

前房深度在白内障手术中的临床应用及研究进展

李雨桐, 李 灿

引用: 李雨桐, 李灿. 前房深度在白内障手术中的临床应用及研究进展. 国际眼科杂志, 2025, 25(9): 1441-1447.

作者单位: (400016) 中国重庆市, 重庆医科大学附属第一医院眼科 眼科学重庆市市级重点实验室 重庆市眼科研究所

作者简介: 李雨桐, 在读硕士研究生, 住院医师, 研究方向: 白内障、人工晶状体。

通讯作者: 李灿, 毕业于西南医科大学临床医学系, 硕士, 主任医师, 教授, 硕士研究生导师, 研究方向: 屈光性白内障、复杂眼前节手术、人工晶状体. 892496605@qq.com

收稿日期: 2025-02-16 修回日期: 2025-07-17

摘要

前房是人眼中由前方角膜与后方虹膜及瞳孔区晶状体组成的空间, 也是眼前节最具研究价值的参数之一, 与多种眼病的发生、转归和治疗密切相关。白内障术前正确地评估与应用前房深度有利于术后达到最佳视觉质量。人工晶状体有效位置是近几年为了更好地表达人工晶状体植入术后的人工晶状体位置而被提出的术语, 为了更充分地理解前房深度和人工晶状体有效位置, 文章分别阐述了两者的定义和联系, 列举了前房深度的术前测量方式并对比了不同仪器的适用场景, 此外进一步总结了其在人工晶状体度数计算及人工晶状体有效位置预测方面的应用, 并推荐了如 Kane 公式等前房深度特殊时预测性更优的晶状体计算公式, 探讨了特殊前房深度对白内障术后视觉质量的影响及术中的相关干预措施, 以为临床工作提供一定的参考价值。

关键词: 前房深度; 人工晶状体有效位置; 眼部生物参数; 人工晶状体计算公式; 白内障手术

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2025.9.10

Clinical application and research progress of anterior chamber depth in cataract surgery

Li Yutong, Li Can

Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University; Chongqing Key Laboratory of Ophthalmology; Chongqing Eye Institute, Chongqing 400016, China

Correspondence to: Li Can. Department of Ophthalmology, the First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University; Chongqing Key Laboratory of Ophthalmology; Chongqing Eye Institute, Chongqing 400016, China. 892496605@qq.com

Received: 2025-02-16 Accepted: 2025-07-17

Abstract

• The anterior chamber (AC), a space bounded anteriorly

by the cornea and posteriorly by the iris and the lens in the pupillary zone, is one of the most significant parameters in the anterior segment of the eye clinically. It is closely associated with the pathogenesis, progression, and treatment of various ocular diseases. Accurate preoperative assessment and utilization of anterior chamber depth (ACD) before surgery are crucial for achieving optimal postoperative visual outcomes. The term, effective lens position (ELP), has been introduced in recent years to better describe the postoperative position of the intraocular lens (IOL). To enhance the comprehension of ACD and ELP, this review elaborates on their definitions and interrelationship. It enumerates preoperative ACD measurement methodologies and compares the applicability of different devices. Furthermore, the review synthesizes its application on IOL power calculation and ELP prediction, recommending optimized formulas such as the Kane formula for scenarios with atypical ACD. The discussion extends to the impact of abnormal ACD on postoperative visual quality and relevant intraoperative interventions, aiming to provide evidence-based references for clinical practice.

• KEYWORDS: anterior chamber depth; effective lens position; ocular biometric parameters; intraocular lens power formula; cataract surgery

Citation: Li YT, Li C. Clinical application and research progress of anterior chamber depth in cataract surgery. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2025, 25(9): 1441-1447.

0 引言

白内障目前仍是世界首位致盲眼病^[1]。据统计, 全球 47% 的眼盲由白内障引起^[2], 且患病人数呈逐年增长趋势^[3]。近年来, 随着技术进步, 白内障手术已从防盲转变为视觉质量需求更高的屈光性手术。而前房深度 (anterior chamber depth, ACD) 作为最重要的眼部参数之一, 直接影响有效晶状体位置 (effective lens position, ELP) 和术后屈光状态。目前, 国内外关于 ACD 的研究呈现差异化特征: 国际聚焦高精度测量技术 (如 OCT、AI 算法) 及高端人工晶状体 (intraocular lens, IOL) 计算及屈光效果优化, 国内则侧重临床安全应用及本土化公式探索。因此, 本文就 ACD 在白内障手术中的临床应用及研究进展进行综述, 旨在总结国内外目前关于 ACD 及其临床意义, 提供进一步研究的基础及临床指导。

1 ACD 及其影响因素

ACD 是描述角膜内皮和晶状体前囊之间直线距离的解剖学名词, 平均值为 3.11 mm^[4], 一定的 ACD 对于晶状体植入术十分重要^[5-7]。其大小与许多因素有关——年龄、眼轴长度 (AL)、角膜曲率 (K)、晶状体厚度 (LT) 等。

随着年龄增长,晶状体硬化增厚,前房逐渐变浅^[8];AL越大,ACD越深,而短眼轴、小眼球患者晶状体占眼内容积相对较大导致前房浅;K值越大,则可能伴随浅前房,扁平角膜(K值小)可能与较深的ACD有关,但非绝对;LT则与ACD成反比,LT越大,ACD越浅。此外,浅前房还可见于晶状体向前脱位、瞳孔阻滞等;而长眼轴、薄角膜及圆锥角膜、无晶状体或晶状体向后脱位,而白内障摘除术后患者^[9]通常前房较深。

2 ELP及其预测

讨论IOL屈光度计算公式中的ACD时,一般从角膜前表面开始测量,包括角膜厚度至IOL所处平面作为终点^[10],其间距定义为ELP,与解剖学上忽略角膜厚度的ACD略有差别。ELP依据术前眼部参数预测术后IOL位置,反映囊袋纤维化包裹IOL过程中IOL前后移动的幅度,决定术后屈光状态——当IOL向前移动时产生近视漂移,向后移动时产生远视漂移。因此,术前对于ELP的预测是手术设计的核心环节。

影响ELP的因素很多,包括眼部解剖因素^[11]、IOL材料及设计^[12-13]、眼内填充物及手术操作^[14-18]等。ELP的预测同样依赖多种眼部参数,包括AL、LT、K和ACD,参数之间相互影响^[19],理论上晶状体公式涉及的参数越多,预测结果越准确。尤其在特殊眼轴中,传统二变量公式的表现不如新一代的多变量公式和经优化后的传统公式^[20],单一公式不如多公式结合。其中,将术中ACD(ACDI_{tra}OP,通过术中OCT测量)代入新一代公式预测ELP较代入术前ACD更准确^[21]。Hirschschall等^[22]提出术后 $ACD = 2.86 + 0.31 \times ACDI_{tra}OP + 0.20$,其后续回归模型显示ACDI_{tra}OP(0.48)的ELP在众多眼部参数中预测能力最高,其次是AL(0.45)及术前ACD(0.30)。此外,使用3D-OCT对晶状体邻近结构进行细分预测ELP的准确性同样高于传统晶状体公式^[23],如Wu等^[24]提出了 $post-ACD = 0.192 + 0.867 \times SSD + 0.163 \times AL - 0.253 \times SSW$ (post-ACD为术后前房深度,SSD为巩膜突深度,SSW为巩膜突宽度);Goto等^[25]提出了 $Post-ACDi = 0.456 + 0.586 \times ATAd_{ep} + 0.202 \times pre-ACD + 0.052 \times AL$ (ACDi为角膜后表面与IOL前表面之间的距离,ATAd_{ep}为房角到房角深度),预测ELP的准确性均较高。近来,Lou等^[26]还开发并评估了一种基于中国白内障患者眼部数据库进行采集训练的人工智能IOL公式Jin-AI,其内外部测试结果表明其整体预测准确性优于传统第三代公式,与新一代公式(BU II、Kane、Pearl-DGS)相当(SD均<0.4)。

综上,目前临床多采用IOL公式结合术前眼部参数进行ELP预测。随着人工智能(AI)技术的进步与完善,亦逐渐开始重视术中眼部参数测量并不断更新AI公式,使ELP预测更准确,适用范围更广。

3 ACD的测量

准确测量ACD是预测ELP的基础。目前临床上有很多仪器可用于测量ACD,应个性化选择。眼部超声过去被认为是成人的金标准^[27]。A超利用公式“距离=声速×时间”获得ACD。然而接触式超声会增大角膜磨损、感染和离轴测量的风险^[28-30],同时压迫前房导致测量不够精确^[31];相较之下,浸润式超声减少了测量误差及角膜伤害性,应用更广泛。超声生物显微镜(UBM)则由于其探针尖端较大,无法准确定位目标^[32],测量误差增大^[33]。

1999年Haigis通过改良部分相干干涉(PCI)技术^[34]

推出了通过侧方照明摄像结合内置公式计算得到ACD的仪器^[26],代表产品为IOL Master 500,目前被认为是参数测量的金标准,其ACD值包括中央角膜厚度(CCT)^[35]。Pentacam使用非接触式旋转的Scheimpflug相机来构建三维图像并测量ACD。Lenstar LS9000基于低相干光反射(OLCR)原理,采用宽谱带连续光源和光纤传导得到ACD^[27];光学相干断层扫描(OCT)是一种以激光为媒介,非侵入性微米级分辨率层析的活体显微镜成像技术,有“光学活检”之称。后续推出的IOL Master 700在IOL Master 500的基础上结合SS-OCT技术,使用1050 nm波长光源获取ACD^[36],亦适用于特殊眼轴^[37];OA-2000在SS-OCT技术的基础上结合了Placido盘原理^[38],使用1060 nm波长光源^[39],穿透力更强。眼前节OCT成像(AS-OCT)采用1310 nm波长光源^[40]。CASIA2-AS-OCT是最新一代的AS-OCT,扫描深度达13 mm,可显示至完整的晶状体后表面甚至前段玻璃体^[41],精确测量ACD^[42],临床用途广泛^[43]。近来,Cooke等^[44]验证了一种名为SpikeFinder程序,可以进一步提高OLCR生物计获得的ACD测量值的准确性。越来越多结合AI深度学习开发的自动图像分析技术在OCT领域开始应用,弥补了初代AS-OCT图像信息依靠人工识别而产生的耗时、主观性强等缺陷^[45],使AS-OCT成为临床诊疗眼前节疾病的可靠性检测之一。各设备测量ACD的比较分析见表1。

目前,眼部光学测量手段因其高精度、非接触、客观性强、重复性好、内置IOL计算公式等显著优势,成为目前主流的ACD测量方式,上述基于不同原理的光学仪器在测量正常眼轴有晶状体眼中的ACD时高度一致,数据可通用,而长眼轴及IOL眼患者不同仪器测量差距较大,数据不可通用^[46]。此外,多研究证明IOL Master 700和Lenstar LS900、OA-2000的生物采集率比IOL Master 500更高,OA-2000对混浊介质的穿透力比IOL Master更强^[28,36,39,46-49]。然而,当屈光介质严重混浊时光学测量误差较大^[46],此时超声可作为首选方案。未来,随着AI相关技术的发展,ACD的测量方式也有进一步改进的空间,如开发术中实时测量技术(OCT或超声实时成像系统),动态监测ACD及IOL位置,减少术后屈光意外;探索术中自适应光学技术,实时调整IOL植入参数,优化术后屈光状态,以及多模态测量设备整合,推动光学与超声测量的融合技术,例如结合扫频源OCT(SS-OCT)与高频超声,提升对混浊介质的测量精度。建立跨品牌仪器的测量数据标准化协议,减少设备间差异,尤其针对长眼轴及IOL眼等情况特殊患者。还可以进一步推动多中心临床数据共享,为AI训练和算法优化提供更丰富的真实世界证据。

4 不同ACD的IOL计算公式选择

自20世纪80年代将ACD纳入第三代晶状体公式依赖,ELP预测精确性大幅提升^[50],目前第三代基于回归性研究和第四代基于光线追踪原理的公式仍然是当下临床广泛使用的金标准^[51],结合参数数据库^[52]可得到最新的AI模型公式。考虑到AL与ACD呈正相关^[10,31],本文将AL纳入讨论,对不同AL和ACD患者所适用的公式分别进行阐述。不同AL和ACD的IOL公式推荐见表2。

4.1 正常AL及ACD 对于AL=23-25 mm及ACD=2.8-3.5 mm的患者,第五代公式中Barrett Universal II(BU II)预测术后屈光度误差最小^[53],而AI公式中Kane公式的

表 1 不同设备测量(中央)ACD 比较

仪器名称	技术原理	ACD 测量范围	优势	局限性
A 型超声	超声回声 (接触式/浸润式)	角膜后表面到 晶状体前表面	适用于屈光介质混浊或无法使用 光学设备时的传统标准;成本低。	接触式压迫角膜,导致误差; 依赖操作者技术,重复性差。
超声生物显微镜 (UBM)	高频超声 (50 MHz)	角膜后表面到 晶状体前表面	高分辨率、实时;可显示隐匿细微 结构(如虹膜、房角、睫状沟直径 STS 测量);不受角膜/泪膜影响。	探针较大,定位困难;在结膜囊 内置入眼杯,同样也存在导致 ACD 偏小的可能。
IOL Master 500	PCI (波长 780 nm)	角膜前表面到晶状体 前表面(包括 CCT)	非接触、精度较高;内置 IOL 计算 公式。	无法穿透高度混浊介质;特殊眼 轴误差增加;无法测量 CCT 及 LT。
Pentacam	旋转 Scheimpflug 成像(波长 475 nm)	角膜后表面到 晶状体前表面	三维眼前节重建;角膜地形图金 标准。	扫描速度较慢(约 2 s);运动伪 影风险;无法穿透较混浊介质。
IOL Master 700	SS-OCT (波长 1 050 nm)	角膜前表面到晶状体 前表面(包括 CCT)	扫描深度大(≥ 12 mm);高采集 率、抗干扰强;不同模式可用于人 工晶状体眼/硅油眼。	测量时间长(3.5 s);无法测量 后角膜表面曲率;设备昂贵。
Lenstar LS9000	OLCR (波长 820 nm)	角膜后表面到 晶状体前表面	快速测量(< 1 s);高空间分辨率; 重复性好;不断调整视轴,适用于 儿童或配合度差患者。	无法穿透高度混浊介质
OA-2000	SS-OCT+Placido 盘 (波长 1 060 nm)	角膜后表面到 晶状体前表面	矢量分析提供优秀的穿透力; 致密白内障中同样适用。	设备昂贵
CASIA2-AS-OCT	SS-OCT (波长 1 310 nm)	角膜后表面到 晶状体前表面	高扫描速度(50 000 次扫描/秒)及 深度(13 mm);深穿透并提供宽视 场图像;3D 视图分析功能;测量时 间短(0.3 s);最大限度地减少测量 光对瞳孔移动和收缩的影响。	设备昂贵

准确率最高,多项较新的研究结果显示其高于 BU II、Haigis 等公式^[54-56]。对正常 AL 及 ACD 的患者来说,各公式之间差异较小,准确性及重复性均较优,计算时可首选 AI 公式。

4.2 短眼轴 短眼轴患者的屈光度预测误差普遍较大,随着 AL 变短,各公式均出现一定程度的偏倚。当 AL < 22 mm 时, AI 公式中的 Kane、Hoffer QST、EVO 2.0、Hill-RBF 3.0 及新一代公式中的 BU II 和传统公式中的 Haigis 公式误差最小,尤其是 Kane 公式。随着 AL 变短,多研究证明 HofferQ 公式发生近视偏倚程度最大,平均预测误差范围约为 -0.50 ~ -0.20 D,同时 BU II、Hill-RBF 3.0、K6 等公式预测误差也明显增大(-0.70 ~ -0.25 D 对比 -0.35 ~ 0.01 D)。综上,可依据 AL 进行分区分析^[57],选择在不同区间表现最优的 AI 公式。目前较推荐 Kane 公式,无论在 AL < 22 mm(最准确)还是 22~23 mm 区间(不劣于其他公式),而 Pearl-DGS 公式在 AL 相对较短和 ACD 较深的眼睛中提供了最准确的预测^[5,53-63]。

4.3 浅前房 较早期的研究证明发现 ACD < 3 mm 时 Haigis 公式预测准确性较好^[59]。近来,大部分研究认为当 ACD < 3.0 mm AI 公式中的 Kane、Pearl-DGS、Hoffer QST、EVO 2.0、Hill-RBF 3.0 及第五公式中的 BU II 和传统公式中的 Haigis 预测较准确,尤其是 Kane 公式^[11,60-63], ACD = 2.5~3.0 mm 时推荐使用 Pearl-DGS 公式;而 Gao 等^[61]比较了传统与新一代公式在浅前房眼中表现,发现亚组分析 ACD < 2.5 mm 时,上述公式中 BU II (-0.60 D)、Hoffer QST (-0.63 D)会产生有意义的近视 MAE,而 Kane 公式提供的 MAE(0.48 D)和 RMSAE(0.65 D)低于其他公式(MAE: 0.50~0.68 D, $P < 0.05$; RMSAE: 0.67~0.90 D, $P < 0.01$);综上,多数研究认为 Kane、HofferQST、Pearl-DGS 等 AI 公式对浅前房眼预测校准,但目前与 BU II 临床差异不显

著^[62-63], Holladay I 由于其误差不随 ACD 减小而增大的特性可适用于前房极浅的特殊情况^[57]。

4.4 长眼轴 长眼轴患者的 ELP 预测准确性随 AL 增加而降低,当 AL > 28.0 mm,误差往往超过 1.00 D^[36],此时新一代公式优势明显。传统的 Haigis 和 SRK/T 公式已被证明是长眼轴的优选^[29], Haigis 在 AL > 27 mm 时表现优于 SRK/T 及 Holladay I 公式^[59]。SRK/T 对 K 值高度敏感,而 Haigis 公式并不使用 K 值因此更适合异常 K 值的患者。Wang 等^[64]和 Li 等^[65]的最新 Meta 分析研究表明,新一代公式 BU II、Kane、EVO、LSF 和 Hill-RBF 比传统公式更适合长眼轴患者,AL = 24.50~26.00 mm 时 BU II 优于 Haigis,但当 AL 超过 26.00 mm 时,两者差异无统计学意义($P > 0.05$)。此外, Li 等^[66]近期 AL > 28 mm 的荟萃分析显示 Hill-RBF 和 Kane 公式是比 BU II 及 Haigis 更好的选择。Taroni 等^[60]提出 Hoffer QST、Kane、EVO 公式在 AL > 25 mm 时比 BU II 更准确。综上,在长眼轴中,推荐传统公式中的 Haigis(尤其是异常 K 值患者),第五代公式中的 BU II 及 Kane、Hill-RBF 及 EVO 等 AI 公式(尤其在 AL > 28 mm 时)。使用矫正 AL 代入适配的 IOL 公式可进一步改善长眼轴患者的屈光结果^[67]。

4.5 深前房 Melles RB 研究显示 ACD > 3.25 mm 时, Haigis 公式表现最佳,优于 BU II 公式。随着 ACD 加深, Olsen H-S 公式会出现较大的近视漂移,而 HofferQ 等其他公式趋向于出现较大的远视漂移。当 ACD > 3.5 mm 时, Haigis 公式及 Hill-RBF2.0 公式表现较好,分别产生轻度近视及远视漂移, Barrett 公式次之(近视漂移), HofferQ 误差最大(远视漂移)^[11]。综上,在长眼轴及深前房患者中, Haigis、BU II 及 AI 公式整体表现较优秀,可做推荐;而 HofferQ 公式误差较大,应尽量避免使用。

表2 不同AL和ACD的IOL公式推荐(推荐等级按列出顺序)

分类	推荐公式	参考文献	备注
正常AL(23-25 mm)及ACD(2.8-3.5 mm)	Kane, BU II等	53-56	各公式之间差异较小,准确性及重复性均较优
短眼轴(AL<23 mm)	Kane, Pearl-DGS, Hoffer QST, EVO 2.0, Hill-RBF 3.0 避免:HofferQ(近视漂移)	5, 11, 53-63	随着AL变短,各公式偏倚增大。Pearl-DGS在短眼轴合并深前房患者中最优 ^[5, 53-63]
浅前房(ACD<3 mm)	Kane, Pearl-DGS, Haigis	57, 59, 60-63	极浅ACD(<2.5 mm)推荐Holladay I ^[57]
长眼轴(AL>26 mm)	AL=24.50-26.00 mm; BU II AL>26 mm; Kane, Hill-RBF, Hoffer QST, EVO, BU II, Haigis 异常K值: Haigis	29, 59, 60, 64-67	ELP预测准确性随AL增加而降低, AL>28.0 mm时更推荐AI公式
深前房(ACD>3.5 mm)	ACD>3.25 mm; Haigis, Hill-RBF 2.0, BU II 避免:HofferQ(近视漂移)、Olsen(近视漂移)	11, 53	AI公式整体表现较优秀

5 ACD对白内障手术的影响

5.1 术后影响

5.1.1 术后屈光度 白内障术前ACD对手术规划至关重要。术前1 mm的ACD测量误差将导致约1.5 D的屈光误差,术后42%的屈光误差可归因于ACD预测不准确,高于AL(36%)或K(22%)^[10]。目前的主流观点认为,白内障术后ELP的变化与眼部解剖参数密切相关。短眼轴、浅前房、LT较小、囊袋收缩、大直径撕囊的患者术后ELP靠前,导致近视漂移,而长眼轴、深前房、LT较大的患者术后ELP多靠后,易出现远视漂移;值得注意的是,术后IOL位置变化程度与术前ACD呈负相关,屈光误差程度与AL和ACD大小呈正相关,即术前ACD越浅,术后ACD和ELP变化越大,近视漂移越明显;反之,术前ACD越深,术后ACD和ELP变化越小,远视漂移越明显^[11, 68]。这提示临床医生在使用新一代公式预测ELP时应根据AL和LT进行校正,对于LT<4.3 mm的术眼,建议将目标屈光度略向远视调整0.25-0.5 D,而LT>5.1 mm的术眼目标屈光度向近视调整约0.50-0.75 D^[5]。然而2014年Yang等^[69]提出了不同的观点。该研究纳入90例浅前房(ACD<2.5 mm)患者,发现术后出现远视漂移,且漂移程度随着ACD减小而增大。这一现象可能与研究人群的特殊性有关:该队列平均LT达4.8±0.3 mm,显著厚于常规人群(<4.5 mm);同时,73%的病例采用小直径连续环形撕囊(<5.0 mm),可能导致更强的囊袋收缩效应。这些因素共同作用可能改变了ELP的变化规律。考虑到此报道的时间及样本数量(90眼),关于此种观点,未来需更大样本研究进一步验证。

5.1.2 其他术后并发症 前房过浅是临床中颇具挑战性的情况之一^[70]。回顾性研究发现,AL<19.00 mm的白内障手术发生并发症的风险比常规AL高出21倍($P \leq 0.0005$)^[71]。浅前房的患者常合并高血压,术前需降眼压^[72],以防止脉络膜渗漏等并发症;同时手术空间狭小,易导致晶状体邻近结构被手术操作破坏,术后角膜水肿、Descemet膜脱离,甚至内皮失代偿,尤其是核密度较高时^[8, 73-74]。过深的前房则易引起术中眼压波动,且多见悬韧带松弛、囊袋不稳定等情况,使术后ELP难以预测,术中损伤角膜内皮、囊袋破裂、脉络膜上腔出血、玻璃体振荡及视网膜脱离风险增加,最终影响术后视力。

5.2 术中措施 为了尽可能保持ACD及眼压的稳定,从而使手术更安全,ELP的预测性更好,目前多数临床医生使用连续环形撕囊技术(CCC),撕囊直径在5-5.5 mm,虽然其与精密脉冲撕囊(PPC)术后的内皮细胞丢失率(ECL)差异无统计学意义^[75],但术后6 mo的IOL稳定性与PPC比较有所欠缺^[14],这提示标准化手术操作的重要性,同时提示飞秒激光辅助白内障手术(FLACS)在术后远期IOL稳定性上的优势。

对于浅前房而手术风险增大的患者,术前常规使用甘油或静脉注射20%的甘露醇溶液,使玻璃体脱水导致眼球变得柔软,术中注射黏弹剂填充前房;如效果欠佳,还可以进行部分玻璃体切除来扩大前房^[76]。Osher团队^[77]在2022年的文献中推荐了一种已经实践30 a的“术前静脉滴注甘露醇-术中间断性巩膜垫压-瞳孔区中央注射黏弹剂”的非侵入性的三步法加深前房的方式,给予临床医生更多的选择。

FLACS也是减少浅前房患者手术风险的措施之一。其自动化技术取代了传统白内障超声乳化摘除(CPS)中的角膜切口、撕囊、碎核三个步骤,使撕囊口更居中,减少了术后IOL移位^[78]。更低的碎核能量及更短的有效超声时间^[79]减少了邻近结构如悬韧带等的损伤。尽管术后远期(>3 mo)平均ECL差异无统计学意义^[80],但术后早期恢复较CPS快、裸眼视力更好,更适用于角膜功能障碍^[81]、致密核^[82]、多焦点IOL植入^[83]、浅前房、长眼轴^[83]等特殊患者。此外,飞秒辅助散光矫正与角膜缘松解切口相比可提供更有效的散光矫正^[84]。FLACS术后并发症如角膜水肿、黄斑水肿、IOP失控、玻璃体溢出等与CPS发生率相近^[85]。尽管FLACS在多个维度展现出优势,但关于其后囊膜并发症风险的争议仍是学界关注焦点^[86]。这一争议的核心在于不同研究设计和方法学差异导致结论不一致。Popovic等^[87]的荟萃分析(14 567眼,2016年)显示FLACS较高(RR:3.73, 95% CI:1.50-9.25, $P=0.005$),这一结果可能与早期飞秒激光设备在液泡形成过程中产生的冲击波效应有关,特别是在浅前房眼中,激光空化气泡对后囊的机械应力更为显著;Roberts等^[79](400眼,2019年)指出CPS更高(3% vs 0%),认为FLACS的精确前囊切开减少了后续水分离和超声乳化过程中的不对称应力;而Xu等^[88](24 806眼,2022年)认为两种方法后囊撕裂

率一致,但是浅前房眼 FLACS 术后小瞳孔的发生率高于 CPS。这一现象可能与飞秒激光诱导的前列腺素释放增加有关,也可能源于激光在浅前房中形成的冲击波对虹膜组织的机械刺激。因此,对这类患者建议术前加强非甾体抗炎药物(NSAIDs)预防性使用,并调整激光参数以降低组织反应。

此外,2014年推出的主控液流系统 Centurion(Alcon Surgical, Texas, USA)是第一个内置眼压传感器的超声乳化设备,其配备的 Active Sentry 传感手柄实时监测术中前房压力的变化,帮助维持前房稳定性,减少眼压波动,同时降低术中灌注瓶高,术中所用超声能量、耗时更短^[89],从而减少术中内眼损伤及术后并发症,适用于特殊 ACD 及眼压不稳定患者。不过,即便已提出上述多种预防术后并发症的措施,浅前房患者的白内障手术效果仍不稳定,术后并发症较多,尤其当合并硬核、玻璃体切除术后等特殊情况时,因此在提高手术操作标准化的同时,仍需进一步探索更有效的治疗方式,并进行更大样本量的研究及验证。

6 小结

综上,ACD 在白内障手术中应用广泛。本文从其概念入手,阐述了 ACD 与 ELP 的对应关系、测量及预测方式。目前光学测量中部分相干干涉(PCI)技术基础上结合了 SS-OCT 技术的 IOL Master 700 逐渐代替 IOL Master 500 被视为 ACD 测量的金标准,传统晶状体计算公式中的 Haigis 公式、新一代公式中的 Universal Barrett II 及以 Kane 为代表的 AI 公式等在预测 ELP 准确性上优于其他公式;还列举了特殊 ACD 患者白内障术后出现多种并发症,对应措施包括精密撕囊、术前降眼压、术中使用黏弹剂、切除部分玻璃体、使用主控液流系统,或采取 FLACS 等。本文从以上多个方面介绍了关于 ACD 在白内障手术中的应用研究进展,以期给广大临床医生提供实际的临床帮助,改善特殊 ACD 的白内障患者的术中体验及术后视觉质量。

利益冲突声明: 本文不存在利益冲突。

作者贡献声明: 李雨桐论文选题,初稿撰写与修改,文献检索及核对;李灿选题指导,论文审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

[1] Moshirfar M, Milner D, Patel BC. Cataract Surgery. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024.

[2] Bamdad S, Bolkheir A, Sedaghat MR, et al. Changes in corneal thickness and corneal endothelial cell density after phacoemulsification cataract surgery: a double-blind randomized trial. *Electron Physician*, 2018,10(4):6616-6623.

[3] Asbell P, Dualan I, Mindel J, et al. Age-related cataract. *Lancet*, 2005,365(9459):599-609.

[4] Feng MT, Belin MW, Ambrósio R Jr, et al. Anterior chamber depth in normal subjects by rotating Scheimpflug imaging. *Saudi J Ophthalmol*, 2011,25(3):255-259.

[5] Yuan HR, Zhang JQ, Han XT, et al. Accuracy of 11 intraocular lens calculation formulas in shallow anterior chamber eyes. *Acta Ophthalmol*, 2024,102(5):705-711.

[6] Casson RJ. Anterior chamber depth and primary angle-closure glaucoma: an evolutionary perspective. *Clin Exp Ophthalmol*, 2008,36(1):70-77.

[7] Uçakhan ÖÖ, Gesoğlu P, Özkan M, et al. Corneal elevation and thickness in relation to the refractive status measured with the Pentacam Scheimpflug system. *J Cataract Refract Surg*, 2008,34(11):1900-1905.

[8] 王欢, 宋慧, 汤欣. 正常人群晶状体厚度和前房深度的变化及其影响因素. *中华实验眼科杂志*, 2015,33(7):650-654.

[9] Zheng Q, Hu M, Li ZL, et al. Assessment of anterior chamber angle changes after phacoemulsification with swept-source OCT. *Int J Ophthalmol*, 2021,14(10):1527-1532.

[10] Olsen T. Calculation of intraocular lens power: a review. *Acta Ophthalmol Scand*, 2007,85(5):472-485.

[11] Hipólito-Fernandes D, Luís ME, Serras-Pereira R, et al. Anterior chamber depth, lens thickness and intraocular lens calculation formula accuracy: nine formulas comparison. *Br J Ophthalmol*, 2022,106(3):349-355.

[12] Robert MC, Harasymowycz P. Intraocular lens position following in-the-bag implantation of single-piece versus three-piece acrylic intraocular lenses. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*, 2012,43(6):472-478.

[13] Iwase T. Change in refraction and intraocular lens position after cataract surgery. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*, 2005,109(1):12-18.

[14] Bang SP, Jun JH. Comparison of postoperative axial stability of intraocular lens and capsulotomy parameters between precision pulse capsulotomy and continuous curvilinear capsulotomy: a prospective cohort study. *Medicine*, 2019,98(48):e18224.

[15] Panthier C, Costantini F, Rigal-Sastourné JC, et al. Change of capsulotomy over 1 year in femtosecond laser-assisted cataract surgery and its impact on visual quality. *J Refract Surg*, 2017,33(1):44-49.

[16] Ding XX, Wang QM, Xiang LF, et al. Three-dimensional assessments of intraocular lens stability with high-speed swept-source optical coherence tomography. *J Refract Surg*, 2020,36(6):388-394.

[17] Gao Y, Dang GF, Wang X, et al. Influences of anterior capsule polishing on effective lens position after cataract surgery: a randomized controlled trial. *Int J Clin Exp Med*, 2015,8(8):13769-13775.

[18] Li SX, Hu YP, Guo R, et al. The effects of different shapes of capsulorrhexis on postoperative refractive outcomes and the effective position of the intraocular lens in cataract surgery. *BMC Ophthalmol*, 2019,19(1):59.

[19] Yesilkaya EC, Garip R. Accuracy of different lens power calculation formulas in patients with mature cataracts. *Cureus*, 2023,15(10):e47053.

[20] Chang PJ, Qian SY, Wang YL, et al. Accuracy of new-generation intraocular lens calculation formulas in eyes with variations in predicted refraction. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2023,261(1):127-135.

[21] Hu J, Zhang WP, Cao DM, et al. Research progress on prediction of postoperative intraocular lens position. *Indian J Ophthalmol*, 2024,72(Suppl 2):S176-S182.

[22] Hirschschall N, Norrby S, Weber M, et al. Using continuous intraoperative optical coherence tomography measurements of the aphakic eye for intraocular lens power calculation. *Br J Ophthalmol*, 2015,99(1):7-10.

[23] Yoo YS, Whang WJ, Kim HS, et al. Preoperative biometric measurements with anterior segment optical coherence tomography and prediction of postoperative intraocular lens position. *Medicine*, 2019,98(50):e18026.

[24] Wu YZ, Zhang SH, Zhong Y, et al. Prediction of effective lens position using anterior segment optical coherence tomography in Chinese subjects with angle closure. *BMC Ophthalmol*, 2021,21(1):454.

[25] Goto S, Maeda N, Koh S, et al. Prediction of postoperative intraocular lens position with angle-to-angle depth using anterior segment optical coherence tomography. *Ophthalmology*, 2016,123(12):2474-2480.

- [26] Lou W, Zhou WR, Wu MX, et al. A new intraocular lens power formula integrating an artificial intelligence - powered estimation for effective lens position based on Chinese eyes. *Trans Vis Sci Tech*, 2024, 13(10):40.
- [27] Bilak S, Simsek A, Capkin M, et al. Biometric and intraocular pressure change after cataract surgery. *Optom Vis Sci*, 2015, 92(4):464-470.
- [28] Lackner B, Schmidinger G, Pieh S, et al. Repeatability and reproducibility of central corneal thickness measurement with pentacam, orbscan, and ultrasound. *Optom Vis Sci*, 2005, 82(10):892-899.
- [29] Asensio I, Rahhal SM, Alonso L, et al. Corneal thickness values before and after oxybuprocaine 0.4% eye drops. *Cornea*, 2003, 22(6):527-532.
- [30] Goebels SC, Seitz B, Langenbucher A. Comparison of the new biometer OA-1000 with IOLMaster and tomei AL-3000. *Curr Eye Res*, 2013, 38(9):910-916.
- [31] 吴怡,唐少华. 三种方法测量白内障患者前房深度的比较及其影响因素. *国际眼科杂志*, 2021, 21(4):702-706.
- [32] Ishikawa H, Inazumi K, Liebmann JM, et al. Inadvertent corneal indentation can cause artifactual widening of the iridocorneal angle on ultrasound biomicroscopy. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*, 2000, 31(4):342-345.
- [33] Huang ZQ, Qi J, Cheng KW, et al. The relationships between lens diameter and ocular biometric parameters: an ultrasound biomicroscopy-based study. *Front Med*, 2024, 10:1306276.
- [34] Soleimani M, Hashemi H, Mehravaran S, et al. Comparison of anterior segment measurements using rotating Scheimpflug imaging and partial coherence interferometry. *Int J Ophthalmol*, 2013, 6(4):510-514.
- [35] Sardari S, Jafarzadehpur E, Khabazkhoob M. Agreements' profile of Scheimpflug - based optical biometer with gold standard partial coherence interferometry. *Int J Ophthalmol*, 2023, 16(12):2095-2104.
- [36] Akman A, Asena L, Güngör SG. Evaluation and comparison of the new swept source OCT-based IOLMaster 700 with the IOLMaster 500. *Br J Ophthalmol*, 2016, 100(9):1201-1205.
- [37] ZhuXJ, He WW, Du Y, et al. Intraocular lens power calculation for high myopic eyes with cataract: comparison of three formulas. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 2017, 53(4):260-265.
- [38] Zhou SW, Chen X, Ortega-Usobiaga J, et al. Characteristics and influencing factors of corneal higher-order aberrations in patients with cataract. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1):313.
- [39] Du YL, Wang G, Huang HC, et al. Comparison of OA-2000 and IOL Master 500 using in cataract patients with high myopia. *Int J Ophthalmol*, 2019, 12(5):844-847.
- [40] Radhakrishnan S. Real-time optical coherence tomography of the anterior segment at 1310 nm. *Arch Ophthalmol*, 2001, 119(8):1179-1185.
- [41] 郑磊, 张国明, 孙良南, 等. 应用新一代 AS-OCT 观察高度近视白内障术后人工晶状体与后囊膜贴附的研究. *国际眼科杂志*, 2021, 21(7):1266-1270.
- [42] Fang HH, Yin PS, Chen HX, et al. Lens structure segmentation from AS-OCT images *via* shape-based learning. *Comput Meth Programs Biomed*, 2023, 230:107322.
- [43] Shin HC, Subrayan V, Tajunisah I. Changes in anterior chamber depth and intraocular pressure after phacoemulsification in eyes with occludable angles. *J Cataract Refract Surg*, 2010, 36(8):1289-1295.
- [44] Cooke DL, Cooke TL, Patel R, et al. New software program to improve biometry measurements obtained by an optical low-coherence reflectometry biometer. *J Cataract Refract Surg*, 2025, 51(6):476-482.
- [45] Garcia Marin YF, Alonso-Caneiro D, Vincent SJ, et al. Anterior segment optical coherence tomography (AS - OCT) image analysis methods and applications; a systematic review. *Comput Biol Med*, 2022, 146:105471.
- [46] Song JS, Yoon DY, Hyon JY, et al. Comparison of ocular biometry and refractive outcomes using IOL master 500, IOL master 700, and lenstar LS900. *Korean J Ophthalmol*, 2020, 34(2):126-132.
- [47] Utine CA, Altin F, Cakir H, et al. Comparison of anterior chamber depth measurements taken with the Pentacam, Orbscan IIz and IOLMaster in myopic and emmetropic eyes. *Acta Ophthalmol*, 2009, 87(4):386-391.
- [48] Fotouhi A, Hashemi H, Shariati M, et al. Cohort profile: shahroud eye cohort study. *Int J Epidemiol*, 2013, 42(5):1300-1308.
- [49] Mao Y, Li JB, Qin YY, et al. Association of refractive outcome with postoperative anterior chamber depth measured with 3 optical biometers. *Int Ophthalmol*, 2024, 44(1):62.
- [50] Zhang Y, Zhu XM. Research progress on measurement of axial length and calculation of refractive force of intraocular lens. *Qwer*, 2022, 22(5):791-793.
- [51] Voytsekhivskyy O. Accuracy of the VRF and VRF-G intraocular lens power calculation formulas using swept-source optical coherence tomography biometry. *Clin Ophthalmol*, 2023, 17:3663-3672.
- [52] Siddiqui AA, Devgan U. Intraocular lens calculations in atypical eyes. *Indian J Ophthalmol*, 2017, 65(12):1289-1293.
- [53] Melles RB, Holladay JT, Chang WJ. Accuracy of intraocular lens calculation formulas. *Ophthalmology*, 2018, 125(2):169-178.
- [54] Connell BJ, Kane JX. Comparison of the Kane formula with existing formulas for intraocular lens power selection. *BMJ Open Ophthalmol*, 2019, 4(1):e000251.
- [55] Darcy K, Gunn D, Tavassoli S, et al. Assessment of the accuracy of new and updated intraocular lens power calculation formulas in 10930 eyes from the UK National Health Service. *J Cataract Refract Surg*, 2020, 46(1):2-7.
- [56] Pereira A, Popovic MM, Ahmed Y, et al. A comparative analysis of 12 intraocular lens power formulas. *Int Ophthalmol*, 2021, 41(12):4137-4150.
- [57] Mustafa MZ, Khan AA, Bennett H, et al. Accuracy of biometric formulae in hypermetropic patients undergoing cataract surgery. *Eur J Ophthalmol*, 2019, 29(5):510-515.
- [58] Kane JX, Chang DF. Intraocular lens power formulas, biometry, and intraoperative aberrometry. *Ophthalmology*, 2021, 128(11):e94-e114.
- [59] Bang S, Edell E, Yu QL, et al. Accuracy of intraocular lens calculations using the IOLMaster in eyes with long axial length and a comparison of various formulas. *Ophthalmology*, 2011, 118(3):503-506.
- [60] Taroni L, Hoffer KJ, Pellegrini M, et al. Comparison of the new hoffer QST with 4 modern accurate formulas. *J Cataract Refract Surg*, 2022, 49(4):378-384.
- [61] Gao RX, Zhang JQ, Han XT, et al. Intraocular lens calculation formula selection for short eyes: based on axial length and anterior chamber depth. *BMC Ophthalmol*, 2025, 25(1):21.
- [62] Ma Y, Lin Y, Li Y, et al. Accuracy of new intraocular lens calculation formulas in Chinese eyes with short axial lengths. *Front Med*, 2023, 10:1257873.
- [63] Elhusseiny AM, Sallam AB. Cataract surgery in adult eyes with short axial length. *Curr Opin Ophthalmol*, 2023, 34(1):84-93.
- [64] Wang Q, Jiang W, Lin T, et al. Accuracy of intraocular lens power

calculation formulas in long eyes: a systematic review and meta-analysis. *Clin Exp Ophthalmol*, 2018,46(7):738-749.

[65] Li HY, Ye Z, Luo Y, et al. Comparing the accuracy of the new-generation intraocular lens power calculation formulae in axial myopic eyes: a meta-analysis. *Int Ophthalmol*, 2023,43(2):619-633.

[66] Li XY, Wang XD, Liao X. How to choose the intraocular lens power calculation formulas in eyes with extremely long axial length? A systematic review and meta-analysis. *PLoS One*, 2024, 19(1): e0296771.

[67] Cione F, De Bernardo M, Di Paola I, et al. IOL power calculation in long eyes: Selection of the best axial length adjustment factor using the most common formulas. *Heliyon*, 2024,10(17):e36609.

[68] Ning XN, Yang YH, Yan H, et al. Anterior chamber depth—a predictor of refractive outcomes after age-related cataract surgery. *BMC Ophthalmol*, 2019,19(1):134.

[69] Yang F, Hou X, Wu H, et al. Analysis of refractive status after cataract surgery in age-related cataract patients with shallow anterior chamber. *Zhonghua Yan Ke Za Zhi*, 2014,50(2):84-88.

[70] Chang DF. Pars Plana vitreous tap for phacoemulsification in the crowded eye. *J Cataract Refract Surg*, 2001,27(12):1911-1914.

[71] Day AC, MacLaren RE, Bunce C, et al. Outcomes of phacoemulsification and intraocular lens implantation in microphthalmos and nanophthalmos. *J Cataract Refract Surg*, 2013,39(1):87-96.

[72] Liu YN, Hong J, Chen XY. Comparisons of the clinical outcomes of Centurion® active fluidics system with a low IOP setting and gravity fluidics system with a normal IOP setting for cataract patients with low corneal endothelial cell density. *Front Med*, 2023,10:1294808.

[73] Khalid M, Ameen SS, Ayub N, et al. Effects of anterior chamber depth and axial length on corneal endothelial cell density after phacoemulsification. *Pak J Med Sci*, 2019,35(1):200-204.

[74] Ahmad KT, Chauhan MZ, Soliman MK, et al. Impact of axial length on visual outcomes and complications in phacoemulsification surgery: a multicenter database study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2023,261(12):3511-3520.

[75] Vital MC, Jong KY, Trinh CE, et al. Endothelial cell loss following cataract surgery using continuous curvilinear capsulorhexis or precision pulse capsulotomy. *Clin Ophthalmol*, 2023,17:1701-1708.

[76] Nissen K, Jørgensen JS, Nørregaard JC, et al. The effect of orally administered glycerol on anterior chamber depth during cataract surgery in eyes with narrow anterior chambers. *Acta Ophthalmol*, 2021,99(2):156-159.

[77] Osher RH, Bicalho LF, Amaral HL. Pearls for the young cataract surgeon: Creating space in the shallow or crowded anterior chamber by intermittent globe compression. *J Cataract Refract Surg*, 2022,48(10):1105-1106.

[78] Zhou Z, Li L, Zeng SM, et al. Comparison of femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification in shallow anterior chambers and glaucoma. *J Ophthalmol*, 2020,2020:3690528.

[79] Roberts HW, Wagh VK, Sullivan DL, et al. A randomized controlled trial comparing femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2019,45(1):11-20.

[80] Vasavada VA, Vasavada S, Vasavada AR, et al. Comparative evaluation of femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification in eyes with a shallow anterior chamber. *J Cataract Refract Surg*, 2019,45(5):547-552.

[81] Wang HL, Chen XY, Xu JJ, et al. Comparison of femtosecond laser-assisted cataract surgery and conventional phacoemulsification on corneal impact: a meta-analysis and systematic review. *PLoS One*, 2023,18(4):e0284181.

[82] Chen XY, Xiao W, Ye SB, et al. Efficacy and safety of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification for cataract: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Sci Rep*, 2015,5:13123.

[83] Kanclerz P, Alio JL. The benefits and drawbacks of femtosecond laser-assisted cataract surgery. *Eur J Ophthalmol*, 2021, 31(3):1021-1030.

[84] Stanojic N, Roberts HW, Wagh VK, et al. A randomised controlled trial comparing femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification surgery: 12-month results. *Br J Ophthalmol*, 2021,105(5):631-638.

[85] Abell RG, Darian-Smith E, Kan JB, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: Outcomes and safety in more than 4000 cases at a single center. *J Cataract Refract Surg*, 2015,41(1):47-52.

[86] Manning S, Barry P, Henry Y, et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery versus standard phacoemulsification cataract surgery: Study from the European Registry of Quality Outcomes for Cataract and Refractive Surgery. *J Cataract Refract Surg*, 2016,42(12):1779-1790.

[87] Popovic M, Campos-Möller X, Schlenker MB, et al. Efficacy and safety of femtosecond laser-assisted cataract surgery compared with manual cataract surgery. *Ophthalmology*, 2016,123(10):2113-2126.

[88] Xu JJ, Chen XY, Wang HL, et al. Safety of femtosecond laser-assisted cataract surgery versus conventional phacoemulsification for cataract: a meta-analysis and systematic review. *Adv Ophthalmol Pract Res*, 2022,2(1):100027.

[89] Brézin AP, Monnet D, Lignereux F, et al. Impact of a handpiece with a built-in fluidics pressure sensor on phacoemulsification: a multicentre prospective comparative study. *BMJ Open Ophthalmol*, 2023, 8(1):e001431.