

白内障术后屈光误差的原因和矫正

杨丽^{1,2,3}, 兰长骏^{1,2}, 廖莹^{1,2}

引用:杨丽,兰长骏,廖莹. 白内障术后屈光误差的原因和矫正. 国际眼科杂志 2022;22(3):429-433

基金项目:四川省卫计委重点课题项目(No.18ZD022);南充市校合作重大攻关项目(No.18SXHZ0492)

作者单位:¹(637000)中国四川省南充市,川北医学院附属医院眼科;²(637000)中国四川省南充市,川北医学院眼视光学系;³(614000)中国四川省乐山市人民医院眼科

作者简介:杨丽,女,毕业于川北医学院,硕士,住院医师,研究方向:白内障及屈光不正。

通讯作者:廖莹,毕业于四川大学,博士,硕士研究生导师,教授,主任医师,研究方向:白内障及屈光不正. aleexand@163.com

收稿日期:2021-06-30 修回日期:2022-01-20

摘要

屈光性白内障手术要获得满意的术后效果,需要准确的目标屈光度。尽管眼球生物参数测量精准性、人工晶状体屈光力计算公式预测准确性,以及手术技术和设备先进性都在不断提升,但受到白内障术前、术中和术后各种因素的影响,仍可能导致术后屈光误差的产生,部分患者还需光学产品甚至手术矫正。本文对导致白内障术后屈光误差的可能原因和矫正方式进行简要综述。

关键词:白内障;屈光误差;原因;矫正

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2022.3.16

Reasons and corrections of refractive error after cataract surgery

Li Yang^{1,2,3}, Chang-Jun Lan^{1,2}, Xuan Liao^{1,2}

Foundation items: Key Project of Sichuan Health and Family Planning Commission (No.18ZD022); Key Project of Nanchong City and University Cooperation (No.18SXHZ0492)

¹Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China;

²Department of Ophthalmology & Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China; ³Department of Ophthalmology, the People's Hospital of Leshan, Leshan 614000, Sichuan Province, China

Correspondence to: Xuan Liao. Department of Ophthalmology, Affiliated Hospital of North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China; Department of Ophthalmology & Optometry, North Sichuan Medical College, Nanchong 637000, Sichuan Province, China. aleexand@163.com

Received: 2021-06-30 Accepted: 2022-01-20

Abstract

• Accurate target diopter is necessary for refractive cataract surgery to achieve satisfactory postoperative results. Although the measurement accuracy of ocular biological parameters, the prediction accuracy of the

intraocular lens calculation formula, and the advancement of surgical technology and equipment are constantly improving, it still can be affected by pre-, intra-, and post-operative factors. Some patients still need optical products or even surgical correction for the occurrence of posterior refractive errors. This article briefly reviews the possible reasons and correction methods of refractive errors after cataract surgery.

• **KEYWORDS:** cataract; refractive error; cause; correction

Citation: Yang L, Lan CJ, Liao X. Reasons and corrections of refractive error after cataract surgery. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2022;22(3):429-433

0 引言

准确的白内障术后目标屈光度是达到各种功能性人工晶状体(intraocular lens, IOL)设计效果的前提。通常情况下白内障术后目标屈光度设定为等效球镜 $\pm 0.50D$ 以内且散光 $< 1.00D$ ^[1],但即便是最有经验的特检技师和手术医师,也会因各种因素导致术后的屈光误差。研究表明,白内障术后屈光状态在 $\pm 0.50D$ 以内者约为72.7%,在 $\pm 1.00D$ 以内达93%^[2]。角膜屈光手术后的白内障患者术后残留屈光不正的比例更高,术后等效球镜在 $\pm 0.50D$ 和 $\pm 1.00D$ 以内的比例分别为61.6%和86.3%^[3]。白内障术后屈光误差与手术前中后的各环节有关,包括患者眼部状态、术前测量、公式计算、手术操作和术中术后并发症等,部分患者需要光学产品甚至手术矫正。本文综述近年来白内障术后屈光误差产生原因及其矫正方法的相关文献,为眼科临床工作提供參考。

1 白内障术后屈光误差的原因

1.1 患者眼部状况 术前患者的眼部状况可能影响眼球生物参数测量,从而影响IOL屈光力计算的准确性。白内障手术患者的眼表状态近年来倍受关注^[4]。研究表明,52%的白内障患者伴有睑板腺功能障碍^[5],往往因泪膜不稳定影响角膜光学表面反射的质量,从而影响测量角膜曲率(keratometry, K)的准确性。Matossian^[6]发现睑板腺功能障碍患者经热脉冲系统治疗后,散光增加和减少的比例分别为52%和24%,68%的患者散光治疗规划发生改变。干燥性角结膜炎等眼表不规则,也会影响K值测量的准确性。晶状体混浊重、合并眼部疾病(如糖尿病视网膜病变、黄斑水肿、弱视、青光眼等)者术前视力差,在生物测量时注视差,可能导致K值和眼轴长度(axial length, AL)的测量误差。晶状体悬韧带病变可导致IOL有效位置(effective lens position, ELP)的改变和术源性散光的增大。高度近视患者AL测量值和IOL屈光力公式计算的准确性欠佳,且由于囊袋较大、晶状体悬韧带松弛,从而影响IOL居中和旋转稳定性。此外,角膜瘢痕、虹膜松弛、瞳

孔过小、晶状体核过硬等状况增加术中操作难度,容易引起角膜灼伤,也会导致术后散光加大以及屈光误差。

1.2 术前生物测量 K值和AL是重要的眼球生物学参数。随着IOL屈光力计算公式的进一步发展,越来越多的参数被纳入计算,如前房深度(anterior chamber depth, ACD)、白到白直径、晶状体厚度、中央角膜厚度等。1.00D的K值测量误差可导致术后1.00D的屈光误差^[7]。白内障术后视力不佳的患者中,K值测量误差占22%^[8]。目前可用于角膜前表面或后表面K值测量的设备较多,分别基于placido环、Scheimpflug原理、裂隙扫描或像差等原理。Davison等^[9]研究结果显示,术中基于像差原理计算的IOL屈光力和术前光学测量计算的结果一致;在术前和术中IOL测量差异较大的患者中,使用术中像差测量方法似乎更有价值。需要注意的是,不同角膜曲率测量设备使用的折射率和测量区域等不同,也会导致测量结果的差异。测量角膜前后表面的散光有助于计算总角膜散光,这对于植入散光矫正型IOL(Toric IOL)的患者尤其重要。研究发现,忽略角膜后表面散光可能高估顺规散光而低估逆规散光,也可产生 $7.4^{\circ}\pm 10.3^{\circ}$ 的轴向误差^[10]。联合使用不同原理的设备进行K值重复测量和相互对比,可以提高术前规划的准确性。

研究表明,由AL测量误差所导致的白内障术后视力不佳的比例为36%^[8],1mm的AL误差产生约3.00D的屈光度误差^[11]。临床上超声生物测量仪和光学生物测量仪相继被广泛应用于AL测量,近几年基于扫频光学相干断层扫描技术的新型生物测量仪开始出现,进一步提高了白内障患者AL的检出率和准确性^[12]。Huang等^[13]研究显示,使用IOL Master 700、OA-2000和Argos测量白内障患者AL,AL检出率分别为97.08%、97.08%和99.42%,均较IOL Master v5.4的80.70%高($P<0.05$)。光学生物测量仪测量不直接接触患者眼球,相对于超声或其他测量方法更为准确。但在晶状体混浊严重或后囊下混浊明显的情况下,A超仍有其使用价值。双眼生物参数测量的一致性也是需要关注的问题。双眼AL差异达到0.2mm,则术后出现屈光误差的可能性越大;双眼角膜K值差异 $\geq 0.4D$,则术后预测准确性越差^[14]。

1.3 IOL屈光力计算公式的选择 自20世纪50年代以来,IOL计算公式不断发展和改进,准确性也不断地提高。IOL公式主要分为以下几类:(1)基于回归性研究:如SRK I和SRK II;(2)基于回归性研究和理论公式,根据所需变量的数目可分为2变量公式(Holladay 1、Hoffer Q、SRK/T、T2)、3变量公式(Haigis)、4变量公式(VRF)、5变量公式(Barrett universal II)及7变量公式(Holladay II);(3)基于人工智能:Hill-RBF、Kane、Ladas Super Formula、RBF Calculator;(4)基于光线追踪:Olsen;(5)基于正视化理论的厚透镜公式:Emmetropia Verifying Optical(EVO);(6)基于IOL制造数据:Næser1和Næser2;使用制造商提供的IOL相关数据,如光学形状、光学直径、折射率和IOL厚度、前后表面曲率半径,并代入厚透镜回归公式,由此得到IOL屈光度。但由于IOL的制造数据难以获得,临床上并未得到广泛应用。Næser公式可优化AL,从而减小AL对结果的影响^[15];(7)其他尚未公开发表的新公式:例如Panacea是目前唯一能够输入角膜非球面性(Q)

值和角膜前后表面曲率比值的公式,理论上可以提高目标屈光度的准确性;Pearl DGS是基于人工智能的计算;VRF-G基于理论光学,并结合了回归公式和光线跟踪原理。

临床对于不同的IOL计算公式的准确性根据受AL和ACD等因素的影响。当眼轴位于22~26mm时,IOL计算公式的准确性均较好,多数研究显示70%以上的病例术后屈光状态在 $\pm 0.50D$ 以内^[16]。全眼轴范围内,研究认为Barrett universal II和Olsen的预测准确性较好,其次是Haigis^[17];Kane和EVO的预测准确性也很好^[18]。Hipolito-Fernandes等^[19]认为Kane和VRF-G公式比其他公式更准确。然而,若患者的眼生物参数过于偏离正常值,IOL屈光力计算公式的精确性将大幅降低,术后屈光误差可达1D或甚至更大^[20]。Voytsekhivskyy^[21]研究显示,当AL小于22mm时,白内障术后屈光误差小于 $\pm 1.0D$ 的比例,Holladay 2公式为98.1%,而SRK/T公式为92.4%。Hipolito-Fernandes等^[19]比较VRF-G、Barrett Universal II、EVO 2.0、Haigis、Hill-RBF 2.0、Hoffer Q、Holladay 1、Kane、Næser 2、PEARL-DGS、SRK/T、T2和VRF 13种IOL屈光力计算公式的准确性,结果显示,在短AL中,Hoffer Q的屈光误差大于VRF-G、EVO 2.0、Kane和VRF($P<0.001$),VRF-G的屈光误差最小;正常AL中,Kane和EVO 2.0比其他公式更准确($P<0.001$);在长AL中,Hoffer Q和Holladay 1相较于其他公式准确性最差($P<0.05$),Kane的准确性最好。并且,ACD也是影响IOL屈光力计算公式准确性的重要因素。例如,Yang等^[22]研究显示,SRK/T公式计算白内障术后屈光误差 $\leq \pm 0.50D$ 的比例在 $ACD<2.5mm$ 、 $2.5mm\leq ACD<3.5mm$ 、 $3.5mm\leq ACD$ 时分别为59.5%、70.5%和70.3%,而Hoffer Q公式分别为63.3%、70.0%和67.7%,Haigis公式分别为60.8%、69.7%和75.4%。此外,需要考虑青光眼合并白内障患者术前眼压水平,术前平均眼压处于正常范围者选择SRK/T公式较为准确,而术前平均眼压较高时Hoffer Q公式更合适^[23]。

此外,生物测量参数异常或角膜屈光手术史的患者,在选择IOL计算公式时应特别注意。既往有角膜屈光手术史的患者,由于改变了角膜前表面的形态,导致角膜真实屈光力测量值不准确和屈光系数错误,应使用特定的IOL屈光力计算公式,例如Barrett True-K和Haigis L公式等。

1.4 手术操作和其他原因 白内障手术顺利是保证实现理想的ELP和屈光目标的前提,术中后囊膜破裂或玻璃体切割操作都会导致ELP改变。研究发现IOL偏心超过0.4mm产生0.25D的屈光误差,晶状体前囊口包裹不完全产生0.50D的散光^[24]。对于Toric IOL,术中黏弹剂残留可能导致IOL旋转,降低散光矫正效果。罕见的情况见于IOL植入时患者信息错误或IOL贴错标签。术后出现的后发性白内障和囊袋收缩综合征等也可导致IOL倾斜和偏心,导致ELP发生改变,从而产生屈光不正。

综上,对于术前存在眼表问题的患者,需积极进行处理,待眼表状态稳定后再进行光学生物测量。对于散光患者,要关注角膜前后表面的散光,并注意不同角膜曲率测量设备的特点。对于眼轴超长或超短、角膜平坦或陡峭、

前房过浅或过深等患者,应注意 IOL 计算公式的选择。短 AL 可选择 VRF-G 公式,长 AL 选择 Kane 公式。对于严重晶状体混浊影响检出或存在过高手术风险的患者,应重视术前充分地沟通,设置合适的术后期望值。检查者和手术者也是必不可少的一环。总之,理想屈光目标的实现需术前、术中、术后每一环节的精准执行,以及与患者的有效沟通,才能最大程度地提升患者术后满意度。

2 白内障术后屈光误差的矫正

积极寻找白内障术后的屈光误差的原因,不仅有助于确定矫正方案,同时避免再次发生同样的问题。并非所有的屈光误差都需矫正,应根据屈光误差的大小和患者的容忍度来决定,而容忍度与植入 IOL 类型相关。对于老视矫正型 IOL,景深延长型(enhance depth of focal, EDOF) IOL 对屈光误差的容忍度更大,而多焦点人工晶状体(multifocal intraocular lens, MIOL)的容忍度相对较小^[25]。对于不能耐受的屈光误差,可通过框架眼镜和角膜接触镜等非手术方式来矫正;少数病例采用手术方式如角膜屈光手术和眼内屈光手术进行矫正。实施矫正手术之前,需等待 6wk 或更长时间,待角膜水肿完全消退和屈光状态稳定后再进行手术^[26]。IOL 度数错误需行 IOL 置换和 Toric IOL 的调位则应在 3wk 内进行,避免 IOL 与囊袋黏连,增加手术风险。

2.1 角膜屈光手术

角膜屈光手术主要包括激光视力矫正(laser vision correction, LVC),即准分子激光原位角膜磨镶术(laser *in situ* keratomileusis, LASIK)、准分子激光角膜切削术(photorefractive keratectomy, PRK)和飞秒激光小切口角膜基质透镜取出术(small incision lenticule extraction, SMILE);矫正散光的松解性角膜切开术,如角膜缘松解切口(limbal relaxing incision, LRI)和对侧透明角膜切口(opposite clear corneal incision, OCCI)。手术方式的选择取决于眼部的合并症、植入 IOL 的类型、角膜厚度、残留屈光不正的类型和屈光度等。LVC 中 LASIK 和 PRK 是早前最常用的手术方式,而 SMILE 手术目前已被用于 II 期矫正极高度近视患者有晶状体眼后房型人工晶状体(implantable collamer lens, ICL)植入术后残留的屈光不正,并展现出良好的有效性及安全性。例如,Brar 等^[27]研究显示,SMILE 术后等效球镜由 $-3.40 \pm 1.89D$ 降至 $-0.48 \pm 0.24D$,柱镜由 $-1.93 \pm 1.07D$ 降至 $-0.38 \pm 0.24D$ 。理论上,SMILE 手术也可以用于白内障术后残留屈光不正的矫正。但 SMILE 手术由于缺乏客观的虹膜定位跟踪系统或自动瞳孔追踪系统,术中角膜切削中心和轴位固定几乎全部依赖于患者配合和术者经验,可能减低矫正效果。松解性角膜切开术通常用于矫正 1.00D 以内的散光,LVC 也是矫正白内障术后残余低度屈光不正(1.00D 以内)较好的方法,在长期的临床实践中表现出了良好的准确性、安全性和稳定性^[28]。

角膜屈光手术矫正白内障术后屈光误差的主要优势在于:(1)可矫正不同类型的屈光不正,如近视、远视和散光。(2)不受角膜内皮细胞数量和晶状体后囊膜等情况的限制。(3)避免进入眼内,降低眼内炎、黄斑水肿和后囊膜破裂等风险,安全性较高。但角膜屈光手术也存在缺点:(1)LVC 矫正屈光不正的范围受角膜厚度的限制。对于大于 1.00D 的远视,LVC 可预测性和长期稳定性欠佳。(2)可能增加眼高阶像差和降低对比敏感度,对于植入 MIOL 的患者需特别注意。也有部分学者认为,波前像差

引导的 LASIK 手术可用于 MIOL 的患者,术后 98% 的患者屈光误差在 $\pm 0.50D$ 以内,93% 的患者散光在 0.50D 以内^[29]。(3)LVC 最大的劣势在于增加眼表疾病的风险,如干眼、神经营养性角膜炎、角膜扩张症和角膜感染等,特别是老年患者眼表状态普遍欠佳。(4)LASIK 术中制作角膜瓣时,可能导致先前的白内障手术切口裂开。

2.2 眼内屈光手术

眼内屈光手术主要包括 IOL 置换和植入背驮式 IOL,适合角膜过薄、残留屈光度较高特别是较大度数的远视患者。相对于角膜屈光手术,眼内手术的优点在于避免因切削角膜而产生不良反应,但也存在内眼手术相应的风险。

IOL 置换主要用于对 MIOL 的光学不耐受或残留屈光不正较大的患者。IOL 置换的缺点或限制在于:(1)手术技术更具有挑战性,需要更多的术中操作,悬韧带松弛或断裂、囊袋并发症、玻璃体损失、内皮细胞减少和黄斑水肿等并发症发生风险更大。(2)IOL 置换的前提是角膜内皮细胞计数在安全范围内且后囊膜完整。(3)对于散光的矫正能力差,并可能引入新的术源性散光。(4)手术时间窗有限,白内障术后囊膜纤维化可能导致 IOL 与囊袋黏连,增加手术难度和术中风险。(5)可预测性相对较低。新置换的 IOL 屈光度计算是基于已知第一次植入 IOL 的屈光度和两个 IOL 位于相同的 ELP 的假设。但是,这些变量可能是未知的或不可预测的。

背驮式 IOL 是在囊袋内叠加植入 2 枚 IOL,或在囊袋内和睫状沟内各植入 1 枚 IOL。早期主要用于白内障术中 I 期植入以矫正高度远视,之后用于 II 期植入另一枚 IOL 来矫正白内障术后非预期的屈光误差。早期学者使用经验法则确定背驮式 IOL 的度数以矫正白内障术后的屈光误差,即近视患者 IOL 的负屈光度等于等效球镜度,远视患者 IOL 的正屈光度是等效球镜的 1.5 倍^[30]。但是当屈光误差大于 6.00D 时,经验法可预测性降低。针对这一问题,Doctor-Hill、Holladay R 和 Barrett Rx 等公式被提出,一定程度上提高了背驮式 IOL 的可预测性。相对于 IOL 置换,背驮式 IOL 的优点在于:(1)可预测性和准确性更好。Levinger 等比较背驮式 IOL 植入和 IOL 置换矫正残留屈光不正的效果,随访 20mo 发现,背驮式组 92% 患者的屈光误差在 $\pm 0.50D$ 以内,而置换组为 82%,并且背驮式组的并发症少于置换组^[31]。(2)手术操作更简便,安全性更高;只需在睫状沟内另植入一枚 IOL,创伤更小。其缺点在于可能导致 IOL 层间混浊、虹膜损伤伴色素播散、IOL 脱位、瞳孔阻滞、眼内出血、黄斑囊样水肿等。

近来出现的特定的睫状沟 IOL Sulcoflex (Rayner Intraocular Lenses Ltd, UK)使用特殊设计来增大 IOL 在睫状沟内的稳定性,这对于提高 IOL 的旋转稳定性,预防黄斑水肿、色素性青光眼和前房积血尤为重要。另一种不常见的方式是于睫状沟植入小孔型 IOL,有助于消除白内障术后残余屈光度,同时在不影响视野的情况下延长焦点深度,特别适用于有角膜手术史而白内障术后视力不佳的患者^[32]。由于背驮式 IOL 容易置换,部分研究者在白内障术中 I 期植入两枚 IOL,囊袋内植入单焦点 IOL,睫状沟内植入 MIOL,为术后出现残余屈光不正或对 MIOL 不耐受的患者提供了一种相对安全的治疗方式^[33]。

2.3 矫正屈光误差的新技术

2.3.1 组合式人工晶状体

组合式人工晶状体(multicomponent intraocular lens, MCIOL) (Precisight,

InfiniteVision Optics)由一个疏水性基础 IOL 和一个可更换的亲水性前透镜组合而成,前透镜通过双侧“桥”开口与基础透镜相连接。当出现屈光误差需矫正时,可更换前透镜来矫正近视、远视和散光。同时基础 IOL 在二次手术中保护后囊免受损伤。Uy 等^[34]研究证明,残留屈光不正的患者在更换前透镜后,裸眼远视力(LogMAR)从 0.20±0.20 提高到 0.02±0.08,残留的屈光误差从 1.3±1.1D 降低到 0±0.38D,并且显示出了良好的安全性。另一项研究证明,MC IOL 有良好的旋转稳定性,并且不会受二次手术置换手术的影响^[35]。对于白内障手术后残留屈光不正的高危患者,MC IOL 可能是一种较好的选择。

2.3.2 光可调节人工晶状体 光可调节人工晶状体(light-adjustable intraocular lens, LAL)是一种可折叠的三件式硅凝胶 IOL。硅凝胶包含对紫外光敏感的大分子单体,IOL 植入后 2~3wk,光传输装置用于诱导大分子单体的聚合反应,从而改变 IOL 的屈光度。达到目标屈光度后,使用紫外光照射锁定屈光度。可多次操作,球镜矫正范围为 2D 以内,柱镜矫正范围为 3D 以内。同时,LAL 的照射安全性较高,不损伤角膜和黄斑,即使予以 5 倍治疗剂量的紫外光,也没有明显的视网膜毒性迹象。Sandstedt 等^[36]体外研究发现,LAL 照射还可能将单焦点 IOL 改变为多焦点。LAL 也展现了良好的稳定性,Chayet 等^[37]在 9mo 的随访中,等效球镜平均每月变化率为 0.006D,稳定性是角膜屈光手术的 6 倍。Schojai 等^[38]对植入 LAL 的患者随访 7a,结果显示患者屈光结果稳定,角膜厚度无明显变化,仅有 2 例患者出现 IOL 材料的轻度混浊,但不影响视力。

2.3.3 飞秒激光系统 飞秒激光系统(Perfector)可改变 IOL 折射率,通过使用激光在透镜的目标区域诱导化学反应,使 IOL 亲水性增加而折射率降低,从而在特定区域内构建折射率改变的新透镜(refractive-index-shaping lens),最终改变 IOL 的屈光度^[39]。其优势在于无需使用特殊的 IOL,可多次操作,是一种非侵入性治疗手段。并且可以添加高级功能,如多焦点区域^[40]。新构建的 IOL 体外测试展现了良好的透光率和散射指数^[39]。同时在兔模型的体内研究显示了良好的葡萄膜和囊膜生物相容性,激光程序不会引起眼内炎症反应或对 IOL 光学部造成损伤^[40]。

综上,对于白内障术后残留屈光不正但度数较小的患者,特别是残留散光的患者,以及角膜内皮细胞数量较少或晶状体后囊膜不完整的患者,若眼表功能良好可选择行角膜屈光手术。对于残留屈光不正度数较大的患者,尤其是残留远视的患者,在术后早期可由手术经验丰富的医师进行 IOL 置换。新技术的出现值得期待,而长期效果仍然有待进一步观察。

3 Toric IOL 植入后残留屈光不正的原因和矫正

散光矫正达到最佳屈光结果取决于诸多因素,包括 Toric IOL 屈光力计算公式的正确选择、后角膜散光的考虑、术源性散光的良好估计、IOL 轴向的准确标记,以及 Toric IOL 轴向的精确对准。Toric IOL 偏离目标轴向 1°,则散光矫正效果降低 3%;偏离 30°则导致散光未得到任何矫正,同时改变散光轴向^[41]。多种原因可以影响 Toric IOL 的旋转稳定性,包括囊袋过大或 IOL 过小、黏弹剂残留、术后前房不稳定、撕囊口过大、IOL 偏心、IOL 的设计和材料等。当术后残留散光大于 0.75D,并伴明显症状时可考虑矫正^[42]。矫正前应了解患者目前的屈光状态以及 Toric IOL 的度数和轴向,Toric IOL 在线计算器有助于二

次规划 IOL 轴向,例如 Alcon Toric IOL Calculator、the Barrett Rx formula、Johnson & Johnson TECNIS Toric IOL Calculator、Berdahl and Hardten Astigmatism Fix Calculator 和 Barrett Rx 等。Toric IOL 轴向的调整时机建议在 1mo 内^[41],也有在 1~3wk 左右^[43]。白内障术后 1wk 内进行调整,IOL 再次旋转几率大;1mo 后调整则 IOL 与囊袋黏连,增加手术风险。角膜切开术可以矫正低度散光,但是其可预测性较低。

4 总结

尽管白内障手术相关的技术不断发展与进步,术后的屈光预测精确性进一步提高,但术前、术中和术后的某些因素仍会导致术后屈光误差的出现。临床实践中,术前需要关注患者的眼表健康与稳定状况,光学生物测量中应注意测量结果的准确性、重复性,以及双眼一致性,并选择合适 IOL 屈光力计算公式。若白内障术后出现患者不耐受的屈光误差,需要仔细寻找导致屈光误差的原因,并在适当的时机内选择适当的方式来矫正,提升患者满意度。

参考文献

- 1 Alio JL, Abdelghany AA, Fernández-Buenaga R. Management of residual refractive error after cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2014;25(4):291-297
- 2 Lundström M, Dickman M, Henry Y, et al. Risk factors for refractive error after cataract surgery: analysis of 282 811 cataract extractions reported to the European Registry of Quality Outcomes for cataract and refractive surgery. *J Cataract Refract Surg* 2018;44(4):447-452
- 3 Palomino-Bautista C, Carmona-González D, Sánchez-Jean R, et al. Refractive predictability and visual outcomes of an extended range of vision intraocular lens in eyes with previous myopic laser *in situ* keratomileusis. *Eur J Ophthalmol* 2019;29(6):593-599
- 4 中华医学会眼科学分会白内障及人工晶状体学组. 中国白内障围手术期干眼防治专家共识(2021年). *中华眼科杂志* 2021;57(1):17-22
- 5 Cochener B, Cassan A, Omiel L. Prevalence of meibomian gland dysfunction at the time of cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2018;44(2):144-148
- 6 Matossian C. Impact of thermal pulsation treatment on astigmatism management and outcomes in meibomian gland dysfunction patients undergoing cataract surgery. *Clin Ophthalmol* 2020;14:2283-2289
- 7 Salouti R, Nowroozzadeh MH, Zamani M, et al. Comparison of the ultrasonographic method with 2 partial coherence interferometry methods for intraocular lens power calculation. *Optometry* 2011;82(3):140-147
- 8 Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand* 2007;85(5):472-485
- 9 Davison JA, Potvin R. Preoperative measurement vs intraoperative aberrometry for the selection of intraocular lens sphere power in normal eyes. *Clin Ophthalmol* 2017;11:923-929
- 10 Ho JD, Tsai CY, Liou SW. Accuracy of corneal astigmatism estimation by neglecting the posterior corneal surface measurement. *Am J Ophthalmol* 2009;147(5):788-795
- 11 Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(3):368-376
- 12 Tamaoki A, Kojima T, Hasegawa A, et al. Clinical evaluation of a new swept-source optical coherence biometer that uses individual refractive indices to measure axial length in cataract patients. *Ophthalmic Res* 2019;62(1):11-23
- 13 Huang JH, Chen H, Li Y, et al. Comprehensive comparison of axial length measurement with three swept-source OCT-based biometers and partial coherence interferometry. *J Refract Surg* 2019;35(2):115-120

- 14 Kansal V, Schlenker M, Ahmed IK. Interocular axial length and corneal power differences as predictors of postoperative refractive outcomes after cataract surgery. *Ophthalmology* 2018;125(7):972-981
- 15 Næser K, Savini G. Accuracy of thick-lens intraocular lens power calculation based on cutting-card or calculated data for lens architecture. *J Cataract Refract Surg* 2019;45(10):1422-1429
- 16 Darcy K, Gunn D, Tavassoli S, et al. Assessment of the accuracy of new and updated intraocular lens power calculation formulas in 10 930 eyes from the UK National Health Service. *J Cataract Refract Surg* 2020;46(1):2-7
- 17 Savini G, Hoffer KJ, Balducci N, et al. Comparison of formula accuracy for intraocular lens power calculation based on measurements by a swept-source optical coherence tomography optical biometer. *J Cataract Refract Surg* 2020;46(1):27-33
- 18 Savini G, Taroni L, Hoffer KJ. Recent developments in intraocular lens power calculation methods—update 2020. *Ann Transl Med* 2020;8(22):1553
- 19 Hipólito-Fernandes D, Elisa Luís M, Gil P, et al. VRF-G, a new intraocular lens power calculation formula: a 13-formulas comparison study. *Clin Ophthalmol* 2020;14:4395-4402
- 20 Rögglä V, Langenbucher A, Leydolt C, et al. Accuracy of common IOL power formulas in 611 eyes based on axial length and corneal power ranges. *Br J Ophthalmol* 2021;105(12):1661-1665
- 21 Voytsekhivskyy OV. Development and clinical accuracy of a new intraocular lens power formula (VRF) compared to other formulas. *Am J Ophthalmol* 2018;185:56-67
- 22 Yang S, Whang WJ, Joo CK. Effect of anterior chamber depth on the choice of intraocular lens calculation formula. *PLoS One* 2017;12(12):e0189868
- 23 张鹏程, 张婕, 严宏. 眼压对青光眼——白内障联合术患者人工晶状体计算公式选择的影响. *眼科新进展* 2018;38(2):146-149
- 24 Okada M, Hersh D, Paul E, et al. Effect of centration and circularity of manual capsulorrhexis on cataract surgery refractive outcomes. *Ophthalmology* 2014;121(3):763-770
- 25 杨丽, 兰长骏, 廖萱. 新型老视矫正型人工晶状体的研究进展与临床应用. *国际眼科杂志* 2020;20(7):1167-1170
- 26 Kieval JZ, Al-Hashimi S, Davidson RS, et al. Prevention and management of refractive prediction errors following cataract surgery. *J Cataract Refract Surg* 2020;46(8):1189-1197
- 27 Brar S, Batra A, Shah ML, et al. Outcomes of bioptics with small-incision lenticule extraction as a sequential treatment after implantable collamer lens for management of extreme myopia. *J Cataract Refract Surg* 2021;47(6):741-747
- 28 Roszkowska AM, Urso M, Signorino GA, et al. Photorefractive keratectomy after cataract surgery in uncommon cases; long-term results. *Int J Ophthalmol* 2018;11(4):612-615
- 29 Seiler TG, Wegner A, Senfft T, et al. Dissatisfaction after trifocal IOL implantation and its improvement by selective wavefront-guided LASIK. *J Refract Surg* 2019;35(6):346-352
- 30 Gayton JL, Sanders V, van der Karr M, et al. Piggybacking intraocular implants to correct pseudophakic refractive error. *Ophthalmology* 1999;106(1):56-59
- 31 El Awady HE, Ghanem AA. Secondary piggyback implantation versus IOL exchange for symptomatic pseudophakic residual ametropia. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2013;251(7):1861-1866
- 32 Son HS, Khoramnia R, Mayer C, et al. A pinhole implant to correct postoperative residual refractive error in an RK cataract patient. *Am J Ophthalmol Case Rep* 2020;20:100890
- 33 Baur ID, Auffarth GU, Yildirim TM, et al. Reversibility of the duet procedure: bilateral exchange of a supplementary trifocal sulcus-fixed intraocular lens for correction of a postoperative refractive error. *Am J Ophthalmol Case Rep* 2020;20:100957
- 34 Uy HS, Tesone-Coelho C, Ginis H. Enhancement—procedure outcomes in patients implanted with the Precisight multicomponent intraocular lens. *Clin Ophthalmol* 2019;13:107-114
- 35 Uy HS, Tesone-Coelho C. Rotational stability of a new multicomponent intraocular lens. *Clin Ophthalmol* 2019;13:1897-1907
- 36 Sandstedt CA, Chang SH, Grubbs RH, et al. Light-adjustable lens: customizing correction for multifocality and higher-order aberrations. *Trans Am Ophthalmol Soc* 2006;104:29-39
- 37 Chayet A, Sandstedt C, Chang S, et al. Correction of myopia after cataract surgery with a light-adjustable lens. *Ophthalmology* 2009;116(8):1432-1435
- 38 Schojai M, Schultz T, Schulze K, et al. Long-term follow-up and clinical evaluation of the light-adjustable intraocular lens implanted after cataract removal: 7-year results. *J Cataract Refract Surg* 2020;46(1):8-13
- 39 Nguyen J, Werner L, Ludlow J, et al. Intraocular lens power adjustment by a femtosecond laser: *in vitro* evaluation of power change, modulation transfer function, light transmission, and light scattering in a blue light-filtering lens. *J Cataract Refract Surg* 2018;44(2):226-230
- 40 Werner L, Ludlow J, Nguyen J, et al. Biocompatibility of intraocular lens power adjustment using a femtosecond laser in a rabbit model. *J Cataract Refract Surg* 2017;43(8):1100-1106
- 41 中华医学会眼科学分会白内障与人工晶状体学组. 我国散光矫正型人工晶状体临床应用专家共识(2017年). *中华眼科杂志* 2017;53(1):7-10
- 42 Alio JL, Abdelghany AA, Fernández-Buenaga R. Enhancements after cataract surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2015;26(1):50-55
- 43 Oshika T, Inamura M, Inoue Y, et al. Incidence and outcomes of repositioning surgery to correct misalignment of toric intraocular lenses. *Ophthalmology* 2018;125(1):31-35