Placido盘结合单旋转Scheimpflug
Galilei三维眼前节成像系统	Placido盘结合双旋转Scheimpflug
Cassini角膜地形图分析仪	多色发光二极管点对点光线追逐
IOL Master 700生物测量仪	扫频光源OCT
Anterion生物测量仪	扫频光源OCT

3.1 术源性散光与角膜后表面散光

在进行Toric IOL计算的过程中，无论是单纯选择前表面进行计算还是考虑角膜后表面进行计算，均应认真考虑术源性散光大小及轴位的数据输入，不同的轴位设计会对患者术后散光的轴位产生影响^[16]。术源性散光的大小推荐选择质心数据，术者需要根据自身技术水平进行自我计算获

得。早期很多术者因手术习惯的问题会将主切口设置于同一位置(例如120°方向)，此种不考虑患者角膜散光类型的情况，可能改变患者术后的散光轴位，产生斜轴散光的可能，从而影响患者术后视觉质量，所以目前越来越多的医师会根据术前角膜散光的轴位，个性化选择主切口的位置(水平轴或者陡峭轴)，从而尽量保证在合理矫正角膜

散光的同时术后不改变患者角膜散光的轴位, 保持患者术后的舒适度。2020年Li等^[17]研究发现: 使用1.8 mm宽度的陡轴透明角膜切口虽然会降低角膜前表面散光值, 但同时会增加角膜后表面散光值, 这也进一步提示术源性散光的计算分析, 应该同时将后表面散光数据纳入, 这也是未来术源性散光计算需要改进和优化的方面。

3.2 Baylor 研究小组列线图

基于以上现状, 美国Baylor研究小组^[1]提出了针对Toric散光IOL选择的列线图帮助临床医生更好的预测散光IOL的选择。整个计算过程基于人群平均后表面散光数据, 同时需要将术者术源性散光及IOL所在平面等诸多因素考虑。

3.2.1 基本使用步骤

1) 确定有效Toric T值度数: 常规测量角膜前表面曲率、眼轴、前房深度等与IOL度数计算相关的生物测量参数。因Holladay II计算公式考虑到球镜度数以及前房深度与角膜平面散光的关系而被众多医生推荐使用。若无法获得Holladay II计算公式, 也可通过经验预估的方式进行调整: ①当IOL度数较小且术眼前房深度较深时, 选择Toric的T值时可以比常规推荐度数高0.5 D; ②当IOL度数较大且术眼前房深度较浅时, 选择Toric的T值时可以比常规推荐度数低0.5 D。

2) 个性化术源性散光: 列线图要求输入术者个性化的SIA, 此数据对多数医生而言为0.2~0.3 D。当然, 术者也可以通过在线计算工具进行个性化SIA数据的分析统计。

3) 使用Baylor列线图: 除WTR和ATR的调整外, 列线图的主要目的是为术眼保留轻度的WTR散光, 以用于抵消随着年龄增长可能产生不同程度的ATR。①若术眼存在WTR散光: 针对WTR散光, 列线图考虑到约0.7 D的阈值漂移, 所以其建议当角膜顺规散光达1.7 D时才建议进行Toric矫正; ②若术眼存在ATR散光: 针对逆规散光, 列线图同时考虑到0.7 D的阈值漂移, 所以当术眼术前存在ATR 0.8 D时, 可考虑选择矫正能力在1.5 D的Toric IOL; ③若术眼存在斜轴散光: 多数斜轴散光的术眼存在向逆规散光过渡的趋势, 此情况下考虑使用Toric进行矫正时可将校正量略微下调, 同时尽量将轴位放置于逆规散光的方位上, 以便

起到矫正ATR散光的效果。

3.2.2 列线图的局限性

使用时需考虑本列线图的常规性和可能存在的偏移, 即其研究数据基于广大人群的平均后表面散光, 而不是个性化数据。最佳的方式仍然是利用检查设备准确测量真实后表面数据, 这样可以将本列线图存在的偏移去除。

3.3 在线计算公式举例

目前, 临床上不同厂家推荐使用的各种在线散光型IOL计算公式(例如Alcon Toric在线计算公式、Zeiss Toric在线计算公式、Tecnis Toric在线计算公式等)虽然均考虑了角膜后表面散光的潜在影响, 但此类计算公式均为通过大数据产生的优化模型, 而且公式中均将角膜后表面散光默认为逆规散光, 并未考虑实际测得的后表面散光数据。而Barrett Toric在线计算公式可以将常规预测后表面散光数据及直接测得的后表面散光数据分别进行计算, 为临床医生提供比较, 获得多数临床医师认可^[18]。

3.3.1 Barrett Toric 在线计算器

此计算器操作简单, 而且研究^[19]发现其可以提供较为满意的术后效果而得到众多眼科医生的青睐(<https://ascrs.org/tools/barrett-Toric-calculator/>)。同时此计算器可将预测的后表面角膜散光和各种设备(IOL Master700 TK, Pentacam, Galilei, Optoview, SS-OCT, Scheimpflug)真实测量的后表面角膜散光数据分别进行选择输入计算, 以便术者了解后表面角膜散光可能对计算结果产生的影响(图3)。

3.3.2 Alcon, Zeiss, TECNIS 厂家推荐的在线计算器

3.3.2.1 Alcon 在线计算器

实际临床工作中可根据具体IOL型号, 对应选择厂家推荐的在线计算公式进行计算。以下以Alcon公司提供的在线计算公式为例进行展示, 可以在线分别选择使用Barrett和Holladay1计算公式进行(<http://www.myalcon-Toriccalc.com/#/calculator>)计算。此在线计算公式中Barrett的计算方法与以上提及的Barrett Toric计算公式相同, 但是使用Holladay1计算公式时厂家建议选择全角膜屈光力的数据进行计算(图4)。当然, 2种计算公式的一致性及准确度尚待进一步研究。

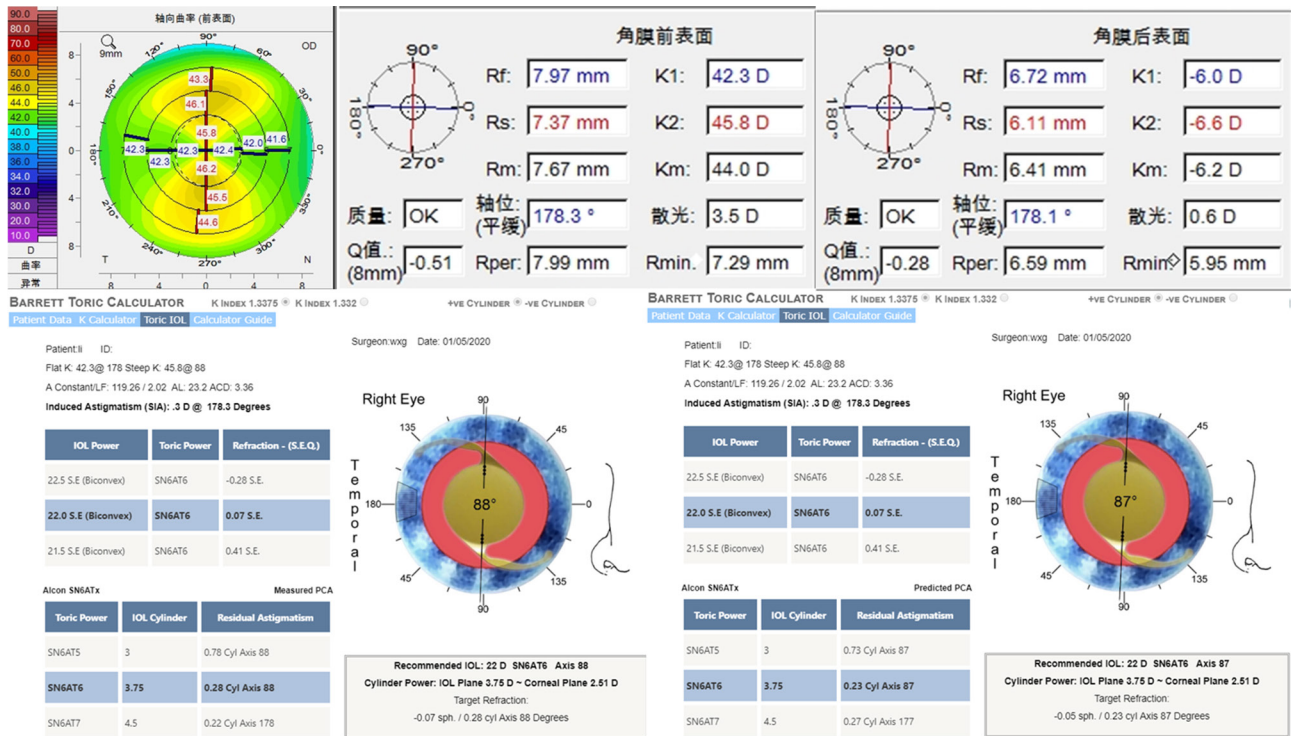


图3 一眼轴为23.2 mm、角膜前表面顺规散光3.5 D，术源性散光设置为0.3 D，位于平坦轴

Figure 3 An eye with 23.2 mm axial length, 3.5 D WTR anterior astigmatism; surgical incision was set at the flat axis with 0.3 D surgical induced astigmatism

分别利用Pentacam真实测量的角膜后表面散光值(measured PCA)和预测后表面散光值(predicted PCA)进行Toric IOL计算，两者计算的净散光值分别为2.80 D轴位88° 和2.75 D轴位87°，最终Toric推荐计算结果分别为22.0 D SN6AT6轴位88° 和22.0 D SN6AT6轴位87°，可以看出此术眼的后表面散光数据起到了部分抵消前表面散光的作用，而且不同考虑角膜后表面散光方法一致性较好。

Choosing measured PCA and predicted PCA, the Barrett Toric Calculator demonstrated that the total astigmatism was 2.75 D@87° and 2.80 D@88°, respectively. The recommended IOL were 22.0 D SN6AT6@88° and 22.0 D SN6AT6@87°, respectively. This example demonstrated that the PCA partially neutralize the anterior corneal astigmatism in this case. Moreover, measured PCA and predicted PCA showed good agreement in Toric calculation.

3.3.2.2 Zeiss 在线计算器

此计算器适用于Zeiss旗下的IOL产品，可利用角膜前表面曲率数据或IOL Master700测得的角膜总屈光力数据进行计算，提供计算的散光值范围需在2.5 D以内，对于角膜前表面曲率数据，计算界面提供Z CALC Nomogram选项以用于为角膜后表面散光度进行算数补偿，勾选后将角膜后表面散光的预设值纳入最终计算中，而对于直接输入角膜总屈光力的数据，无需再进行数据补偿计算(图5)。

3.3.2.3 TECNIS 在线计算器

此计算器主要适用于TECNIS复曲面IOL计算，可用于单焦点及多焦点IOL计算，主要目的是在考虑术前角膜散光及术源性散光的前提下，确定术后角膜散光矫正的最佳复曲面IOL屈光度，其在柱镜屈光力计算中使用的是Holladay1计算公式，计算器中设计了“纳入角膜后表面散光”的选项，勾选后将角膜后表面散光的预设值纳入最终计算中，其预设值的设定是根据已发表的研究参考设定(图6)^[7]。

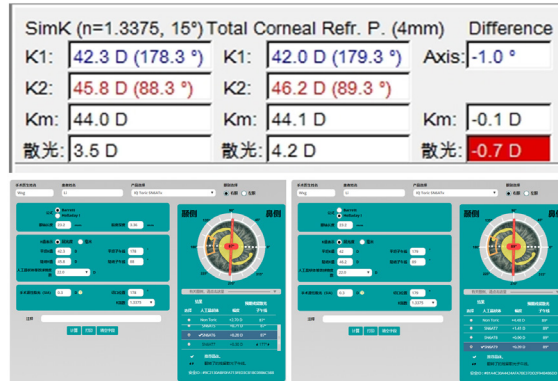


图4 眼轴23.2 mm、前房深度为3.36 mm，术源性散光设置为0.3 D，主切口均设置于平坦轴

Figure 4 An eye with 23.2 mm axial length, 3.36 mm anterior chamber depth, with 0.3 D surgical induced astigmatism, and the main incision set on the flat axis

通过Pentacam的计算结果可以看出此眼的SimK(3.5 D)和全角膜屈光力(4.2 D)差值约为0.7 D。使用Barrett计算公式计算的结果推荐为T6放置于87°，而Holladay1输入全角膜屈光力的计算结果推荐为T9放置于89°。提示不同计算公式及对全角膜屈光力的综合考虑会对计算结果存在明显影响。

The results of Pentacam showed that the difference between SimK (3.5 D) and total corneal refractive power (4.2 D) of this eye was about 0.7 D. Choosing Barrett and Holladay1 formula for IOL calculation, the results were SN6AT6@87° and SN6AT9@89°, respectively, which indicated that different calculation formulas and comprehensive consideration of total corneal refractive power will have a significant impact on the calculation results.

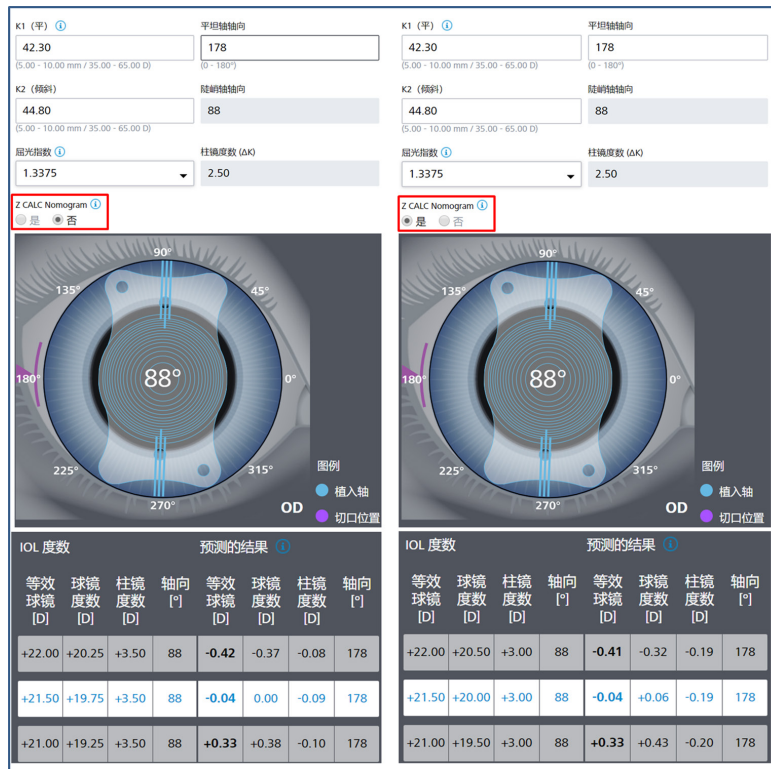


图5 一眼轴为23.2 mm、前房深度为3.36 mm，角膜前表面顺规散光2.5 D，术源性散光设置为0.3 D，位于平坦轴

Figure 5 An eye with 23.2 mm axial length, 3.36 mm anterior chamber depth, 2.5 D WTR anterior astigmatism; the surgical incision was set at the flat axis with 0.3 D surgical induced astigmatism

分别使用Zeiss在线计算器未选择考虑角膜后表面散光(左侧结果)和选择考虑后表面散光值(右侧结果)进行Toric IOL计算，两者计算结果存在差别。

Choosing Zeiss online calculator for calculating Toric IOL, the results were different when considering the posterior corneal astigmatism or not.

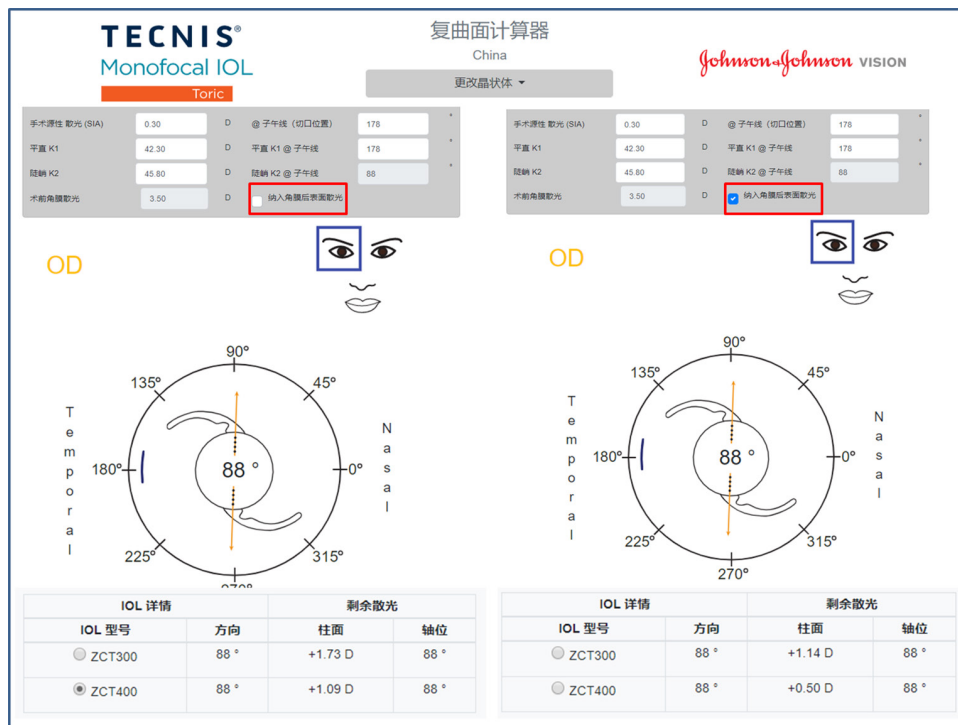


图6 一眼轴为23.2 mm、角膜前表面顺规散光3.5 D，术源性散光设置为0.3 D，位于平坦轴

Figure 6 An eye with 23.2 mm axial length, 3.5 D WTR anterior astigmatism; the surgical incision was set at the flat axis with 0.3 D surgical induced astigmatism

分别使用TECNIS在线计算器未选择纳入角膜后表面散光(左侧结果)和选择纳入后表面散光值(右侧结果)进行Toric IOL计算, 两者计算的剩余散光存在差别。

Choosing TECNIS online calculator for toric IOL calculation, the residual astigmatism results were different when considering the posterior corneal astigmatism (right side) or not (left side).

4 角膜后表面散光的权重

较多术者会考虑角膜后表面散光, 但很多情况下很难体现后表面散光对最终结果的影响权重^[20]。主要局限性还是在于后表面散光测量的真实性, 而且术后少量的残余散光也不会对植入 Toric IOL 的患者术后视力造成很大影响。如果术者术前考虑到患者的术后角膜散光可控制在0.5 D 以内, 那么这种情况下, 无论患者植入何种IOL, 其术后视力均较为满意。对于无法获得真实角膜后表面散光的术者, 可以借助Baylor研究小组的列线图及针对性的在线计算公式进行综合选择, 通过实际应用可以了解角膜后表面散光对最终术后效果的影响有一定的认识, 也使得术后效果离真实状况更近一步。

当然, 术者也可以借助术中的导航及像差计算分析系统, 在完成超声乳化手术步骤后, 植入

IOL之前对术中眼部状况(包括角膜前后表面曲率、眼轴长度、实际术源性散光等数据)进行分析, 提供更为精准的Toric IOL度数, 以实现散光的完美矫正^[21-23]。

5 角膜后表面散光的未来与挑战

随着屈光性白内障手术理念的不断发展和, 患者对术后视觉质量的要求日益增高, 术者对散光IOL的选择会逐渐增多。角膜后表面散光的精准测量及全角膜散光的综合考虑是未来临床发展的重要方向。而且即使对于角膜前表面散光小的患者, 其后表面散光也可能对全角膜散光产生影响, 所以术者应考虑到后表面散光的重要性。而且随着角膜屈光术后的患者需进行白内障手术的人数不断增多, 同时其对术后视觉质量期望值及要求较高, 而此类患者IOL球镜度数计算及后表面

散光数据对计算结果的影响更为明显,这也是未来研究很重要的一方面^[24]。

参考文献

- Koch DD, Jenkins RB, Weikert MP, et al. Correcting astigmatism with Toric intraocular lenses: effect of posterior corneal astigmatism[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2013, 39(12): 1803-1809.
- Warwick A, Porteous A, Saw VPJ. Visual and autorefractometry outcomes following Toric intraocular lens insertion without calculation of posterior corneal astigmatism in the UK National Health Service[J]. *Eye (Lond)*, 2020, 34(11): 2082-2088.
- Wang L, Mahmoud AM, Anderson BL, et al. Total corneal power estimation: ray tracing method versus gaussian optics formula[J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(3): 1716-1722.
- 张蝶念, 张红, 田芳. 角膜后表面散光[J]. *国际眼科纵览*, 2015, 39(3): 170-174.
ZHANG Dienian, ZHANG Hong, TIAN Fang. Posterior corneal astigmatism[J]. *International Review of Ophthalmology*, 2015, 39(3): 170-174.
- 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.
- Ho JD, 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.
- 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.
- LaHood BR, Goggin M, Esterman A. Assessing the Likely Effect of Posterior corneal curvature on toric IOL calculation for IOLs of 2.50 D or greater cylinder power[J]. *J Refract Surg*, 2017, 33(11): 730-734.
- Ueno Y, Hiraoka T, Miyazaki M, et al. Corneal thickness profile and posterior corneal astigmatism in normal corneas[J]. *Ophthalmology*, 2015, 122(6): 1072-1078.
- 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.
LI Panpan, WU Jian, ZHOU Jing, et al. Measurement and clinically significant of posterior corneal astigmatism[J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2018, 38(2): 184-187.
- Royston JM, Dunne MC, Barnes DA. Measurement of the posterior corneal radius using slit lamp and Purkinje image techniques[J]. *Ophthalmic Physiol Opt*, 1990, 10(4): 385-388.
- Kohnen T. Posterior corneal astigmatism[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2013, 39(12): 1795.
- Wang L, Cao D, Vilar C, et al. Posterior and total corneal astigmatism measured with optical-coherence-tomography-based biometer and dual-Scheimpflug analyzer[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46(12): 1652-1658.
- 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.
- Carey PJ, Leccisotti A, McGilligan VE, et al. Assessment of Toric intraocular lens alignment by a refractive power/corneal analyzer system and slitlamp observation[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2010, 36(2): 222-229.
- Özyol E, Özyol P. Analyses of surgically induced astigmatism and axis deviation in microcoaxial phacoemulsification[J]. *Int Ophthalmol*, 2014, 34(3): 591-596.
- Li X, Chen X, He S, et al. Effect of 1.8-mm steep-axis clear corneal incision on the posterior corneal astigmatism in candidates for Toric IOL implantation[J]. *BMC Ophthalmol*, 2020, 20(1): 187.
- Kern C, Kortüm K, Müller M, et al. Comparison of two toric IOL calculation methods[J]. *J Ophthalmol*, 2018, 2018: 2840246.
- Ribeiro FJ, Ferreira TB, Relha C, et al. Predictability of different calculators in the minimization of postoperative astigmatism after implantation of a Toric intraocular lens[J]. *Clin Ophthalmol*, 2019, 13: 1649-1656.
- Jin YY, Zhou Z, Yuan XY, et al. Effect of the posterior corneal surface on total corneal astigmatism in patients with age-related cataract[J]. *Int J Ophthalmol*, 2018, 11(6): 958-965.
- Hatch KM, Woodcock EC, Talamo JH. Intraocular lens power selection and positioning with and without intraoperative aberrometry[J]. *J Refract Surg*, 2015, 31(4): 237-242.
- Woodcock MG, Lehmann R, Cionni RJ, et al. Intraoperative aberrometry versus standard preoperative biometry and a Toric IOL calculator for bilateral Toric IOL implantation with a femtosecond laser: One-month results[J]. *J Cataract Refract Surg*, 2016, 42(6): 817-825.
- Yesilirmak N, Palioura S, Culbertson W, et al. Intraoperative wavefront aberrometry for toric intraocular lens placement in eyes with a history of refractive surgery[J]. *J Refract Surg*, 2016, 32(1): 69-70.
- Lawless M, Jiang JY, Hodge C, et al. Total keratometry in intraocular lens power calculations in eyes with previous laser refractive surgery[J]. *Clin Exp Ophthalmol*, 2020, 48(6): 749-756.

本文引用: 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. doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2020.11.08

Cite this article as: DONG Jing, ZHANG Suhua, WANG Xiaogang. Importance of calculation of posterior corneal astigmatism on Toric intraocular lens power[J]. *Yan Ke Xue Bao*, 2021, 36(2): 167-175. doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2020.11.08