

CASIA2 与 Pentacam 测量 ICL 植入术后眼前节参数的一致性

杨世军, 张卉卉, 周进

引用: 杨世军, 张卉卉, 周进. CASIA2 与 Pentacam 测量 ICL 植入术后眼前节参数的一致性. 国际眼科杂志, 2026, 26 (2): 353-357.

作者单位: (610043) 中国四川省成都市, 爱尔眼科四川眼科医院

作者简介: 杨世军, 女, 毕业于巴塞罗那大学, 硕士, 主治医师, 研究方向: 眼视光及屈光。

通讯作者: 周进, 女, 毕业于华西医科大学, 本科, 主任医师, 研究方向: 白内障与屈光手术. drzhoujin321@163.com

收稿日期: 2025-06-30 修回日期: 2025-12-23

摘要

目的: 比较新型扫频源眼前节相干光层析成像仪 (CASIA2) 与三维眼前节分析仪 (Pentacam) 在有晶状体眼后房型人工晶状体 (ICL) 植入术后拱高及其相关参数测量中的差异性、相关性和一致性。

方法: 采用横断面研究, 纳入 2021 年 8 月至 2023 年 8 月爱尔眼科四川眼科医院屈光手术科行 ICL 植入术的近视患者。收集患者 ICL 术后 1 月 CASIA2 和 Pentacam 测量的拱高 (Vault)、角膜厚度 (CCT)、瞳孔直径、前房深度 (ACD) 及角膜内皮到 ICL 前表面距离 (ACD-ICL)。分析两种仪器测量数据的相关性、差异性、一致性。

结果: 本研究共纳入近视患者 100 例 187 眼。CASIA2 和 Pentacam 测量 CCT、ACD、瞳孔直径、ACD-ICL 和拱高均有差异 (均 $P < 0.05$)。相关性分析显示两种仪器测量 CCT、ACD-ICL、拱高、ACD 和瞳孔直径均呈正相关 ($r/r_s = 0.99, 0.91, 0.91, 0.71, 0.49$, 均 $P < 0.05$)。Bland-Altman 分析显示两种仪器测量 CCT 一致性良好, 其余参数一致性欠佳。

结论: CASIA2 测得的拱高数据略高于 Pentacam, 除设备工作原理差异外, 考虑为检查光源引起的瞳孔变化及调节所致。CASIA2 测得的拱高数据更接近自然状态, Pentacam 更接近强光状态。两种仪器联合使用可为临床提供更准确的评估。

关键词: 有晶状体眼后房型人工晶状体 (ICL) 植入; 拱高; 新型扫频源眼前节相干光层析成像仪 (CASIA2); 三维眼前节分析仪 (Pentacam); 眼前节参数

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2026.2.30

Consistency of anterior segment parameters measured by CASIA2 and Pentacam after implantable collamer lens implantation

Yang Shijun, Zhang Huihui, Zhou Jin

Sichuan Eye Hospital, AIER Eye Hospital Group, Chengdu

610043, Sichuan Province, China

Correspondence to: Zhou Jin. Sichuan Eye Hospital, AIER Eye Hospital Group, Chengdu 610043, Sichuan Province, China. drzhoujin321@163.com

Received: 2025-06-30 Accepted: 2025-12-23

Abstract

• AIM: To compare the differences, correlations, and consistency of vault and related parameters measured by the novel swept - source anterior segment optical coherence tomography (CASIA2) with the three - dimensional anterior segment analyzer (Pentacam) after implantable collamer lens (ICL) implantation.

• METHODS: A cross - sectional study was conducted on myopic patients who underwent ICL implantation at the Department of Refractive Surgery, Sichuan Eye Hospital, between August 2021 and August 2023. At 1 mo postoperatively, vault, central corneal thickness (CCT), pupil diameter, anterior chamber depth (ACD), and the distance from the corneal endothelium to the anterior surface of the ICL (ACD-ICL) were measured using both CASIA2 and Pentacam. The correlation, differences and agreement of these parameters were analyzed from the two devices.

• RESULTS: A total of 100 myopia patients (187 eyes) were included. Significant differences were found between CASIA2 and Pentacam in the measurements of CCT, ACD, pupil diameter, ACD-ICL, and vault (all $P < 0.05$). The correlation analysis showed that the CCT, ACD - ICL, vault, ACD and pupil diameter measured by the two devices were positively correlated ($r/r_s = 0.99, 0.91, 0.91, 0.71, \text{ and } 0.49$, all $P < 0.05$). Bland-Altman analysis showed excellent agreement for CCT, but less agreement for the other parameters.

• CONCLUSION: CASIA2 produces marginally higher postoperative vault readings than Pentacam. Besides instrumental design, the discrepancy is likely attributable to pupillary constriction and accommodation induced by Pentacam's brighter illumination. CASIA2 may better reflect physiologic conditions, whereas Pentacam reflects bright - light status. Combined use of both devices provides clinicians with more comprehensive and accurate post-ICL assessments.

• KEYWORDS: implantable collamer lens (ICL) implantation; vault; novel swept-source anterior segment optical coherence tomography (CASIA2); three - dimensional anterior segment analyzer (Pentacam); anterior segment parameters

Citation: Yang SJ, Zhang HH, Zhou J. Consistency of anterior segment parameters measured by CASIA2 and Pentacam after implantable collamer lens implantation. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)*, 2026, 26(2):353-357.

0 引言

有晶状体眼后房型人工晶状体(implantable collamer lens, ICL)植入术作为一种主流的屈光不正矫正方式,已在国内外广泛开展^[1]。术后患者随访常规行眼前节检查,目前,常用设备包括三维眼前节分析仪(three-dimensional anterior segment analyzer) Pentacam、超声生物显微镜(ultrasound biomicroscopy, UBM)、前段光学相干断层扫描仪(anterior segment optical coherence tomography, AS-OCT)以及新型扫频源眼前节相干光层析成像仪(novel swept-source anterior segment optical coherence tomography) CASIA2 等^[2-3]。检查通常采集拱高(Vault)、角膜厚度(corneal central thickness, CCT)、瞳孔直径(pupil diameter, PD)、前房深度(anterior chamber depth, ACD)及角膜内皮到 ICL 前表面距离(distance from corneal endothelium to the anterior surface of implantable collamer lens, ACD-ICL)等多个参数。其中,拱高是指 ICL 后表面到自然晶状体前表面之间的距离,拱高过低可能导致 ICL 与晶状体前表面接触,增加白内障的风险;而过高的拱高可能引起瞳孔阻滞和眼压升高,甚至导致闭角型青光眼^[4]。理想的拱高(250–750 μm)是手术安全的重要保障,也是长期保持良好手术效果、降低并发症的关键因素,是 ICL 术后随访中不可或缺的参数^[4]。

CASIA2 和 Pentacam 均具有操作简便、非接触、非侵入、快速评估等优势,可为 ICL 植入术的术前评估、晶状体选择及术后拱高测量提供有效参考数据。本研究旨在比较 CASIA2 与 Pentacam 在拱高及其相关眼前节参数测量的差异性、相关性和一致性。

1 对象和方法

1.1 对象 采用横断面研究,纳入 2021 年 8 月至 2023 年 8 月在爱尔眼科四川眼科医院屈光手术科行 ICL 植入术的近视患者。纳入标准:(1)年龄 18–45 岁;(2)屈光度连续 2 a 每年变化 ≤ 0.5 D;(3)角膜内皮细胞密度 ≥ 2000 cells/mm²;(4)前房深度 ≥ 2.8 mm;(5)所有患者 ICL 均放置于水平 10°偏差以内;(6)无内眼手术史及角膜屈光手术史。排除标准:(1)睫状体囊肿;(2)具有明显影响视力的眼部疾病或影响手术恢复的全身器质性病变;(3)随访资料不完整。本研究已获得爱尔眼科四川眼科医院伦理委员会的批准,所有参与者均签署知情同意书。

1.2 方法 所有患者术前均接受了全面的眼科检查,包括最佳矫正视力(best corrected visual acuity, BCVA)、综合验光、散瞳验光、裂隙灯检查、散瞳眼底检查、泪液分泌试验、泪膜破裂试验、视功能检查、使用非接触式眼压计测量眼压(intraocular pressure, IOP)、眼底照相、使用 IOL Master 700、UBM、CASIA2 及 Pentacam 测量眼前节参数。所有患者术中均使用中央孔型有晶状体眼后房型人工晶状体(EVO ICL V4c)。手术均由同一位眼科医生完成,所有检查均由同一位检查员进行。先行 CASIA2 检查,在自然瞳

孔及正常照明光线下,被检查者下颌稳固置于下颌托上,额头顶住头托,尽量睁大眼睛注视设备内部指示灯,检查过程中避免眨眼。操作者手动对焦,设备自动进行扫描,在采集过程中对图像质量进行评估,记录检测质量显示为“OK”的测量结果,5 min 内完成双眼检查;再在自然瞳孔及暗室下行 Pentacam 检查,检查步骤同 CASIA2。两项检查在 15 min 内完成。收集患者 ICL 术后 1 mo CASIA2 和 Pentacam 测量的拱高、CCT、瞳孔直径、ACD 及 ACD-ICL。

统计学分析: 使用 SPSS AU 24.0 进行数据分析和绘图,符合正态分布的计量资料采用 $\bar{x} \pm s$ 表示,使用配对样本 *t* 检验,不符合正态分布的计量资料采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,使用 Wilcoxon 符号秩检验。使用 Pearson 或 Spearman 相关检验($0 \leq r < 0.2$ 极弱相关或无相关, $0.2 \leq r < 0.4$ 弱相关, $0.4 \leq r < 0.6$ 中等程度相关, $0.6 \leq r < 0.8$ 强相关, $0.8 \leq r \leq 1$ 极强相关)和 Bland-Altman 分析法评估两种设备测量值的相关性和一致性。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 纳入患者一般资料 本研究共纳入近视患者 100 例 187 眼,其中男 29 例,女 71 例,年龄 18–42(平均 27.59 ± 5.94)岁。屈光度 -2.00 – -16.50 (平均 -8.90)D。

2.2 两种仪器测量患者 ICL 植入术后眼前节参数比较 两种仪器测量患者 ICL 植入术后 CCT、ACD、ACD-ICL、拱高、瞳孔直径比较差异均有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

2.3 两种仪器测量患者 ICL 植入术后眼前节参数的相关性 Pearson 分析及 Spearman 分析显示两种仪器测量患者 ICL 植入术后 CCT、ACD、ACD-ICL、拱高、瞳孔直径均呈正相关($P < 0.05$),见表 2。

2.4 两种仪器测量患者 ICL 植入术后眼前节参数的一致性 Bland-Altman 分析显示两种仪器测量患者 ICL 植入术后 CCT 差值的 95%一致性区间为 -14.69 – 6.73 。其中 12 个点(6.42%)在一致性区间外,一致性区间内的最大差值绝对值为 6 μm,在临床可接受范围内。因此,两种设备在 CCT 测量上具有较好一致性,见图 1。ACD 差值的 95%一致性区间为 -351.75 – 429.82 ,该区间范围较宽。有 22 个点(11.8%)位于 95%一致性区间外,一致性区间内最大差值的绝对值为 373 μm,说明两种设备测得的 ACD 存在差异,见图 2。ACD-ICL 差值的 95%一致性区间为 -281.60 – 94.65 。在一致性界限内的数据点比例为 97%,远超过 95%的理想标准,但一致性区间内最大差值的绝对值为 120 μm,虽然测量趋势一致,但平均差异和较宽的一致性界限表明两台仪器不能直接互换使用,见图 3。拱高差值的 95%一致性区间为 19.64 到 302.79。落在一致性范围外的点数为 8(4.28%),一致性区间内差值的绝对值最大为 301 μm,超出临床上可接受范围,两种方法一致性欠佳,见图 4。瞳孔直径差值的 95%一致性区间为 0.48–3.19。一致性区间内最大差值的绝对值为 3.19 mm,超出临床上可接受范围,两种方法一致性欠佳,见图 5。

3 讨论

Scheimpflug 眼前节分析仪 Pentacam 基于 Scheimpflug 光学原理,是一个三维眼前节诊断分析系统。它利用波长

表 1 两种仪器测量患者 ICL 植入术后眼前节参数比较

仪器	CCT [$M(P_{25}, P_{75})$, μm]	ACD [$M(P_{25}, P_{75})$, μm]	ACD-ICL [$M(P_{25}, P_{75})$, μm]	拱高 ($\bar{x} \pm s$, μm)	瞳孔直径 ($\bar{x} \pm s$, mm)
CASIA2	519.00(496.00,545.00)	3188.00(3051.00,3327.50)	2339.00(2205.50,2513.50)	597.81 \pm 174.48	5.17 \pm 0.70
Pentacam	522.00(500.00,547.00)	3130.00(2950.00,3305.00)	2430.00(2300.00,2605.00)	436.59 \pm 156.61	3.33 \pm 0.64
Z/t	-7.87	-5.35		-10.21	30.44
P	<0.05	<0.05		<0.05	<0.05

表 2 两种仪器测量患者 ICL 植入术后眼前节参数的相关性

统计值	CCT	ACD	ACD-ICL	拱高	瞳孔直径
r/r _s	0.99	0.71	0.91	0.91	0.49
P	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

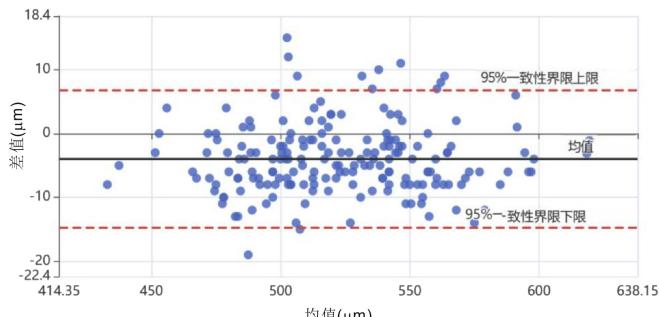


图 1 两种仪器测量患者 ICL 植入术后 CCT 一致性。

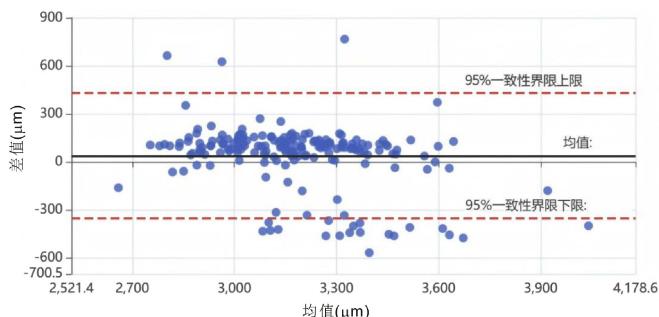


图 2 两种仪器测量患者 ICL 植入术后 ACD 一致性。

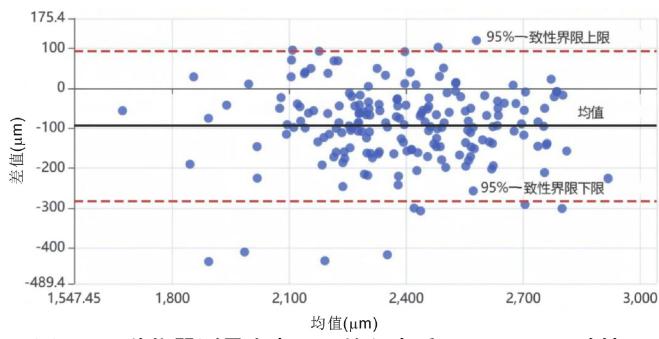


图 3 两种仪器测量患者 ICL 植入术后 ACD-ICL 一致性。

为 475 nm 的可见光(蓝光)进行旋转摄像,能够在 2 s 内完成 360°眼前段扫描,采集 25~50 张眼前节裂隙图像,并测量多达 25 000 个角膜数据点进行三维重建和计算^[5~6]。

新型扫频源眼前节相干光层析成像仪 CASIA2 结合了傅里叶域技术和扫频源相干光层析成像术,基于光干涉原理,利用波长为 1 310 nm 的红外光进行扫描,扫描速度可达每秒 50 000 次 A 扫描,能够实现 16 mm × 16 mm × 13 mm 范围的全域扫描。在获取角膜地形图时,它以每 0.016 s 捕获单个截面图的速度扫描 16 张图像,并对结果进行三维分析,总扫描时长为 0.3 s^[7~8]。

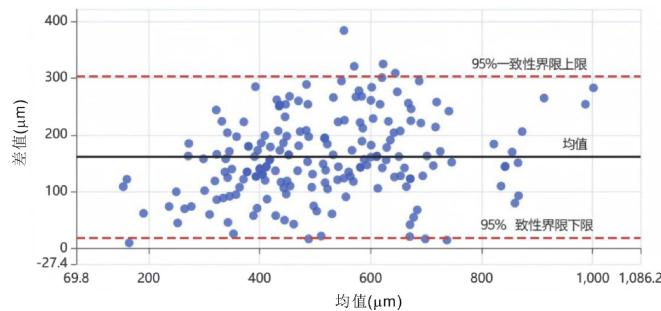


图 4 两种仪器测量患者 ICL 植入术后拱高一致性。

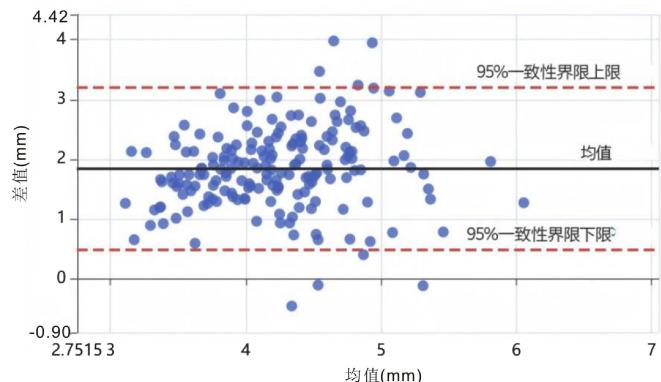


图 5 两种仪器测量患者 ICL 植入术后瞳孔直径一致性。

Pentacam 和 CASIA2 作为广泛使用的眼前节测量工具,经常在各种研究中被对比分析它们测量的各种参数,比如角膜厚度、角膜曲率、晶状体密度、角到角距离等^[9~11]。本研究中, CASIA2 测得的拱高平均值 ($597.81 \pm 174.48 \mu\text{m}$) 显著高于 Pentacam 所测拱高平均值 ($436.59 \pm 156.61 \mu\text{m}$),差值为 $161.22 \pm 72.43 \mu\text{m}$,差异具有统计学意义 ($t = 30.44, P < 0.05$),此结论与张波等^[12]及 Liu 等^[13]的研究结果高度契合。张波等^[12]针对 ICL V4c 植入术后患者的研究显示, CASIA 拱高测量值较 Pentacam 高 $142.9 \mu\text{m}$; Liu 等^[13]研究显示 CASIA2 与 Pentacam 测量拱高的平均差值达 $139.81 \mu\text{m}$,提示两种设备在拱高测量上的系统性差异具有普遍性,并非本研究的偶然结果。分析其差异可能来源于以下三方面:(1)两种设备工作原理不同:Pentacam 基于 Scheimpflug 设计原理,因非平行平面几何结构,依赖机械旋转扫,不可避免地产生透视畸变^[14],并且轴向分辨率(约 $10 \mu\text{m}$)低于 OCT 设备^[15~16]。而 CASIA2 基于光干涉原理,图像的波长信息与深度信息是经过傅里叶变换获得的,不需要进行轴向深度方向的机械扫描,扫描速度达 50 000 A-scans/s,单次测量仅需 0.34 s,显著减少运动伪影^[16],其轴向分辨率 $\leq 10 \mu\text{m}$,横向分辨率 $\leq 30 \mu\text{m}$,因此能够快速地获得高质量的图像^[17]。此外, CASIA2 的红外光源在理论上比 Pentacam 中使用的可见光(475 nm)能够更好地穿透不透明组织^[10,18]。

由此可见,在部分参数的测量上 CASIA2 可能存在一定优势。此外,本研究结果显示,CASIA2 与 Pentacam 设备测量 CCT 值存在差异($Z = -7.87, P < 0.05$),这与 Cheng 等^[15]、Schröder 等^[19]及 Sun 等^[20]等研究结论一致,但两种仪器测量显示高度正相关,且 Bland-Altman 分析进一步证实二者具有良好的测量一致性。该结果充分彰显了两台设备的测量精准度,若设备本身存在硬件障碍或算法缺陷,则 CCT 测量的一致性会显著下降。(2)两种设备检查时光源影响不同:两种设备检查时光源影响不同引起“光源-瞳孔-虹膜-拱高联动效应”,这一现象在多个研究中得到了验证^[21-23]。具体而言,Pentacam(475 nm 蓝光)在暗室检查时引发显著的瞳孔收缩,而 CASIA2(1 310 nm 红外光)则因超出可见光谱范围,对瞳孔运动影响较小,测量时瞳孔更接近自然状态。这种差异的生理学基础主要体现在两个方面:1)蓝光特异性激活瞳孔反射通路:Pentacam 使用的 475 nm 蓝光通过视网膜中的固有感光神经节细胞(ipRGCs),这些细胞表达视黑素(melanopsin)对短波长光敏感,蓝光刺激能显著引发瞳孔收缩,且收缩幅度和持续时间均强于红光或红外光,在光适应状态下效应更为明显^[24-25]。相比之下,CASIA2 使用的 1 310 nm 红外光因不在可见光谱范围内,对 ipRGCs 的激活作用较弱,因此测量时瞳孔更接近自然状态^[26]。这种差异导致本研究中 Pentacam 测量的瞳孔直径(3.33 ± 0.64 mm)显著小于 CASIA2(5.17 ± 0.70 mm),两者均有统计学差异($t = 36.30, P < 0.05$)。2)虹膜动力学主导拱高变化:瞳孔收缩直接导致虹膜前移,即瞳孔收缩时虹膜向 ICL 方向移动,增加了 ICL 前表面的压力,从而降低了拱高^[27]。本研究中“内皮到 ICL 前表面距离”在 Pentacam 测量中显著增大差异有统计学意义($Z = -10.21, P < 0.05$),印证了虹膜前压是拱高降低的结构基础。董晶等^[28]明确提出 Pentacam 测得的拱高相当于强光下的数值,而眼前段 OCT(如 CASIA2)更接近自然状态。Gonzalez-Lopez 等^[29]从暗室到明室的光照变化可诱发 167 ± 70 μm 的拱高波动,与本研究中设备间差值(161.22 μm)高度吻合,进一步确认光源导致的瞳孔调节是拱高测量差异的主要原因。(3)两种设备在检查过程中呈现出显著的调节反应差异,这一差异会进一步影响前房结构及拱高测量结果。Pentacam 采用短波长光源,且扫描速度较慢(2 秒/次),相较 CASIA2 的 0.3 s 快速扫描,更容易引发患者不自主调节^[17,20]。相关研究表明,短波长光可通过刺激视网膜 M1 细胞间接增强调节作用^[30],Pentacam 的光源特性与较长扫描时间共同延长了调节刺激,进一步放大晶状体前凸效应^[17]。此外,设备检查时注视位置的差异也会导致调节反应不同^[31]。关于调节反应对前房结构的影响,学界存在不同观点。Kato 等^[23]学者提出调节紧张时晶状体前凸会协同瞳孔缩小,对 ICL 产生压迫作用;Zhu 等^[32]指出调节状态的变化还会影响晶状体的厚度和位置,从而进一步影响拱高的变化。本研究数据显示,CASIA2 测得的 ACD 略深于 Pentacam($Z = -5.35, P < 0.05$),且 Bland-Altman 分析显示一致性欠佳。这表明光线引发的眼调节可能对前房结构测量产生影响,同时由于晶状体弹性和个体调节习惯存在强异质性,进一步增加了调节反应的复杂性与测量结果的不确定性。

ICL 植入术后的拱高是一个动态的范围,而不是一个单一的值^[22-23],这一点已成为共识。有研究指出明暗光线变化拱高可由原本的 200 μm 增加到 600 μm 。因此,在测量术后拱高时应该充分考虑到不同的环境下 ICL 在眼内的状态,并确认在任何情况下 ICL 在眼内都是安全的。有研究建议在术后患者拱高偏低时应参考 Pentacam 的值,以确保在强光下 ICL 在眼内的安全性,对拱高偏高的患者,术后拱高值更应该参考 CASIA2 数据,以确保在较高的拱高下房角开放,对角膜内皮代谢无影响^[12]。但亦有学者认为 Pentacam 对拱高测量的临床误差较大,CASIA2 通过动态扫描,可精准定位 ICL 后表面与晶状体前囊的接触状态,尤其适用于拱高 ≤ 90 μm 的高风险病例^[33]。

越来越多的学者借助人工智能技术与大数据分析手段,对这些数据进行深度挖掘与整合,以提高拱高预测精度,优化 ICL 尺寸选择方案^[34-35]。Yuan 等^[36]使用四种回归模型预测 ICL 植入术后拱高时应用的前段光学相干断层扫描 AS-OCT,得出 XGBoost 表现最佳,若使用 Pentacam 测量拱高是否会得出同一结论,亦可以探讨。对拱高测量仪器的进一步认知与优化选择,与精准预测模型的建立密不可分,明确测量仪器类型并纳入模型优化考量,是未来提升 ICL 植入术个性化诊疗水平的重要方向。

本研究系统比较了 CASIA2 与 Pentacam 在 ICL 术后多参数的差异性、相关性及一致性,阐明“光源-瞳孔-虹膜-拱高”联动机制,不仅明确验证了 CASIA2 与 Pentacam 的拱高测量系统差异,还剖析其背后的生理学基础;同时融入调节反应差异的影响分析,相较于以往仅聚焦单一因素的研究,更全面更严谨。在此基础上,研究进一步聚焦 ICL 术后动态拱高的临床评估逻辑,为临床精准监测与决策提供了更具实践价值的理论支撑。本研究不足之处:(1)样本局限性:本研究仅纳入 100 例 187 眼,且为单中心数据,可能存在选择偏倚,未来需扩大样本量并进行多中心验证。(2)随访时间较短:仅分析了术后 1 mo 的数据,未能评估长期拱高稳定性。长期随访可能揭示设备测量差异对预后的影响。(3)未纳入更多变量:如患者年龄、屈光度、术前拱高目标值等因素可能对结果产生影响,后续研究可加入这些变量进行分层分析。(4)操作一致性:尽管由同一检查员操作,但人为误差仍可能存在,未来可考虑引入自动化分析技术减少主观影响。

本研究中 CASIA2 与 Pentacam 在 ICL 植入术后 CCT 具有极强相关性和较高一致性,证明了两台机器的精准度良好。ACD、瞳孔以及拱高均存在一定的正相关性,但一致性却不佳,考虑为检查光源引起的瞳孔变化及调节所致。CASIA2 测得的拱高数据更接近自然状态,Pentacam 更接近强光状态。术后拱高应视为一个动态范围,而非单一值。在临幊上可以多种仪器联合应用,观察术后拱高的最大、最小区间,以确保安全性。拱高偏低者联合使用两台机器更有保障。进一步认知拱高测量仪器并对其优化选择,可提升临幊决策的科学性,降低并发症风险,对拱高精准预测模型的建立很有意义。

利益冲突声明:本文不存在利益冲突。

作者贡献声明:杨世军论文选题,文献检索,数据分析,初

稿撰写;张卉卉论文选题及修改;周进选题指导,论文修改及审阅。所有作者阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Thompson V, Cummings AB, Wang XY. Implantable collamer lens procedure planning: a review of global approaches. *Clin Ophthalmol*, 2024, 18: 1033–1043.
- [2] Wan T, Yin HF, Yang Y, et al. Comparative study of anterior segment measurements using 3 different instruments in myopic patients after ICL implantation. *BMC Ophthalmol*, 2019, 19(1): 182.
- [3] Cerpa Manito S, Sánchez Trancón A, Torrado Sierra O, et al. Inter-eye vault differences of implantable collamer lens measured using anterior segment optical coherence tomography. *Clin Ophthalmol*, 2020, 14: 3563–3573.
- [4] Packer M. Meta-analysis and review: effectiveness, safety, and central port design of the intraocular collamer lens. *Clin Ophthalmol*, 2016, 10: 1059–1077.
- [5] Motlagh MN, Moshirfar M, Murri MS, et al. Pentacam® corneal tomography for screening of refractive surgery candidates: a review of the literature, part I. *Med Hypothesis Discov Innov Ophthalmol*, 2019, 8(3): 177–203.
- [6] Ghiasian L, Abdolalizadeh P, Hadavandkhani A, et al. Comparing pentacam HR screening indices in different normal corneal thicknesses among refractive surgery candidates. *J Curr Ophthalmol*, 2022, 34(2): 200–207.
- [7] Lu MZ, Wang XR, Lei L, et al. Quantitative analysis of anterior chamber inflammation using the novel CASIA2 optical coherence tomography. *Am J Ophthalmol*, 2020, 216: 59–68.
- [8] Saito A, Kamiya K, Fujimura F, et al. Comparison of angle-to-angle distance using three devices in normal eyes. *Eye (Lond)*, 2020, 34(6): 1116–1120.
- [9] Ghassemi H, Zarei-Ghanavati M, Khastavan M, et al. Agreement between swept-source optical coherence tomography and rotating Scheimpflug camera in measurement of corneal parameters in normal and keratoconic eyes. *J Ophthalmic Vis Res*, 2023, 18(4): 386–395.
- [10] Xu YJ, Ye YH, Xian YY, et al. Comparison of corneal and lens density measurements obtained by Pentacam and CASIA2 in myopes. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1): 448.
- [11] Lupardi E, Moramarco A, Cassini F, et al. Corneal densitometry measurements comparison between anterior segment OCT and Scheimpflug imaging. *Int Ophthalmol*, 2024, 44(1): 392.
- [12] 张波, 王浩, 庞辰久, 等. Scansys, Pentacam, CASIA 和 ArcScan 测量近视眼 ICL 植入术后拱高的比较. *中华试验眼科杂志*, 2024, 42(4): 354–360.
- [13] Liu F, Xu YJ, Ye YH, et al. Comparative study of vault measurement by pentacam, Casia2, and RTVue in myopic eyes after implantable collamer lens implantation. *Clin Optom*, 2025, 17: 61–71.
- [14] Konstantopoulos A, Hossain P, Anderson DF. Recent advances in ophthalmic anterior segment imaging: a new era for ophthalmic diagnosis. *Br J Ophthalmol*, 2007, 91(4): 551–557.
- [15] Cheng SM, Zhang JS, Zhou KJ, et al. Repeatability and agreement of two swept-source optical coherence tomographers and Scheimpflug imaging for measurements of corneal curvature. *BMC Ophthalmol*, 2024, 24(1): 439.
- [16] Zhao YE, Chen D, Savini G, et al. The precision and agreement of corneal thickness and keratometry measurements with SS-OCT versus Scheimpflug imaging. *Eye Vis (Lond)*, 2020, 7: 32.
- [17] Asawaworarit R, Satitpitakul V, Taweekitkul P, et al. Agreement of total corneal power between 2 swept-source optical coherence tomography and Scheimpflug tomography in normal and keratoconic patients. *PLoS One*, 2022, 17(5): e0268856.
- [18] Jagdeo JR, Adams LE, Brody NI, et al. Transcranial red and near infrared light transmission in a cadaveric model. *PLoS One*, 2012, 7(10): e47460.
- [19] Schröder S, Langenbucher A, Schrecker J. Comparison of corneal elevation and pachymetry measurements made by two state of the art corneal tomographers with different measurement principles. *PLoS One*, 2019, 14(10): e0223770.
- [20] Sun BQ, Zhang XY, Sun L, et al. Corneal thickness measurements with the RTVue, Casia-2, and Pentacam devices in patients with mild-to-moderate keratoconus: a comparative study. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1): 36.
- [21] Pérez-Bartolomé F, Rocha-De-Lossada C, Sánchez-González JM, et al. Anterior-segment swept-source ocular coherence tomography and Scheimpflug imaging agreement for keratometry and pupil measurements in healthy eyes. *J Clin Med*, 2021, 10(24): 5789.
- [22] Li X, Wang M, Dong WW, et al. Anterior segment structure changes caused by different luminance light after implantable collamer lens surgery. *BMC Ophthalmol*, 2023, 23(1): 281.
- [23] Kato S, Shimizu K, Igarashi A. Vault changes caused by light-induced pupil constriction and accommodation in eyes with an implantable collamer lens. *Cornea*, 2019, 38(2): 217–220.
- [24] McDougal DH, Gamlin PD. The influence of intrinsically-photosensitive retinal ganglion cells on the spectral sensitivity and response dynamics of the human pupillary light reflex. *Vision Res*, 2010, 50(1): 72–87.
- [25] Chakraborty R, Collins MJ, Kricancic H, et al. The intrinsically-photosensitive retinal ganglion cell (ipRGC) mediated pupil response in young adult humans with refractive errors. *J Optom*, 2022, 15(2): 112–121.
- [26] Oh R, Oh JY, Choi HJ, et al. Comparison of ocular biometric measurements in patients with cataract using three swept-source optical coherence tomography devices. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21(1): 62.
- [27] Song ZH, Li Q, Xiong Y, et al. Effect of lighting conditions on implantable collamer lens vault: Influence of anterior chamber and lens parameters. *Heliyon*, 2024, 10(18): e37895.
- [28] 董晶, 高晓唯, 胡裕坤, 等. Pentacam 与前节 OCT 测量有晶状体眼后房型人工晶状体植入术后拱高的比较. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2016, 18(12): 724–728.
- [29] Gonzalez-Lopez F, Mompean B, Bilbao-Calabuig R, et al. Dynamic assessment of light-induced vaulting changes of implantable collamer lens with central port by swept-source OCT: pilot study. *Transl Vis Sci Technol*, 2018, 7(3): 4.
- [30] Campbell I, Sharifpour R, Vandewalle G. Light as a modulator of non-image-forming brain functions – positive and negative impacts of increasing light availability. *Clocks Sleep*, 2023, 5(1): 116–140.
- [31] 乐融融, 郑志利, 叶慧芳, 等. 快速序列视觉呈现方式与其他类型视标实时调节反应的差异. *中华眼视光学与视觉科学杂志*, 2021, 23(11): 845–851.
- [32] Zhu QJ, Chen WJ, Zhu WJ, et al. Short-term changes in and preoperative factors affecting vaulting after posterior chamber phakic Implantable Collamer Lens implantation. *BMC Ophthalmol*, 2021, 21(1): 199.
- [33] Lin F, Liu F, Niu LL, et al. The rate of vault changes after ICL V4c implantation and its correlation with anterior segment parameters. *Heliyon*, 2024, 10(3): e25823.
- [34] Yang YX, Long ZQ, Lei B, et al. Clinical decision support system based on deep learning for evaluating implantable collamer lens size and vault after implantable collamer lens surgery: a retrospective study. *BMJ Open*, 2024, 14(2): e081050.
- [35] Shen Y, Wang L, Jian WJ, et al. Big-data and artificial-intelligence-assisted vault prediction and EVO-ICL size selection for myopia correction. *Br J Ophthalmol*, 2023, 107(2): 201–206.
- [36] Yuan DQ, Tang FN, Wang Y, et al. Prediction of postoperative vault after implantable collamer lens implantation with deep learning. *Int J Ophthalmol*, 2025, 18(7): 1197–1204.