

# 白内障术后屈光误差的相关影响因素分析

徐东艳 王晶\*

济南市第二人民医院 山东济南 250021

**摘要：**白内障术后屈光误差不仅与眼生物参数的精准测量以及人工晶状体计算公式的优化有关，通过前房深度的变化预测人工晶体有效位置也与其密不可分。临床医生必须多因素考虑来减少术后屈光误差，提高白内障患者的术后视觉质量。

**关键词：**白内障手术；屈光误差；前房深度；人工晶体

白内障是全球首位的致盲眼病<sup>[1]</sup>。在我国白内障也是低视力和失明的主因，致盲率可达2.3%<sup>[2][3]</sup>。如今我国人口老龄化越来越严重，50岁以上群体白内障患病率能达到27.45%<sup>[4]</sup>。手术是目前唯一有效的治疗方法。随着手术的精进、功能性IOL的应用、IOL公式的优化，白内障术后的视觉质量显著提高。而临床工作中，仍有部分患者术后出现不同程度的屈光误差影响患者的视觉质量。因此，减少术后屈光误差，改善患者视觉质量已成为眼科医生关注的热点。本文旨在分析白内障术后屈光误差影响因素，为后续研究提供参考。

## 1. 眼部其他疾病的影响

白内障患者术前检查包括裸眼及矫正视力、眼压、裂隙灯、IOL Master、眼部AB超以及后节OCT等。必要的术前检查能预判除白内障以外是否还存在其他眼部疾病，如角膜病变<sup>[5]</sup>、葡萄膜炎<sup>[6][7]</sup>、视网膜病<sup>[8][9]</sup>及视神经病变<sup>[10]</sup>等均可能影响术后视觉质量。眼科医生术前明确告知患者眼部病情可降低患者期望值。此外，患者术前并未发现眼部其他病变，但术后视力仍欠佳则应考虑是术后角膜屈光状态及屈光误差的问题<sup>[11]</sup>。

## 2. 角膜屈光状态的影响

角膜散光是影响视觉质量的主因之一。既往报道<sup>[12]</sup>，约96%的白内障患者术前存在不等的角膜散光，散光值大于1D会显著影响患者的视觉质量。目前白内障术中矫正角膜散光的主流术式是角膜松解术<sup>[13]</sup>及Toric IOL植入术。随着屈光性白内障时代的到来，术源性散光（Surgically induced stigmatism, SIA）也成为影响白内障术后视觉质量的关键因素之一。SIA的大小与角膜切口的大小、部位等相关。Liang等<sup>[14]</sup>发现2.2mm比3.0mm角膜切口白内障术后产生

的SIA更低。Piao等<sup>[15]</sup>把陡峭轴位角膜切口（颞侧、颞上、鼻上及上侧）分为四组，发现上方切口组产生的SIA显著降低。因此白内障手术可以通过改变切口大小及位置来减少SIA对术后视觉质量的影响。

## 3. 屈光度准确性的影响

### 3.1 生物学参数测量误差

眼轴长度（Axial Length）的传统测算是超声生物测量，其优点是不受晶体混浊程度的干扰，尤其对致密白内障的眼轴测量有优势，但是容易受眼内异常解剖结构的影响。例如，高度近视伴有后巩膜葡萄肿的患者，A超容易误测到后葡萄肿区域造成AL偏长，导致术后远视漂移，且眼轴越长远视漂移越大<sup>[16][17]</sup>。光学测量仪器明显减少AL误差。例如，IOL-master 700是基于扫频OCT技术，能准确测量泪膜到黄斑神经上皮层间的距离；其不受眼内结构的影响，是眼轴测量的金标准。一项研究发现<sup>[18]</sup>，在术后屈光误差>2D的白内障患者中，43%–67%可归因于术前生物参数测量误差，而AL的误差是影响计算结果的主要来源。Olsen<sup>[19]</sup>也证实，在具有正常眼轴长度的患者群体中，眼轴每缩短1毫米，屈光度误差将相应增加约2.8屈光度单位；而在长眼轴患者中，眼轴每减少1毫米，人工晶状体的屈光度误差将上升2至2.5屈光度单位。

角膜曲率（Keratometry）、前房深度（Anterior Chamber Depth）以及晶体厚度（Lens Thickness）也是生物测量的重要参数之一。K值增加产生近视漂移，K值减小产生远视漂移<sup>[20][21]</sup>。ACD测量误差可能影响IOL有效位置，导致眩光或光晕等视觉质量问题。LT的测量对于极端眼轴长度（短或长AL）尤其重要，其不准确性可能导致不理想的屈光结果和术后视力可能需要戴镜矫正。目前生物测量仪器较多，

包括 Pentacam、Itrace、IOL-master 等。各种测量仪器虽然原理不同，但准确性及一致性均较高。

### 3.2 有效人工晶体位置误差

有效人工晶状体位置 (effective lens position, ELP) 是指沿视轴方向，角膜后表面距人工晶状体等效光学面的距离。ELP 术前无法准确获取，只能通过术前生物参数 (如 AL、ACD、K、LT 等) 进行估算。其中，ACD 是反映 ELP 最重要的参数。ACD 术后变化导致 ELP 改变，患者会出现屈光漂移<sup>[22]</sup>。Norrby S<sup>[23]</sup> 发现 AL 测量导致的屈光误差已经减少至 17%，而术后 ACD 变化导致 ELP 的改变成为屈光误差的最大来源，占比约 35%。

目前对于 ACD 变化影响术后 ELP 导致怎样的屈光误差尚存在争议。临床研究<sup>[1]</sup> 发现，白内障术后 ACD 较术前明显加深，且变化的程度与术前 ACD 有关，术前浅前房的患者白内障术后前房深度变化大于深前房的患者。Ning 等人<sup>[24]</sup> 研究发现：术前 ACD 的深浅与术后 ACD 变化呈负相关。当术前 ACD 较浅时，ACD 的变化较大，当其  $>1.65$  mm 时，术后倾向近视漂移；ACD 变化  $<1.65$  mm 时，患者术后容易发生远视漂移。Bilak 等<sup>[25]</sup> 人研究提示：患者术前 ACD 增加 1 mm，术后 ACD 增加 0.6mm 至 0.7 mm。Jonas<sup>[26]</sup> 等人研究认为，ACD 每变化 1.0mm，则会引起 1.34D 的屈光偏差。

合并浅前房的白内障术后近视漂移的原因分析。首先，浅前房患者多伴晶状体较厚、眼轴较短等解剖异常，降低了术后 ELP 的准确性，容易造成 IOL 的预测屈光度偏大，导致术后近视漂移。其次，如果术中撕囊过大，前囊膜未完全覆盖 IOL 光学区，造成 IOL 位置前移，也会导致术后近视漂移。然而也有与之相悖的研究，认为浅前房白内障术后容易出现远视漂移。孙娟<sup>[27]</sup> 及董喆<sup>[28]</sup> 等人研究发现合并浅前房的患者白内障术后存在远视漂移，且远视漂移程度与术前 ACD 呈负相关性，与术后 ACD 呈正相关性。分析原因可能是浅前房患者一般晶状体虹膜隔较厚，术后前房深度显著加深时，表现为屈光度计算不足，导致远视漂移；其次，他们应用的第三代 SRK-T 公式 (仅应用 AL 及 K 预测前房深度) 预测精度存在局限性有关。

目前对于深前房的白内障术后屈光状态研究甚少，刘佳<sup>[29]</sup> 等人研究发现，白内障术后屈光误差受术前 ACD 影响，术前 ACD 越大，术后容易出现远视误差。这可能与深前房的患者白内障术后 ELP 也相对靠后相关。

Gaurisankar 等人<sup>[30]</sup> 报道前房深度与眼轴长度呈正相关，即长眼轴多伴深前房，短眼轴多伴浅前房。Maria<sup>[31]</sup> 等发现短眼轴患者白内障术后前房深度变化明显大于正常眼轴或长眼轴患者；合并短眼轴的浅前房患者超声乳化术后容易近视漂移，而合并长眼轴的深前房患者术后容易远视漂移。由此可见，ACD 的变化与多种因素 (术前 ACD、AL 等) 有关。其对术后屈光漂移的影响仍存在争议，这方面仍需进一步的临床研究。

### 3.3 IOL 计算公式优选

传统的 IOL 计算公式可分为五代。每一代 IOL 计算公式都建立在之前的公式基础上，并结合了更多的变量和复杂的模型来提高精度。第一代公式 (如 Binkhorst I, Fyodorov, SRK I 等) 是基于几何光学理论，并使用简单的线性回归模型得出。他们主要考虑 AL 和 K，ACD 大多是与 IOL 的 A 常数相关的固定值<sup>[32][33]</sup>。对于极端 AL 准确性较低。第二代公式 (如 SRK II, Binkhorst II) 应用非线性回归来修正第一代公式。他们还引入了经验常数来提高准确性，并纳入了 ELP 的概念。例如，SRK II 使用 A 常数来调整不同的 IOL 类型<sup>[34]</sup>。然而，它们在准确性上仍然有局限性。第三代公式 (如 SRK/T、Hoffer Q、Holladay I) 基于高斯光学的聚散法则，结合多种生物参数来预测 ELP，提高 IOL 折射的精度。它们提高了更广泛类型眼睛的准确性，包括短 AL 和长 AL，但仍然不能满足一些异常解剖特征的眼睛<sup>[35][36][37]</sup>。第四代公式 (如 Haigis<sup>[38]</sup>、Holladay II<sup>[39]</sup>) 使用更复杂的数学模型和更多的生物参数，以在更广泛的眼睛类型中实现更高的准确性，包括眼前段解剖异常的眼睛。例如，Haigis 公式使用三个常数 (a0、a1、a2) 来解释不同的眼睛特征。第五代公式 (如 Barrett Universal II, Olsen 等) 基于厚透镜原理及人眼的真实模型，它们结合了多种生物学参数，并考虑了角膜后曲率。因此，它们具有较高准确性，能更好地应用到多种眼睛类型<sup>[39][40]</sup>。

利用人工智能开发的 IOL 计算公式值得评论。例如，Hill-RBF 公式不需要计算 ELP，而是使用一个大数据库来进行计算和分析。Kane 公式考虑了性别参数，结合了人工智能和理论原理，与其他公式相比，术后的绝对屈光不正更小<sup>[41]</sup>。然而，对于特殊解剖结构的眼睛，如果眼部参数与正常值偏离较大，与大数据库中的数据无法匹配，则得到结果的准确性并不高，因此人工智能公式仍存在局限性。

对于正常或接近正常生物学参数的眼睛, 第三代及以上 IOL 计算公式都表现出较高的准确性和一致性。但是对于特殊类型的白内障, 优选人工晶体显得尤为重要。基于 Snell's law 计算光线追踪技术的第五代 Barrett Universal II 公式, 因其包含多种生物参数(如 AL、ACD、K、LT、WTW), 术后屈光误差较小, 目前广泛应用于各种类型的白内障<sup>[42]</sup>。

#### 4. 小结

综上所述, 白内障术后的视觉质量与其他眼病、角膜屈光状态、IOL 的屈光准确性等因素密切相关。术前 IOL 屈光度的预留在很大程度上受到生物参数的测量、ELP 和 IOL 的计算公式的影响。值得注意的是, 近年来, ACD 的变化作为一个关键因素受到了广泛的关注, 因其引起的屈光漂移极大地影响术后的视觉质量。ACD 的变化受多种因素(如 AL、K、LT)的影响, 目前的研究仍存在歧义。需要对大样本临床数据进行分析, 找出客观规律, 以减少 ACD 变化引起的屈光漂移。总之, 关注引起白内障术后屈光误差的影响因素, 综合分析, 个性化设计, 把相关因素降到最低, 是提高白内障患者术后视觉质量的关键。

#### 参考文献:

[1] Sedaghat MR, Azimi A, Arasteh P, Tehranian N, Bamdad S. The Relationship between Anterior Chamber Depth, Axial Length and Intraocular Lens Power among Candidates for Cataract Surgery. *Electron Physician*. 2016;8(10):3127–3131. DOI:10.19082/3127.

[2] Xu T, Wang B, Liu H, Wang H, Yin P, Dong W, Li J, Wang YX, Yusufu M, Briant P, et al. Prevalence and causes of vision loss in China from 1990 to 2019: findings from the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet Public Health*. 2020;5(12):e682–e691. DOI:10.1016/S2468–2667(20)30254–1.

[3] Song P, Wang H, Theodoratou E, Chan KY, Rudan I. The national and subnational prevalence of cataract and cataract blindness in China: a systematic review and meta-analysis. *J Glob Health*. 2018;8(1):010804.

[4] Du YF, Liu HR, Zhang Y, Bai WL, Li RY, Sun RZ, Wang NL. Prevalence of cataract and cataract surgery in urban and rural Chinese populations over 50 years old: a systematic review and Meta-analysis. *Int J Ophthalmol*. 2022;15(1):141–149.

[5] 徐英男, 龙潭, 谢立信. Fuchs 角膜内皮营养不良患者白内障手术的临床观察 [J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2014, 16(1):4. DOI:10.3760/ema.j.issn.1674–845X.2014.01.009.

[6] Hara T, Hara T. Clinical results of endocapsular phacoemulsification and complete in-the-bag intraocular lens fixation. *J Cataract Refract Surg*. 1987;13(3):279–286. DOI:10.1016/S0886–3350(87)80071–8.

[7] Angra SK, Vajpayee RB, Titiyal JS, Sharma YR, Sandramouli S, Kishore K. Types of posterior capsular breaks and their surgical implications. *Ophthalmic Surg*. 1991;22(7):388–391. DOI:10.1111/j.1475–1313.1991.tb00539.x.

[8] 王儒杰, 范钦华, 郭斌, 等. 白内障超声乳化术后黄斑中心凹下脉络膜厚度的改变 [J]. *临床眼科杂志*, 2016, 24(2):109–112. DOI:10.3969/j.issn.1006–8422.2016.02.004.

[9] Klein R, Klein BE, Wong TY, Tomany SC, Cruickshanks KJ. The association of cataract and cataract surgery with the long-term incidence of age-related maculopathy: the Beaver Dam eye study. *Arch Ophthalmol*. 2002;120(11):1551–1558. DOI:10.1001/archophth.120.11.1551.

[10] Cohen JS, Novack GD, Zink JM. Intraocular pressure and visual field damage as risk factors for visual field progression in filtering surgery. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2010;41(4):452–458. DOI:10.3928/15428877–20100525–03.

[11] Satou T, Shimizu K, Tsunehiro S, Igarashi A, Kato S, Koshimizu M, Niida T. Development of a new intraocular lens power calculation method based on lens position estimated with optical coherence tomography. *Sci Rep*. 2020;10(1):6501.

[12] 陈星, 于建春, 周丹英, 等. 角膜地形图引导的个性化切口对白内障超声乳化手术的疗效分析 [J]. *临床眼科杂志*, 2013, 21(6):503–505. DOI:10.3969/j.issn.1006–8422.2013.06.007.

[13] 王晓莉, 张然. 多焦点 IOL 植入联合角膜松解切口矫正白内障合并角膜散光的分析 [J]. *国际眼科杂志*, 2013, 13(11):3. DOI:10.3980/j.issn.1672–5123.2013.11.47.

[14] Liang J L, Xing X L, Yang X T, et al. Clinical comparison analysis in surgically induced astigmatism of the total, anterior and posterior cornea after 2.2–mm versus 3.0–mm clear corneal incision cataract surgery [J]. *Zhonghua yan ke za zhi Chinese*

- journal of ophthalmology, 2019, 55(7):495–501.DOI:10.3760/cma.j.issn.0412–4081.2019.07.004.
- [15]Piao J, Joo CK. Site of clear corneal incision in cataract surgery and its effects on surgically induced astigmatism. *Sci Rep*. 2020;10(1):3955.DOI:10.1038/s41598–020–60985–5.
- [16]郑虔, 赵镇南, 廉恒丽, 等. 轴性高度近视眼超声乳化白内障吸除联合人工晶状体植入术后屈光度数误差分析[J]. *中华眼科杂志*, 2015 (4): 276–281.DOI:10.3760/cma.j.issn.0412–4081.2015.04.009.
- [17]Zhu X, He W, Sun X, Dai J, Lu Y. Fixation Stability and Refractive Error After Cataract Surgery in Highly Myopic Eyes. *Am J Ophthalmol*. 2016;169:89–94.DOI:10.1016/j.ajo.2016.06.022.
- [18]Holladay JT, Prager TC, Ruiz RS, Lewis JW, Rosenthal H. Improving the predictability of intraocular lens power calculations. *Arch Ophthalmol*. 1986;104(4):539–541.DOI:10.1001/archophth.1986.01050160095020.
- [19]Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand*. 2007;85(5):472–485.DOI:10.1111/j.1600–0420.2007.00879.x.
- [20]Kansal V, Schlenker M, Ahmed HK. Interocular Axial Length and Corneal Power Differences as Predictors of Postoperative Refractive Outcomes after Cataract Surgery. *Ophthalmology*. 2018;125(7):972–981.DOI:10.1016/j.ophtha.2018.01.021.
- [21]Zhihua Z, Yuyu M, Xiaoling F, et al. Accuracy of the Haigis and SRK/T Formulas in Eyes Longer than 29.0 mm and the Influence of Central Corneal Keratometry Reading[J]. *Current Eye Research*, 2018:02713683.2018.1488265–.DOI:10.1080/02713683.2018.1488265.
- [22]Holladay JT. Standardizing constants for ultrasonic biometry, keratometry, and intraocular lens power calculations. *J Cataract Refract Surg*. 1997;23(9):1356–1370.DOI:10.1016/S0886–3350(97)80115–0.
- [23]Norrby S. Sources of error in intraocular lens power calculation. *J Cataract Refract Surg*. 2008;34(3):368–376. DOI:10.1016/j.jcrs.2007.10.031.
- [24]Ning X, Yang Y, Yan H, Zhang J. Anterior chamber depth – a predictor of refractive outcomes after age-related cataract surgery. *BMC Ophthalmol*. 2019;19(1):134.DOI:10.1186/s12886–019–1144–8.
- [25]Bilak S, Simsek A, Capkin M, Guler M, Bilgin B. Biometric and intraocular pressure change after cataract surgery. *Optom Vis Sci*. 2015;92(4):464–470.DOI:10.1097/OPX.0000000000000553.
- [26]Jonas JB, Nangia V, Gupta R, Khare A, Sinha A, Agarwal S, Bhate K. Anterior chamber depth and its associations with ocular and general parameters in adults. *Clin Exp Ophthalmol*. 2012;40(6):550–556.DOI:10.1111/j.1442–9071.2011.02748.x.
- [27]Sun J, Feng ZH, Xu H. Analysis of the refractive status in patients with age-related cataract and shallow anterior chamber after phacoemulsification. *Int Eye Sci*. 2020;20(10):1775–1779.
- [28]董喆, 郝洁, 万月, 等. 浅前房对白内障超声乳化联合人工晶状体植入术后屈光状态的影响[J]. *眼科*, 2017, 26(6):397–399.DOI:CNKI:SUN:YAKE.0.2017–06–017.
- [29]刘佳, 王凯. 影响年龄相关性白内障术后屈光误差的术前眼球生物学参数特征分析[J]. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2015, 017(008):480–483.DOI:10.3760/cma.j.issn.1674–845X.2015.08.008.
- [30]Gaurisankar ZS, van Rijn GA, Lima JEE, Ilgenfritz AP, Cheng Y, Haasnoot GW, Luyten GPM, Beenakker JM. Correlations between ocular biometrics and refractive error: A systematic review and meta-analysis. *Acta Ophthalmol*. 2019;97(8):735–743.
- [31]Muzyka-Woźniak M, Ogar A. Anterior chamber depth and iris and lens position before and after phacoemulsification in eyes with a short or long axial length. *J Cataract Refract Surg*. 2016;42(4):563–568.DOI:10.1016/j.jcrs.2015.12.050.
- [32]Binkhorst RD. The optical design of intraocular lens implants. *Ophthalmic Surg*. 1975;6(3):17–31.
- [33]杨军良, 方正法, 蒋雁峰. Antoine 式中常数项的一种求解方法[J]. *湖南师范大学自然科学学报*, 1999, 22(3):60–63. DOI:10.3969/j.issn.1000–2537.1999.03.012.
- [34]冯骅, 秦虹, 王珍, 等. 不同类型 IOL 植入对白内障患者术后视觉质量的影响[J]. *国际眼科杂志*, 2020, 20(1):103–106. DOI:10.3980/j.issn.1672–5123.2020.1.23.
- [35]孙琼琼, 于燕, 方严, 等. Wang-Koch 眼轴矫正公式计算高度近视合并白内障患者术后屈光度的准确



性[J]. 国际眼科杂志, 2023,23(7):1202-1207. DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.7.27.

[36] 王世明, 文燕, 何志刚. 基于全角膜屈光力计算角膜异常 B/F 值的白内障患者人工晶状体屈光力[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2020,22(2):104-110. DOI:10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2020.02.005.

[37] 邓小慧, 常平骏, 黄锦海, 等. IOLMaster 700 与 IOLMaster 500 不同计算公式对白内障眼人工晶状体屈光力计算的准确性比较[J]. 中华实验眼科杂志, 2022,40(12):1170-1175. DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200226-00110.

[38] 张千帆, 朱珂珂, 穆红梅. 不同眼轴长度应用 Kane 公式计算人工晶状体屈光度的准确性研究[J]. 中华眼外伤职业眼病杂志, 2023,45(11):832-836. DOI:10.3760/cma.j.cn116022-20230612-00193.

[39] 余盈盈, 元力, 曹晓光, 等. 基于新型扫频光源生物测量仪测量的全角膜屈光力和传统角膜屈光力计算 IOL 度数的准确性比较[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2022,24(11):812-819. DOI:10.3760/cma.j.cn115909-20220505-00186.

[40] 吴万民, 柴飞燕, 刘杰为. 角膜正常 B/F Ratio 对 Barrett Universal II 公式计算 IOL 度数准确性的影响[J]. 中华眼视光学与视觉科学杂志, 2023,25(1):62-67. DOI:10.3760/cma.j.cn115909-20220503-00183.

[41] 许泽鹏, 田妮, 李松调, 等. Olsen 公式对高度近视合并白内障患者术后屈光力的预测性[J]. 国际眼科杂志, 2020,20(8):1388-1392. DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2020.8.20.

[42] 陶亮, 陈旭, 万超, 等. 新一代人工晶状体计算公式对高度近视行前后段联合手术的准确性分析[J]. 陆军军医大学学报, 2024,46(13):1545-1552. DOI:10.16016/j.2097-0927.202310065.

#### 作者简介:

徐东艳(1984—), 女, 汉族, 中国山东省日照市, 硕士研究生, 济南市第二人民医院, 主治医师, 研究方向: 白内障。

通讯作者: 王晶, 主任医师。

基金项目: 济南市卫生健康委员会科技发展计划项目(2023-1-31)。